

ВЛИЯНИЕ НА ВЪЗДЕЙСТВИЕТО С УЛТРАЗВУК ВЪРХУ ОХЛАЖДАЩАТА СПОСОБНОСТ НА СРЕДИ ЗА ЗАКАЛЯВАНЕ

Димитър Ставрев, Огнян Жеков

Abstract: There has been studied the effect of ultrasound with 40kHz frequency on the cooling ability of different mediums for hardening steels: water, transformer oil, water solutions of the polymer zakalin (2, 4, 6 and 8%). The effect with ultrasound leads to accelerated breaking of the steam jacket, rising the speed of cooling in the second stage (bubbling) and lowers the speed of cooling in the third interval (convective heat exchange). The cooling media with 6% zakalin upon the effect with ultrasound has the characteristics, similar these of the oil. Upon the effect with ultrasound the oil has better characteristics rather than without the effect (within the pearlite interval V_{500} is 184°C/s compared to 54°C/s).

Key words: heat treatment, hardening, steels, cooling mediums, ultrasound.

1. Въведение

Закаляването е вид термична обработка, която се провежда с над-критична скорост на охлаждането, осигуряваща структура, наречена мартензит. При надкритична скорост на охлаждане протича бездифузионното превръщане на аустенита в мартензит. Различните охлаждащи среди имат различни кинетични криви на охлаждане. Избирането на подходящи среди за охлаждане в зависимост от вида на стоманите е от съществено значение за качествено им закаляване.

На практика обаче няма такава среда, охлаждащата способност на която да отговаря на необходимите изисквания (ако тя охлажда интензивно в областта на аустенитно-перлитното превръщане, тя охлажда интензивно и в областта на мартензитното превръщане, нещо, което е неблагоприятно за тази температурна област). Ето защо за всеки конкретен случай се постъпва индивидуално в зависимост от състава на стоманата, формата и размерите на детайлите и т.н. [2, 3, 5, 6]. Съществуват данни, че подаването на ултразвук в охлаждащите среди (масло и солни разтвори) води до увеличаване на охлаждащата им способност [1]

2. Целта е изследване на охлаждащата способност на течни среди за закаляване – вода, трансформаторно масло и водни разтвори (2, 4, 6, 8%) на полимера закалин и въздействието на ултразвука върху охлаждащата им способност.

Закалинът е доставен във вид на течно

вещество - производство на “Верила Лубрикантс” АД - София.

Експеримента протича при следната последователност: нагрята до 830°C сребърна сфера с диаметър 20 mm със запоена термодвойка от хромел-алумел, се потапя в охлаждащата среда и с помощта на персонален компютър използвайки програмата LabVIEW записваме кривата на охлаждане ($T=f_{(охл.)}$). Получената функция се диференцира с помощта на програма Mathcad и получаваме функциите $V_{охл.} = f(t)$, $V_{охл.} = f(T_{охл.})$.

Използва се ултразвуков излъчвател Volcano Expert-M на фирмата Грийн Мастър Груп с акустична мощност 15W и работна честота 40 kHz, който се потапя в охлаждащата среда.

3. Резултатите от изследванията са представени таблично в табл.1 и 2, и на фигури от 1 до 7.

В табл.1 са представени обобщените резултати за максималната скорост на охлаждане V_{max} , °C/s, всеки един от 10-те варианта на охлаждане, с и без въздействие на ултразвук. Посочени са скоростите на охлаждане V , °C/s за перлитният интервал (500-600°C) и за мартензитния (300-200°C).

В табл.2 са посочени данните на началото на втория стадий на охлаждане (мехурчесто кипене) – температура T^{II} , °C и t^{II} , s както и температурата на началото на третия стадий (конвективен топлообмен) – T^{III} , °C и времето при което настъпва - t^{III} , s при същите условия както е указано за табл.1.

