

Effect of Gas Nitrocarburising on the Structure and Properties of Welded Joints of Corrosion-Resistant Steel

Plamen PETROV, Rusalena NICOLOVA, Daniela SPASOVA

Technical University of Varna, Varna, Bulgaria,
e-mail: petpl@abv.bg, lisichek@abv.bg, danielats@abv.bg

Abstract

The present work investigates the possibility of changing the properties of welded joints of steel parts made of austenitic and duplex corrosion-resistant steels by subsequent nitriding/nitrocarburising of the joints. After nitrocarburising, the achieved hardness and microhardness in the individual zones of the compounds were measured and a microstructural analysis was carried out.

Keywords: stainless steels, welding, hardness, nitriding, nitrocarburising, s-phase

Влияние на следващо газово карбонитриране върху структурата и свойствата на заварени съединения от корозионноустойчиви стомани

Пламен ПЕТРОВ, Русалена НИКОЛОВА, Даниела СПАСОВА

1. Увод

В настоящата работа поставената цел е изследването на възможностите за подобряване на свойствата на заварени съединения от корозионноустойчиви стомани с химико-термично обработване-газово карбонитриране, като подобни въздействия са обект на изследване и в [1], [2], [3] и [4]. Понастоящем е проследено изменението на твърдостта по зони, получена след заваряването на стоманени листи от подбраните стомани, чрез следващото им химико-термично обработване в среда от амоняк и въглероден двуокис по нискотемпературен режим на газово карбонитриране, водещ до формирането на “s” –фаза на повърхността, за която се счита, че има равна или дори по-добра корозионна устойчивост от неръждаемите стомани, като подобни технологични варианти са използвани в [5] и [6]. Обхванати са съединения от два вида корозионно-устойчиви стомани –аустенитна (316L) и дуплексни (S31803; S32205), с химичен състав, съгласно фиг.1.

316L										
Химичен елемент	C, %	Mn, %	P, %	S, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Mo, %	N, %	
Изисквания по стандарта	max 0,030	max 2,00	max 0,040	max 0,015	max 1,00	16,5-18,00	10,00-13,00	2,00-2,50	max 0,100	
Определено за стоманата	0,018	1,13	0,036	0,006	0,39	17,00	10,22	2,05	0,027	

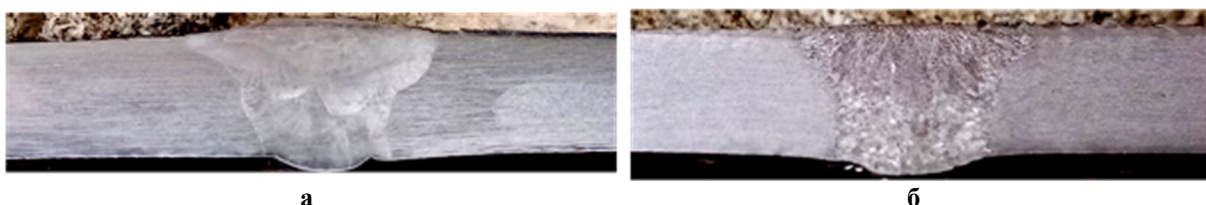
S31803; S32205										
Химичен елемент	C, %	Mn, %	P, %	S, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Mo, %	N, %	
Изисквания по стандарта	max 0,030	max 2,00	max 0,030	max 0,020	max 1,00	21,00-23,00	4,50-6,50	2,50-3,50	0,080-0,020	
Определено за стоманата	0,011	1,13	0,028	0,001	0,31	22,8	5,29	3,2	0,1970	

