

ОПРЕДЕЛЯНЕ МЕХАНИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СТОМАНИ CE40E4 (ISO) И 42CrMoS4 (ISO) ПРИ РАЗЛИЧНИ РЕЖИМИ НА ТЕРМООБРАБОТКА

Иванка ДЕЛОВА
ivankadelova@tu-plovdiv.bg

Десислава ДИМОВА
desislava608738@gmail.com

Боян ДОЧЕВ
dochev@tu-plovdiv.bg

Райчо РАЙЧЕВ
rpraichev@tu-plovdiv.bg

*катедра „Механика“, ТУ София - филиал Пловдив, 4000, БЪЛГАРИЯ
катедра „Машиностроителна техника и технологии“, ТУ София - филиал Пловдив,
4000, БЪЛГАРИЯ*

Обект на настоящата статия е определянето на механичните характеристики при легирани стомани CE40E4 (ISO) и 42CrMoS4 (ISO). Двама материала са подложени на закаляване при температура 850°C, отвързване при температури съответно 450° и 550°C и са охладени в две различни среди: въздух и вода с температура 15°C . Получените резултати от механичните характеристики са анализирани и са представени в табличен и графичен вид.

Ключови думи: *механични характеристики, термообработка, легирани стомани, якост на опън.*

1. Увод

Изискванията към свойствата на конструкционните стомани са твърди разнообразни. Машинните детайли или конструкционните детайли са подложени на сложно натоварване, за да се осигури продължителната им работа, стоманите трябва да имат достатъчно висока съпротивителна способност. Така поемат и предават външните сили без разрушаване и остатъчна деформация. Едновременно с високата якост на опън, пластичност, якост на удар, съпротивление на умора, износоустойчивост и др., те трябва да притежават комплекс от задоволителни технологични характеристики: обработваемост с режещ инструмент, заваряемост, пластичност при висока температура, добра прокаляемост, еднородност в структурата и физико-химичните свойства по цялото сечение и др. Съществено е структурата да е изградена от равноосни феритни и перлитни зърна, за да се постигне квазиизотропност (способност на поликристала да проявява същите свойства, независимо посоката на изпитване) на свойствата им.

В [В. Karabayrak et al. 2023] е изследван ефектът от третирането с калций върху

механичните свойства и поведението при умора на материал от нисковъглеродна стомана. Чрез прилагане на калциево третиране се цели трансформиране на включванията в безвредни структури. В резултат на изследването якостта на опън на обработения с калций материал се увеличава, докато животът при умора намалява. За оценка на резултатите са проведени изследвания със сканиращ електронен микроскоп и се забелязва, че докато в необработения образец се наблюдават удължени включвания, както и сферични форми, то в обработения с калций образец включванията имат сферична форма. След процеса на калциево третиране на стоманата, механичните свойства на пробните образци се подобряват, а якостта на опън леко се увеличава. Наблюдава се обаче значително намаляване на якостта на умора в зависимост от крехките включвания, които се появяват в резултат на процеса на обработка с калций.

В [А. Rohit Sai Krishna et al. 2020] са изследвани механичните свойства на неръждаемата стомана AISI 316, след нейното карбонитриране при различни времеви интервали. Изследванията са концентрирани

главно върху износоустойчивостта на материала.

Въз основа на проведените експерименти и изпитвания са направени следните заключения: Известно е, че неръждаемата стомана има добра устойчивост на корозия с наличието на молибден. Въпреки че има много предимства пред другите метали, тя не се препоръчва за някои приложения поради по-малката си твърдост.

Неръждаемата стомана AISI 316 е в аустенитна фаза и не може да се подлага на термична обработка. Следователно, процесите на повърхностно закаляване са възможни след модифициране на механичните ѝ свойства. При извършване на азотиране в солна баня върху повърхността на метала се образува тънък закален слой, като дебелината на този слой е пропорционална на продължителността на процеса на карбонитриране. Слой, образуван при продължителност 120 минути, е от 2 до 3 микрона.

В [R. Verma et al. 2019] е направено изследване при което са сравнени механичните свойства на стомани AISI 1045, AISI 1053 и AISI 4140, които са най-често използваните материали за изработване на валове при превозни средства. Сравнителното изследване на тези материали е осъществено с цел да помогне за избора на подходящ материал за конкретни експлоатационни условия.

Анализът на резултатите показва, че:

- Стомана AISI 4140 притежава по-голям модул на Юнг, граница на провлачване и якост на опън, при умерена пластичност;

- Стомана AISI 1053 показва по-ниска пластичност и модул на Юнг, което го прави лесно податлив на пластична деформация и създава друг проблем като вибрации и несъсност при валовете;

- Коравината и модулът на Юнг при стомана AISI 1045 са задоволителни, но по-ниската якост е основният проблем при нея.