Таблица 1. Максимална скорост на охлаждане и скорост на охлаждане в перлитният и мартензитният интервал

№	Охлаждащи среди	Макс. скорост, $V_{max}, ^\circ C/s$ при $T, ^\circ C$		Скорост на охлаждане, $V_{охл}, ^\circ C/s$			
		Температура	Скорост	Перлитен интервал		Мартензитен интервал	
		600 $^\circ C$	500 $^\circ C$	300 $^\circ C$	200 $^\circ C$		
Охлаждащи среди с температура 20 $^\circ C$							
1	масло	405	198	46	54	25	3
2	вода	248	571	235	262	398	411
3	закалин 2%	134	173	65	63	60	61
4	закалин 4%	141	103	45	45	64	52
5	закалин 6%	518	183	121	156	70	52
6	закалин 8%	500	230	115	230	92	33
Среди под въздействието на ултразвук с $f=40$ kHz при 20 $^\circ C$							
7	масло	509	193	78	184	24	8
8	закалин 2%	533	296	202	200	140	59
9	закалин 4%	551	242	220	170	40	50
10	закалин 6%	566	235	142	213	71	44

Таблица 2. Температури и време на началото на втори (T^{II}, t^{II}) и трети (T^{III}, t^{III}) стадий на охлаждането

№	Охлаждащи среди	$T^{II}, ^\circ C, t^{II}, s$ на началото на втори стадий		$T^{III}, ^\circ C, t^{III}, s$ на началото на трети стадий	
		$T^{II}, ^\circ C$	t^{II}, s	$T^{III}, ^\circ C$	t^{III}, s
Охлаждащи среди с температура 20 $^\circ C$					
1	масло	460	8	325	9,4
2	вода	650	1	125	3,4
3	закалин 2%	710	1,6	140	10,2
4	закалин 4%	750	1,2	130	14,2
5	закалин 6%	740	2,1	300	4
6	закалин 8%	620	4,8	270	7
Среди под въздействието на ултразвук с $f=40$ kHz при 20 $^\circ C$					
7	масло	560	4,5	400	5,7
8	закалин 2%	710	1,5	300	3,4
9	закалин 4%	750	1,6	750	3,6
10	закалин 6%	750	1,6	350	4,9

Максимална е скоростта V_{max} при морската вода - 571 $^\circ C/s$, а минимална V_{max} - има закалин при 4% - 103 $^\circ C/s$.

При 200 $^\circ C$ (в мартензитният интервал) - минималната $V_{охл}$ имат масло - 3 $^\circ C/s$, а максимална скорост има морската вода - 411 $^\circ C/s$.

От табл.2 се вижда, че втория интервал (на мехурчесто кипене) започва при най-висока температурата T^{II} при 4 и 6% закалин с ултразвук - 750 $^\circ C$ при $t^{II}=1.6, s$, а най-ниска температура T^{II} е при масло (при $t^{II}=8s$) – 460 $^\circ C/s$.

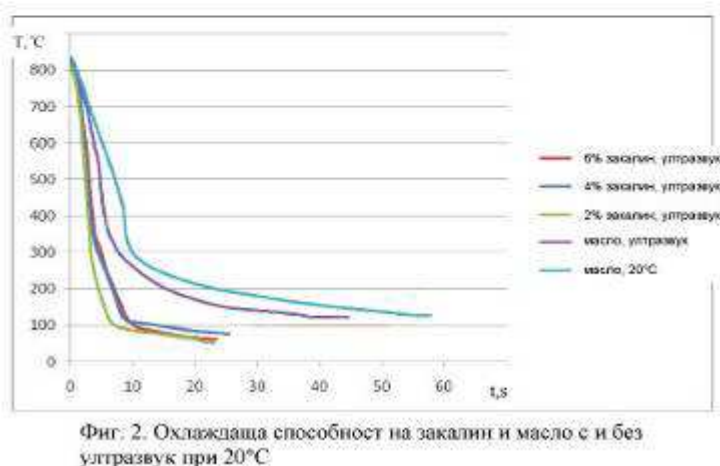
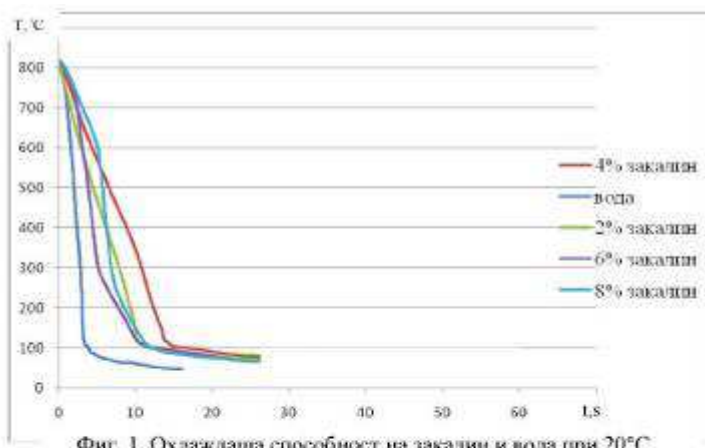
750 $^\circ C/s$ е най-високата температура за началото на третия стадий (конвективен топлообмен) T^{III} при 4% закалин с ултразвук (при $t^{III}=3.6s$), а най-ниска при температура T^{III} при водата (при $t^{III}=3.4, s$) – 125 $^\circ C$.

