

Относно метода „къпане” при закаляване на стомани

Данаил Господинов, Красимир Кръстев, Пламен Данев

Abstract: About “washing” method at steel quenching. The necessity from “washing” at most intensive cooled zones of steel parts at quenching was explained in the paper. The method consists in a cyclic immersion of the whole parts or some zones from it to the quenching media. At this method of quenching the risk of crack appearance is avoid. By experiment and a mathematical modeling the cooling rates in some chosen zones of rotary symmetric steel parts after water quenching was determinate.

Key words: “washing” method, steel quenching, crack reduction.

ВЪВЕДЕНИЕ

При закаляване на детайли от въглеродна стомана във вода най-интензивно се охлаждат челните повърхнини от зоните навлизащи първи и попадащи най-долу във ваните. Това се дължи на високата скорост на охлаждане на конвективно движещите се нагоре флуидни обеми. Поради това в тези зони възникват пукнатини от високи термични и структурни напрежения, при което детайла се бракува [1].

Цел на работата е посредством моделиране и експеримент доказване на възможностите на метода „къпане” при закаляване на детайли за намаляване на скоростта на охлаждане в опасните за пукнатинообразуване зони.

От целта произлизат следните задачи:

1. Определяне на охлаждащите характеристики на водопроводната вода;
2. Разработване на модел за топлинното поле в стоманен детайл;
3. Определяне на оценките на охлаждане в средата.

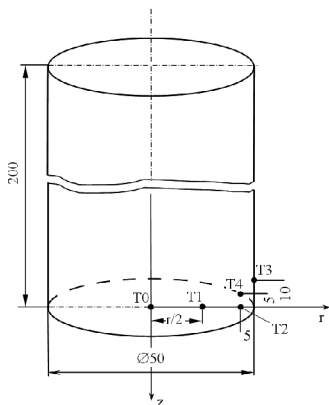
МЕТОДИЧНА ЧАСТ

За изследване на влиянието на метода на „къпането” върху получаваните след охлаждане твърдоти са използвани пробни тела изработени от стомана 45 и стомана У12. Пробните тела са с цилиндрична форма и размери $\varnothing 50\text{mm}$ и $L=200\text{mm}$, като те са съобразени с осреднените и типични размери на най-често подлаганите на термично обработване изделия в машиностроенето.

В работата са използвани два подхода за установяване на влиянието на изследвания начин на охлаждане за закаляване върху получените резултати:

- програмно пресмятане на първичните криви на охлаждане (в координати $T - t$) в избрани, характерни точки от пробното тяло;
- провеждане на реални експерименти целящи проверка на достоверността на получените от разработения софтуерен продукт резултати и установяване на влиянието на различните режими на „къпане” върху разпределението на твърдостта по повърхността на използваните пробни тела.

Компютърното симулиране на първичните криви на охлаждане е направено посредством специализиран софтуер, работещ в програмна среда МАТЕМАТИКА на Wolfram Research [2]. С помощта на разработения софтуер може да бъде пресметната първичната крива на охлаждане в произволно избрана точка от ротационно симетричен детайл. На входа на програмата се въвеждат данни за топлофизичните характеристики на материала (коефициент на топлопроводност – λ , специфичен топлинен капацитет – c) и информация за охлаждащата способност на използвания охладител при избрани условия. В случая тази информация е получена с помощта на сферично медно пробно тяло с диаметър 20 mm и монтиран в геометричния му център термоелемент тип К (хромел-алумел) след нагриване до $T=850^{\circ}\text{C}$ и охлаждане във водопроводна вода с температура 20°C . Като резултат е получена първичната крива на охлаждане за избраната среда.



Фиг.1. Фиксирани точки, в които се определят първичните криви на охлаждане

задържане в охлаждащата среда и над нея. Цикличното охлаждане е извършено само на долната част от пробата на разстояние 20 mm от челото (фиг.3). След завършване на всеки от режимите изследваният образец се потопява изцяло в средата до пълното му изстиване. Следва измерване на твърдостта в избраните точки и анализ на получените резултати.