В [A. Abbasian et al. 2022] са изследвани термичната обработка и производството на високоякостна усъвършенствана стомана TRIP1100, като в последствие са оценени механичните свойства на заварките от тази стомана чрез точково заваряване. С помощта на сканираща електронна микроскопия с анализ на електронната обратна дифракция (EBSD) са осъществени микроструктурните изследвания. Резултатите от EBSD показват, че видът и ориентацията на зърната се променят, а делът на границите с голям и малък ъгъл в изследваната стомана варира поради наличието на различни фази.

В [E. Orhorhoro et al. 2022] изследването на механичните свойства на термично обработената нисковъглеродна стомана е определено чрез изпитване на опън и измерване на твърдостта. Микроструктурата на образците е характеризирана с помощта на оптична микроскопия, а химическият състав на стоманата е определен с помощта на рентгенофлуоресцентна спектроскопия.

Механичните свойства на термично обработените образци са изследвани при температури 900°C, 950°C и 1000 °C и са сравнени с резултатите, получени за образци без термообработка.

Получените резултати показват, че якостта на опън и процентното удължение на образците се увеличават след термична обработка. Също така, границата на провлачване и твърдостта намаляват за всички термично обработени образци, отгряти при различни температури, в сравнение с образците без термообработка. Резултатите от микроструктурните анализи при отгрятите образци показват, че материалът се състои от мартензит, разпределен във феритна матрица. Въпреки това при повишаване на температурата на отгряване до 1000°C и 1100°C се наблюдават циментит и феритни зърна с частична граница на зърната.

В [C. Maraveas et al. 2017] са изследвани механичните свойства на високоякостната стомана при повишени температури и след охлаждане до температура на околната среда.

Резултатите от експерименталните изпитвания са обобщени и представени в графични форми. Несъответствието на наличните резултати с действащите практически норми предполага необходимостта от осъществяване на актуализации на нормите. Поради тази причина е предложен нелинеен модел за прогнозиране коефициентите на якост за високоякостна стомана при повишени температури. Получените резултатите показват добро съответствие с предложените уравнения, получени при предходни изследвания от същите автори.

Основната цел в настоящата статия е определяне механичните характеристики на легирани стомани CE40E4 (ISO) и 42CrMoS4 (ISO) след закаляване при температура 850°C и отвяряне при температури съответно 450° и 550°C.

2. Материали и експериментална работа.

Стомана CE40E4 е средновъглеродна конструкционна стомана легирана, с хром имаща широко приложение.

В таблица 1 са представени резултатите от осъществен входящ контрол за определяне химичен състав на стоманата.

Таблица 1

C, %	Mn, %	Si, %	P, %	S, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %
0,41	0,74	0,29	0,014	0,024	1,09	0,02	0,02

Марката 42CrMoS4 е конструкционна стомана легирана с хром и молибден. От нея се произвеждат отговорни високоякостни детайли на компресори, турбини, работни елементи на тежка наземна и подземна техника, детайли за селскостопански машини.

В таблица 2 са представени резултатите от осъществен входящ контрол за определяне химичен състав на стоманата.

Таблица 2

C, %	Mn, %	Si, %	P, %	S, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Mo, %
0,41	0,81	0,22	0,010	0,013	1,01	0,08	0,29	0,16

Реализирани са макро- и микроструктурни анализи и за двете марки стомани.

В таблица 3 е представен резултатът от осъществен макроструктурен анализ за стомана CE40E4, който показва, че недопустими дефекти не се наблюдават.

Таблица 3

№ по ред	Дефект	Допустимо	Установено
1	Точкова нееднородност	До бал 3	Бал 1
2	Централна пористост	До бал 3	Бал 1
3	Ликвационен квадрат	До бал 3	Не се наблюдава
4	Краева петниста ликвация	До бал 1	Не се наблюдава
5	Обща петниста ликвация	До бал 1	Не се наблюдава
6	Осова ликвация	До бал 1	Не се наблюдава
7	Подкорони мехури	Не се допускат	Не се наблюдават
8	Междукристални пукнатини	Не се допускат	Не се наблюдават

Проведеният микроструктурен анализ потвърждава, че микроструктурата на стомана CE40E4 се състои от зърна ферит и равномерно разположен перлит.

В таблица 4 е представен резултатът от осъществен макроструктурен анализ за стомана 42CrMoS4, при който също отсъстват недопустими дефекти.