На фиг.1 са показани температурните криви при охлаждане във водни разтвори на (2, 4, 6, 8%) закалин сравнени с аналогична крива на водопроводна вода. Всички разтвори

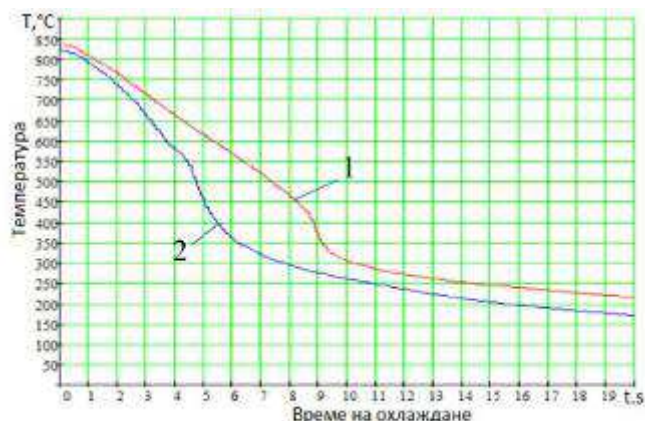
на закалин намаляват максималната скорост на охлаждане $V_{max}= 571^\circ C /s$ при вода до 103 $^\circ C$ при 4% закалин. С увеличаване концентрацията на закалина стадият на интензивно кипене настъпва при по-високи температури - T^{II} . Докато при водата е 650 $^\circ C$, при 4% закалин нараства до 750 $^\circ C$. Увеличава се и времето за началото на втория стадий t^{II} (т.е. кривата се измества надясно) - от $t^{II}=1s$ при вода нараства до $t^{II}=4.8,s$ при 8% закалин. Това е неблагоприятно за стомани имащи ниска устойчивост на преохладения аустенит. При тях ще протече аустенит-перлитно, а не аустенит-мартензитно превръщане.

Началото на третия стадий (на конвективен топлообмен) - T^{III} настъпва при по-висока температура отколкото при водата ($T^{III}=125^\circ C$) - като достига 300 $^\circ C$ при 6% закалин.

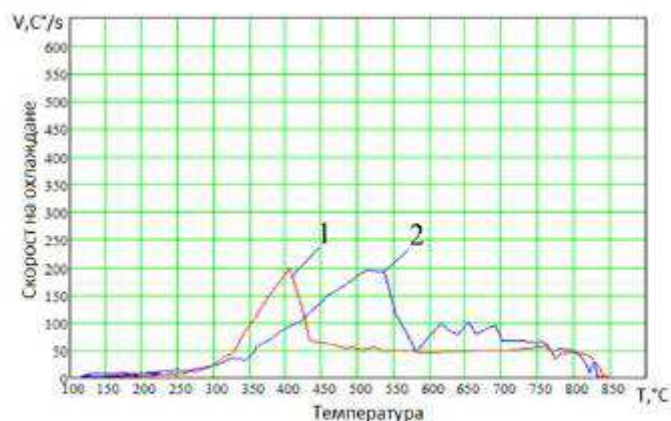
Подобни на тази зависимости се наблюдават при въздействие на ултразвук (фиг.2), където от максимална скорост 296 $^\circ C/s$ при 2% пада до 235 $^\circ C$ при 6% закалин.