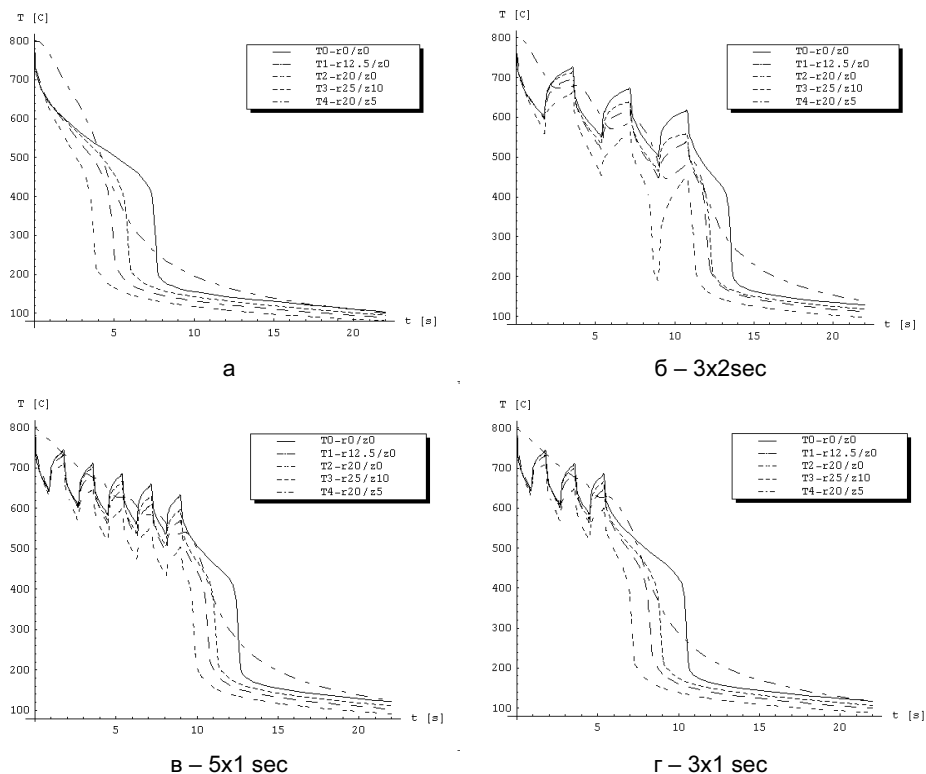
РЕЗУЛТАТИ

На фиг.2. са показани пресметнатите първични криви на охлаждане за избраните точки (фиг.1). Тук за сравнение освен кривите получени при използване на „къпане“ са пресметнати и показани фиг.2.а и първичните криви при цялостно потапяне във водата до пълно изстиване. Прави впечатление, че най-ниска скорост на охлаждане се наблюдава в точката T0 т.е. централната точка от долното чело на охлажданото цилиндрично тяло. Вероятната причина за това е наличието на парна риза с по-голяма дебелина, в сравнение с тази наблюдавана в други части на изделието, като това се дължи на слабото конвективно придвижване на студени обеми течност към тази част и затрудненото изплаване на образувалите се след разкъсването на ризата парни мехури. С изместване по радиуса и приближаване към долния ръб на закаляваното изделие се наблюдава нарастване на скоростта на охлаждане, като в точка T2 се регистрират най-големите скорости. Топлоотнемането в точка T3 е забавено в сравнение с T1 и T2 въпреки по-доброто й конвективно обтичане. Причините за това са: обтичащите я обеми охлаждаща течност вече са загрети от охлаждането на долната част на пробата; количеството топлина, напускащо нагрятото изделие, е по-голямо в сравнение с това преминаващо през T2. Вижда се, че за всички точки (с изключение на T4) стадият, в който се регистрират най-големите скорости на охлаждане (на бурно кипене) продължава до около 200°C. При температура на начало на мартензитно превръщане за стомана 45 - $M_n=350^\circ\text{C}$ вероятността от образуване на пукнатини в този интервал е значителна, като те би следвало да възникват в най-бързо охлажданите зони т.е. около точка T2. Кривата описваща изменението на температурата в T4, намираща се в обема на пробата на разстояние 5 mm от долното чело и цилиндричната част е с променен характер. Тук равномерността на охлаждане е много по-голяма и трудно могат да бъдат разграничени отделните стадии на охлаждане. В тази точка преминаването от стадия на кипене към стадия на конвективен топлообмен настъпва при значително

От нея чрез числено моделиране се определя коефициента на топлоотдаване α , след което могат да бъдат определени температурните полета за цилиндрични изделия при аналогични условия на топлообмен [3, 4]. Численото определяне на температурното поле за използвания в работата опитен образец е реализирано по метода на крайните разлики, неравномерна мрежа, неявна схема и стъпка по отношение на времето $\Delta t = 0,1$ sec, при използване на осева симетрия (цилиндрична координатна система). Симулацията на къпане е осъществена като за различните области и моменти от времето са задавани съответните пресметнати стойности на α .