Таблица 4

№ по ред	Дефект	Допустимо	Установено
1	Точкова нееднородност	До бал 3	Бал 1
2	Централна пористост	До бал 3	Бал 1
3	Ликвационен квадрат	До бал 3	Не се наблюдава
4	Краева петниста ликвация	До бал 1	Не се наблюдава
5	Обща петниста ликвация	До бал 1	Не се наблюдава
6	Осова ликвация	До бал 1	Не се наблюдава
7	Подкорони мехури	Не се допускат	Не се наблюдават
8	Междукристални пукнатини	Не се допускат	Не се наблюдават

Микроструктурата на стомана 42CrMoS4 при входящ контрол е сорбит на отвярщане.

3. Резултати и анализи.

В таблица 5 са представени режимите, при които са определени механичните характеристики на двете марки стомани:

Таблица 5

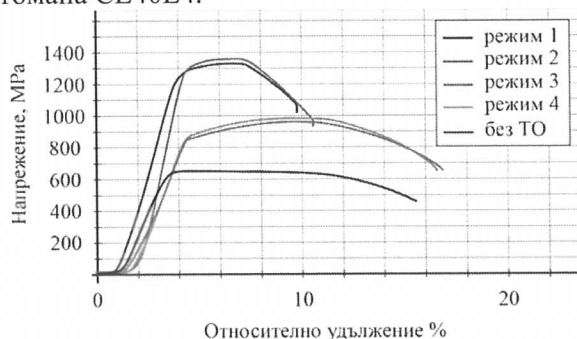
Режим	Температура на закаляване	Време за задържане при закаляване	Среда	Температура на отвярщане	Време за задържане при отвярщане	Охлаждане
1	850°C	40 min	Масло	450°C	2 h	Въздух
2	850°C	40 min	Масло	450°C	2 h	Вода с температура 15°C
3	850°C	40 min	Масло	550°C	2 h	Въздух
4	850°C	40 min	Масло	550°C	2 h	Вода с температура 15°C

В таблица 6 са представени резултатите от проведените механични изпитвания със стандартни пробни тела съгласно EN ISO 6892-1.

Таблица 6

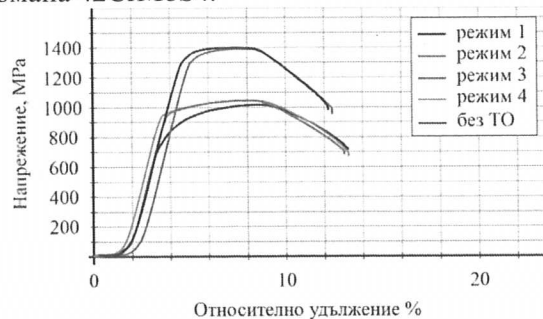
Марка стомана	Режим на ТО	Якост на опън	Граница на провлачване	Относително удължение	Относително напречно свиване	Твърдост
		Rm, МПа	Rp _{0.2} , МПа	%	%	
CE40E4	Без ТО	646	605,6	15,72	59,32	22,6
CE40E4	1	1348	1238,6	9,68	46,47	38,75
CE40E4	2	1380	1278,2	11,3	48,5	37,0
CE40E4	3	945,4	813,8	17,22	53,68	27,75
CE40E4	4	990,6	856	16,6	50,9	29,0
42CrMoS4	Без ТО	1064	847,4	13,38	51,84	32,0
42CrMoS4	1	1416	1281,2	10,88	48,44	38,33
42CrMoS4	2	1386	1288,6	11,66	49,68	37,82
42CrMoS4	3	1106	1009,6	13,2	53,58	31,19
42CrMoS4	4	1108	1004	13,38	51,66	33,12

На фигура 1 в графичен вид са представени резултатите, получени за якостта на опън при различните режими на термообработка при стомана CE40E4.



Фиг. 1 Резултати за якост на опън при CE40E4.

На фигура 2 в графичен вид са представени резултатите, получени за якостта на опън при различните режими на термообработка при стомана 42CrMoS4.



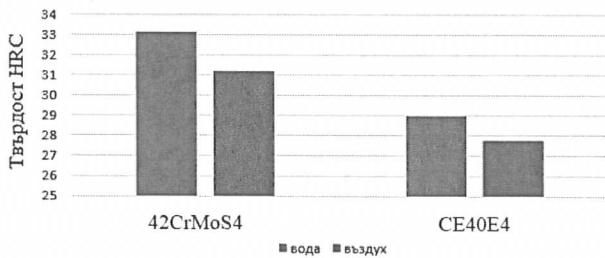
Фиг. 2 Резултати за якост на опън при 42CrMoS4.