Увеличаването на концентрацията на закалина почти не изменя температурата на началото на втория стадий T^{II} , който при 2% е 710°C (при 4 и 6% закалин е 750°C), и времето за началото на втория стадий t^{II} почти не се променя с увеличаването на концентрацията, то е 1.5, s при 2% и 1.6, s при 4 и 6% закалин, т.е. при тези среди с преимущество ще протече аустенит-перлитното превръщане. При увеличаване на концентрацията на закалина кривите се изместват надясно от 2 към 6%.



Фиг. 3. Изменение на температурата по време на охлаждане: 1 - масло; 2 - масло с ултразвук



Фиг. 4. Изменение на скоростта на охлаждане в зависимост от температурата: 1 - масло; 2 - масло с ултразвук

Средите с 4 и 6% закалин с ултразвук имат характеристики близки до тези на маслото, като охлаждат с голяма скорост в перлитния интервал при 4% закалин V_{500} е 170°C/s , а за 6% закалин е 213°C/s , докато за маслото без ултразвук е 54°C/s . същевременно скоростта в мартензитния интервал V_{200} при 4% закалин е 50°C/s и 44°C/s при 6% закалин (за сравнение при маслото V_{200} е 3°C/s). При 6% закалин V_{max} е 235°C/s , а при маслото е

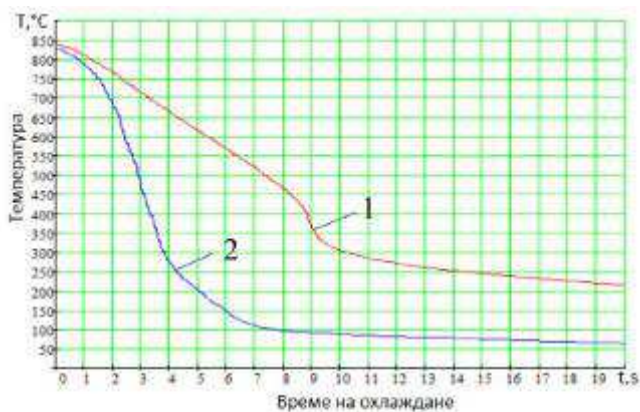
198°C и при това максимумът в първия случай е изместен в перлитния интервал – при 566°C , а при маслото е при 405°C . Интересно е, че при въздействието с ултразвук маслото има по-добри характеристики, отколкото без ултразвук (фиг.2) - кривата на охлаждане е изместена на ляво, скоростта V_{500} в перлитния интервал е по-голяма - 184°C/s спрямо 54°C/s , а скоростите на охлаждане в мартензитния интервал са еднакви, т.е. това е благоприятна среда за аустенит-мартензитното превръщане.

На фиг.3 и 4 е направено сравнение на охлаждащата способност на маслото без въздействие на ултразвук с тази при въздействие. Както вече беше казано охлаждането в масло при въздействие на ултразвук е по-благоприятно. Повишаването на охлаждащата способност на маслата при употреба на ултразвуков излъчвател се дължи на това, че ултразвуковите вълни по-бързо разрушават парната риза вследствие на което, първият стадий се съкращава, а вторият стадий настъпва по-рано при по-висока температура. В първия случай T^{II} е 560°C , а във втория е по-ниска - 460°C , t^{II} намалява и е 4,5, s, а без ултразвук е 8, s, т.е. кривата се измества вляво и би могло да се закаляват в масло с въздействие на ултразвук по-ниско легирани стомани без опасност от пукнатини (т.е. средата става „по-мека“). Например при въздействие на ултразвук по време на охлаждане в масло V_{500} е 184°C/s и V_{300} е 24°C/s , а без ултразвук е съответно V_{500} е 54°C/s и V_{300} – 25°C/s .