В работата са изследвани три режима на циклично потапяне на пробните тела, различаващи се по броя цикли и времето на

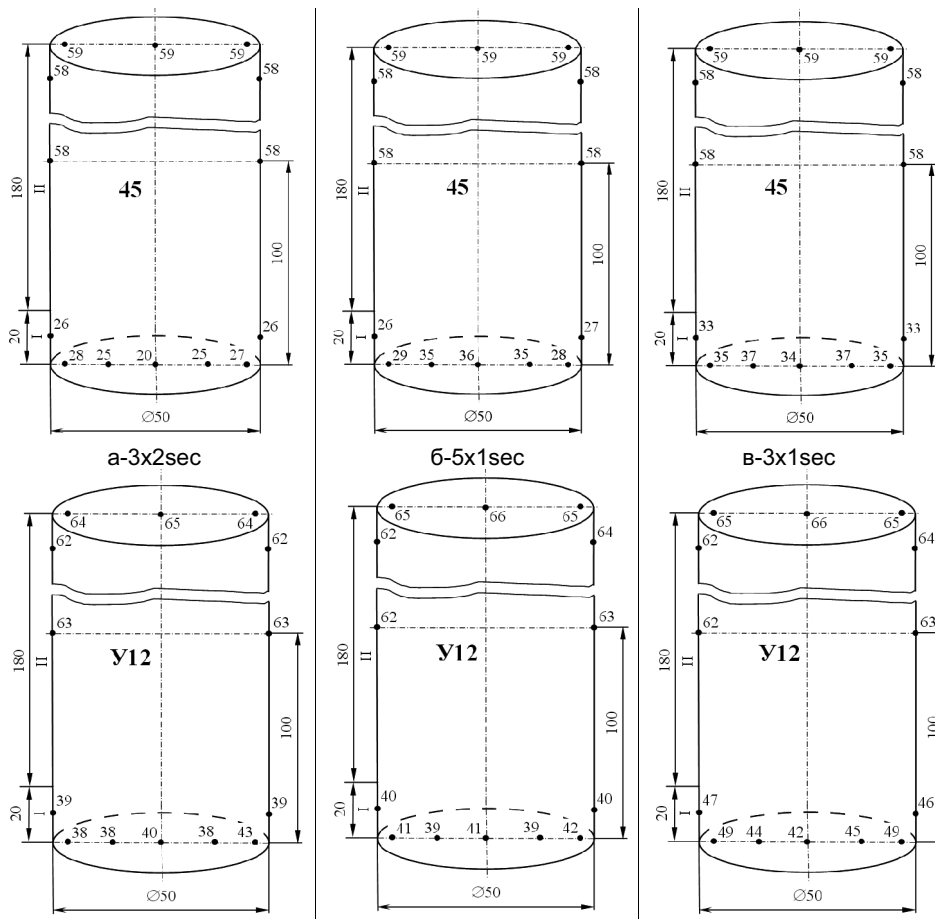
по-високи температури (320-340°C), което е благоприятно от гледна точка на големината на възникващите в процеса на охлаждане вътрешни напрежения.



Фиг. 2. Първични криви на охлаждане за характерните точки при избраните режими на охлаждане: а – цялостно потапяне; б – „къпане” по режим 3x2sec; в – „къпане” по режим 5x1sec; г – „къпане” по режим 3x1sec

На фиг.2.а,б и в са показани пресметнатите първични криви на охлаждане при прилагане на къпане по трите избрани режима. Видно е, че и при трите използвани режима се наблюдава изместване на първичните криви надясно по абсцисната ос, което на практика означава забавяне на охлаждането в къпаните зони. Взаимното разположение на първичните криви за коментираните точки е такова, каквото е и при режима на директно потапяване в охлаждащата среда т.е. отново най-големи скорости се наблюдават около ръба на охлаждащото пробно тяло. Най-силно изместени надясно първични криви се наблюдава при режима на трикратно потапяне и време на задържане във водата 2 сек. По-дългото задържане в охлаждащата среда (в сравнение с останалите два режима) води до по-ясно изразено „назъбване” на първичната крива на охлаждане, особено в точките намиращи се близо до ръба пробата. Ефектът на „назъбване” е свързан с повишаване на температурата на изследваните точки след изваждане на въздух вследствие предвижване на акумулираната във вътрешните обеми топлина към повърхността на изследваното тяло. При такова разположение на първичните криви може да се очаква получаване на трооститни, сорбитни, а при режим на къпане 3x2 sec и на перлитни структури, особено при средновъглеродната стомана 45.