От графиките се вижда, че якостта на опън при стомана CE40E4 при температура на отвърщане 450°C и охлаждаща среда въздух е по-висока в сравнение с останалите режими на термообработка.

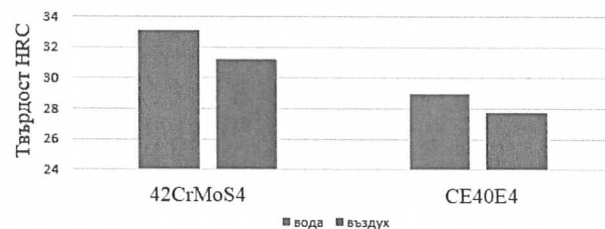
При стомана 42CrMoS4 с режим на отвърщане при 550°C се наблюдава понижаване в якостта на опън, като и при двете охлаждащи среди, получените резултати са съизмерими и са по-високи от тези, получени за стомана CE40E4.

При стомана CE40E4 след закаляване и отвърщане при 550°C също се наблюдава намаляване на якостта на опън, като по-висока стойност е получена при охлаждане след отвърщане във вода.

На фигури 3 и 4 са онагледени резултатите от измерването на твърдостта на двете стомани, охладени след отвърщане съответно във вода и на въздух.



Фиг. 3 Изменение на твърдостта на стомани CE40E4 и 42CrMoS4 при закаляване и отвърщане при 450°C.



Фиг. 4 Изменение на твърдостта на стомани CE40E4 и 42CrMoS4 при закаляване и отвърщане при 550°C.

Резултатите и при стомана CE40E4, както и при 42CrMoS4 показват завишена твърдост при охлаждане след отвърщане на въздух. Това се обяснява със склонността на легираните с хром стомани към крехкост на отвърщане.

4. Заключение.

Обект на настоящата статия е определяне механичните характеристики на легирани стомани CE40E4 и 42CrMoS4, при четири различни режима на термообработка. От получените резултати могат да бъдат направени следните изводи:

- Стомани 42CrMoS4 и CE40E4 закалени и отвърнати с еднакви параметри на режима се

наблюдават относително еднакви резултати от механичните изпитвания на едноосен опън (якост на опън, граница на еластичност, относително удължение и относително напречно свиване);

- Микроструктурата на стомана CE40E4 при входящия контрол е ферито-перлитна, а тази на стомана 42CrMoS4 при входящия контрол е сорбит;

- По-високо легираната стомана 42CrMoS4 подложена на подобряване (Нагриване за закаляване 850°C, време за задържане 40 min, закаляване в масло с последващо отвърщане при 550°C за 2 h – охлаждане на въздух и във вода) има висока якост на опън и граница на провлачване и при двата метода на охлаждане след отвърщане.

- Стомана CE40E4 демонстрира по-голяма чувствителност към крехкост на отвърщане в сравнение със стомана 42CrMoS4, особено при по-ниските температури на отвърщане.

ЛИТЕРАТУРА

- Abbasian A., Ravangardb A., Hajian Niaa I., Mirzamohammadia S., "Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of Newly Developed Advanced High Strength TRIP Steel", IJE TRANSACTIONS C: Aspects Vol. 35, No. 03, (March 2022) 567-571, doi: 10.5829/ije.2022.35.03c.09.
- Karabayrak B., Bask S., Turan D., "Investigation of the Mechanical Properties of Calcium Treated Low Carbon Steel", Arch. Metall. Mater. 68 (2023), 1, 89-96, DOI: <https://doi.org/10.24425/amm.2023.141478>.
- Krishna A., Krishna B., Harshith D., Sashank T., Subbiah R., "Investigation of Mechanical Properties of AISI 316 Stainless Steel by Carbonitriding Process", E3S Web of Conferences 184, 01018 (2020), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018401018>.
- Maraveas C., Fasoulakis Z., Tsavdaridis K., "Mechanical properties of High and Very High Steel at elevated temperatures and after cooling down", Fire Science Reviews, 2017, Springer, DOI 10.1186/s40038-017-0017-6.
- Orhororo E., Erameh A., Okuma S., "Investigation of the mechanical properties of annealing heat treated low carbon steel", Algerian Journal of Engineering and Technology 06 (2022) 029–036, e-ISSN: 2716-9278.
- Verma R., Singh D., Avikal S., "Experimental Study of Mechanical Properties of AISI 1045, AISI 1053 and AISI 4140 Steels", International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), ISSN: 2249 – 8958, Volume-8 Issue-4S, April 2019, DOI: 10.35940/ijeat.D1014.0484S19.