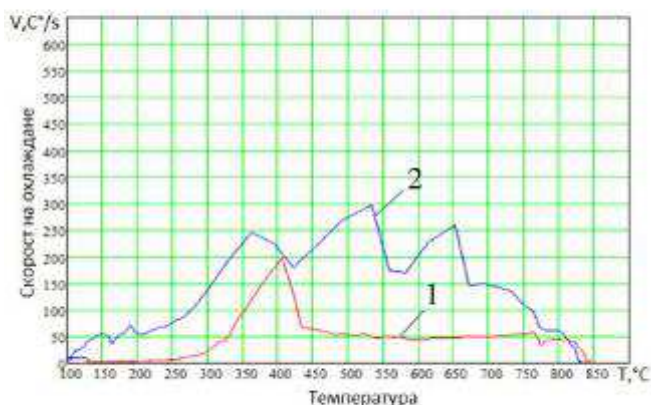
Сравнението между масло и 2% закалин с ултразвук е показано на фиг.5 и 6. От там става ясно, че 2% закалин с ултразвук има по-висока максимална скорост V_{max} - 296°C/s , отколкото маслото V_{max} - 198°C/s , и също така се намира в перлитния интервал. В мартензитния интервал 2% закалин с ултразвук има малко по-голяма скорост отколкото на маслото съответно - V_{200} е 59°C/s за закалина и V_{200} е 8°C/s при масло, но остава благоприятна за аустенит-мартензитните превръщания.

При сравнението на масло с 4% закалин с ултразвук се наблюдават аналогични на предишното сравнение процеси, но в мартензитния интервал скоростта на 4% закалин е по-малка от тази

при 2% закалин – V_{300} е съответно 40 и 140°C/s (табл.1).



Фиг. 5. Изменение на температурата по време на охлаждане: 1 - масло; 2 - 2% закалин с ултразвук



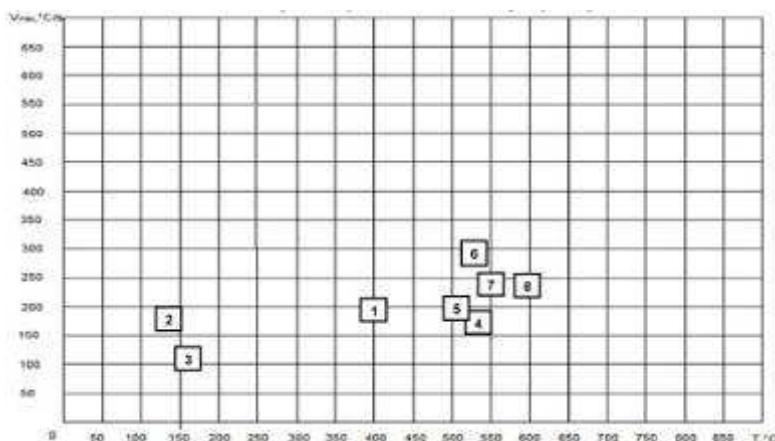
Фиг. 6. Изменение на скоростта на охлаждане в зависимост от температурата: 1 - масло; 2 - 2% закалин с ултразвук

При сравнението на 2% закалин с и без влияние на ултразвук се вижда, че максималната скорост $V_{max}=173^{\circ}\text{C/s}$ (без въздействие на ултразвук) се измества от мартензитния температурен интервал към перлитния температурен интервал и се увеличава едновременно като достига до 296°C/s (при употреба на ултразвук), но и запазва ниската си скорост в ниския температурен интервал, което прави средата с 2% закалин с ултразвук по-благоприятна за закаляване на въглеродни стомани от тази без въздействието на ултразвук.

При сравнение на 4% закалин с и без употреба на ултразвук (табл.1) се вижда, че след употребата на ултразвук средата значително покачва максималната си скорост от $V_{max}=103^{\circ}\text{C/s}$ (без ултразвук) на 242°C/s, като същевременно максимумът на скоростта се измества от мартензитния към перлитния

интервал. В мартензитния интервал скоростта пада до 40°C/s за V_{300} с ултразвук и 64°C/s без ултразвук, т.е. средата е „по-мека”.