На фиг.3 са представени резултатите получени при измерване на твърдостта на пробните тела след провеждане на охлаждане по избраните режими. С "I" на фигурата е обозначена зоната от пробното тяло подложена на „къпане“, а с "II" подстудената и закалена зона. От фигурата се вижда, че за стомана 45 най-ниски твърдости в къпаната зона са измерени при прилагане на схема 3x2 sec. При останалите два режима твърдостите са съизмерими и са средно с 6-10 единици по-високи от тези получени при първия режим.



Фиг. 3.Твърдост по Роквел измерена върху пробните тела: I – “къпане” и закалена зона; II – подстудена и закалена зона; а – „къпане” 3 x 2 sec; б – „къпане” 5 x 1 sec; в – „къпане” 3 x 1 sec

Така измерените твърдости показват, че получаваната при първия режим структура в къпаната зона е от перлитна до перлит-сорбитна, а при другите два режима се получава сорбитна до сорбит трооститна структура. Разпределението на твърдостта е логично, като се има предвид разположението на първичните криви при различните изследвани режими. Що се отнася до подстудената зона то там измерените твърдости на практика съвпадат. Това показва, че подстудяването в

интервала 6 до 12 сек не оказва влияние върху получаваната след закаляване твърдост в тези зони. Резултатите получени за пробното тяло от стомана У12 са сходни на тези при стомана 45, но разликата в твърдостта в къпаните зони не е така ясно изразена. Причината за това е по-голямото въглеродно съдържание резективно прокаляемост на тази стомана в сравнение със стомана 45. При такова въглеродно съдържание и измерени твърдоти структурата в „къпаните“ зони ще бъде сорбитна до трооститна. Получените стойности за твърдостта доказват достоверността на пресметнатите по модела първични криви на охлаждане и възможността за предсказване на микроструктурата и съответстващата ѝ твърдост за произволно избрана марка стомана без провеждане на реални експерименти. Тук необходимо условие е и познаването на точната термокинетична диаграма на конкретната марка стомана [5]. Получените след трите режима на къпане структури показват ефективността на изследвания начин на закаляване, когато целта е намаляване на вероятността от пукнатинообразуване в най-бързо охлаждащите зони от закаляването изделие независимо, че там се установяват по-ниски твърдоти.

КОНСТАТАЦИИ И ИЗВОДИ

1. Получените от моделния експеримент резултати за охлаждащата способност на водата при „къпане“ кореспондират с данните от практическата проверка с цилиндрични пробни тела от стомани 45 и У13.

2. „Къпането“ определено отстранява опасността от напукване в интензивно охлаждащите зони на закаляваните изделия, тъй като се формират трооститни и сорбитни структури, характеризиращи се с по-добра пластичност от мартензитните. Желателно е при ориентирането на изделието към огледалото на ваната, избора на тези зони да е повърхност с малка площ, правилна форма, липса на концентратори на напрежения, в участъци с нефункционално предназначение.

3. Отчетените близки стойности на твърдостта в „къпаните“ зони след различен брой потапяния и честота на цикъла показват, че осъществяването на 3÷5 цикъла в интервал 1÷2 сек осигуряват желаните ефект и структура в опасните челни зони на закаляваните детайли от изследваните въглеродни стомани.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Морозов, Л., Механика и физика деформаций и разрушения материалов, Ленинград „Машиностроение“, 1984.

[2] Kaufmann, S., Mathematica as a tool, Printed in Germany, 1994.

[3] Данев, Пл., Кр. Кръстев, Д. Господинов, Относно материала и формата на пробното тяло за определяне на охлаждащата способност на флуиди за закаляване., International Scientific Conference on Advanced Manufacturing Technologies Amtech'09, Journal of the Technical University Sofia, branch Plovdiv, "Fundamental Sciences and Applications", Vol. 14, 2009.

[4] Krastev, K., D. Gospodinov, P. Danev, Cooling Modeling and Simulation of Rotary Symmetric Steel Parts During Quenching, 19th International Conference on Metallurgy and Materials, METAL'2010, May 18th - 20th 2010

[5] Малинова, Т., Оптимизиране на диаграмите на изотермично превръщане на аустенита в стоманите по метода на невронните мрежи, Техническа мисъл, год. XXXIX, 2002, № 1-2.

За контакти:

Доц. д-р Пламен Данев, Катедра "Материалознание и технология на материалите", Русенски университет "Ангел Кънчев", e-mail: plasida@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.