Прилагането на ултразвуково въздействие премества максималните скорости на охлаждане V_{max} при всички изследвани среди в областта на перлитния интервал и като правило ги повишава (фиг.7), и тъй като води до бързо разкъсване на парната риза и намалява продължителността на първия стадий премества кривите на охлаждане вляво, което се фиксира от определеното намаляване на началото на втория интервал t^{II},s и увеличаване на температурата на началото на втория интервал $T^{II},^{\circ}\text{C}$ (табл.2). При въздействие с ултразвук се увеличава се температурата на началото на третия интервал $T^{III},^{\circ}\text{C}$ и намаляват времената до започване на конвективния топлообмен t^{III} (табл.2).



Фиг.7. Раположение на максималните скорости на охлаждане с и без въздействие на ултразвук – $V_{max},^{\circ}\text{C/s}$ в зависимост от температурата на охлаждане $T^{\circ}\text{C}$: 1 - масло; 2 - 2% зак.; 3 - 4% зак.; 4 - 6% зак.; 5 - масло-ултразвук; 6 - 2% зак.-ултразвук; 7 - 4% зак.-ултразвук; 8 - 6% зак.-ултразвук

Изводи

1. Въздействието с ултразвук върху охлаждащите среди води до ускорено разкъсване на парната риза, увеличаване на скоростта на охлаждане във втория стадий (мехурчесто кипене) и намалява скоростта на охлаждане в третия интервал (конвективен топлообмен). При въздействие с ултразвук максималните скорости на охлаждане са в перлитния интервал (500-600°C), а когато

няма ултразвуково въздействие те са при температури близки до мартензитния интервал.

2. При въздействие с ултразвук маслото има по-добри характеристики отколкото без ултразвук. Кривата на охлаждане е изместена наляво, скоростта в перлитния интервал е по-голяма - V_{500} е 184°C спрямо 54°C , а скоростите в мартензитния интервал са еднакви. Т.е. първата среда е по благоприятна за закаляване;

3. Установено е, че охлаждащата среда с 6% закалин при въздействие с ултразвук има характеристики близки до тези на маслото: за 6% закалин с ултразвук V_{\max} е 235°C , а при маслото е 198°C и при това максимумът на първата среда е изместен в перлитния интервал - при 566°C , а при маслото е при 405°C ;

4. От изследваните водни разтвори на закалин, за закаляване се препоръчват: 8% закалин без въздействие с ултразвук и 6% закалин с ултразвуково въздействие.

Литература

1. Ангелов, Г.С. и др. Промислено приложение на ултразвука. София. ДИ Техника 1977, Москва, Машиностроение 1975.

2. Данев, П. С. Темична обработка на стоманите. Русе. 2001.

3. Данев, П. С. Технология на обработване на металите. Юбилейна научна сесия „150 години от раждането на Васил Левски”. Научни трудове на ВНБУ „Васил Левски” книжка №7, Велико Търново 1987.

4. Рашков, Н. Д. Термично обработване на стоманите. София. ДИ Техника, 1990.

5. Tensi, H.M. and M. Schwalm. Abkühlverläufe im silberzylinder and in Stahlringen beim Abschrecken in verschiedenen Medien sowie Beobachtungen zum verzug der Ringe, ZwF,76 (1981), 4, s. 194-199.

6. Tensi, H.M. and M. Schwalm, Wirkung von Abschreckflüssigkeiten unter Berücksichtigung spezieller wabriger Kunststofflösungen (polyathylenoxide), HTM, 35 (1980),3, s. 122-129.

За контакти:

9010 Варна, ул. “Студентска”1
Технически университет -Варна
Катедра МТМ

гл.ас. инж. Огнян Жеков
e-mail: itl21c@abv.bg

проф. дтн. Димитър Ставрев
e-mail: d_stavrev@abv.bg