Фигура 1. Химичен състав на изследваните стомани

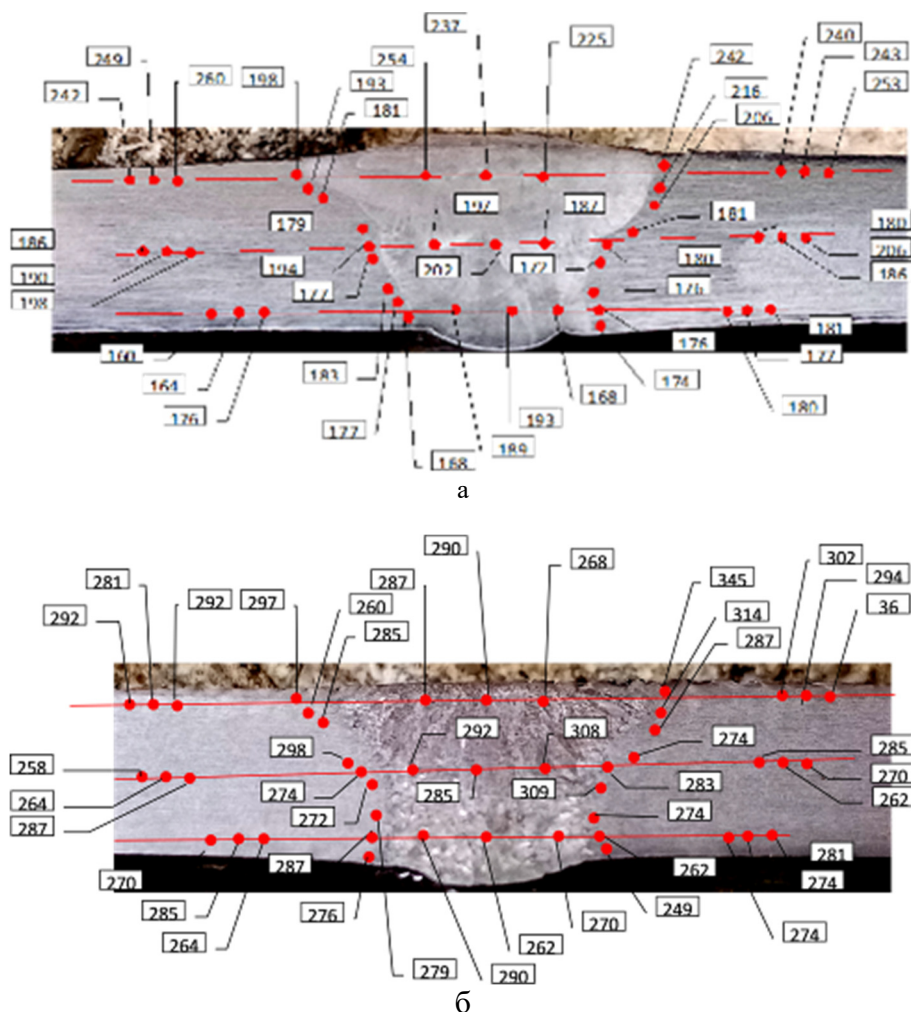
2. Експериментално изследване

2.1. Обекти на изследване

От корозионноустойчивите стомани са подготвени челно заварени съединения по подбрана технология, осигуряваща те да отговарят на предявяваните към тях изисквания по отношение на механични свойства, макроструктура-фиг.2 и разпределение на твърдостта по зони-фиг.3.



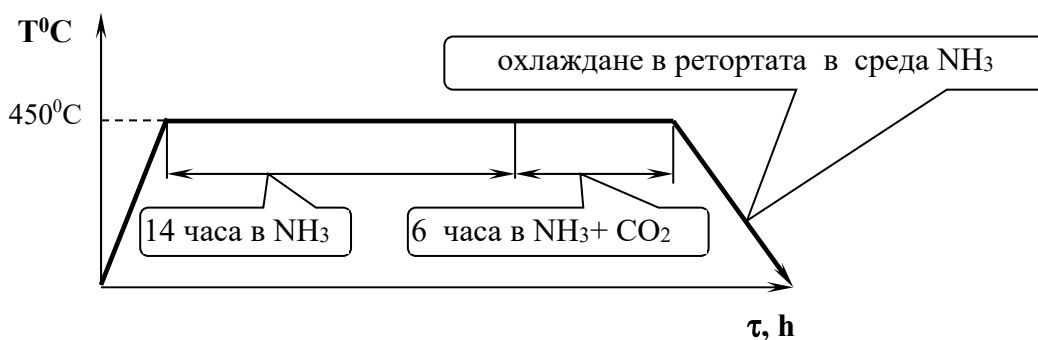
Фигура 2. Макроструктура на заварените съединения:
а - от аустенитна стомана 316L, метод на заваряване W1; б - от дуплексна стомана S31803; S32205, метод на заваряване W1



Фигура 3. Разпределение на твърдостта HV10 в заварените съединения преди химико-термично обработване:
а - в съединение от аустенитна стомана 316L; б - в съединение от дуплексна стомана S31803; S32205

2.2. Методика на експеримента

След премахване на усилването и корена на заваръчните шевове и шлифване на повърхностите (операции извършвани преди механичните изпитвания на заварени съединения или за наварени изделия), заваръчните съединения са подложени на химико-термично обработване съгласно циклограмата представена на фиг. 4. След газовото карбонитриране са измерени постигнатите твърдоти и микротвърдоти в отделните зони на съединенията и е проведен микроструктурен анализ.



Фигура 4. Циклограма на проведеното химико-термично обработване:

3. Резултати

Определените след газово карбонитриране твърдост и микротвърдост по зони за заварените съединения са показани в табл. 1 и табл.2. По усреднените стойности на получените твърдоти са построени сравнителни хистограми-фиг.5.

Табл.1. Твърдост и микротвърдост по зони за стомана 316L.

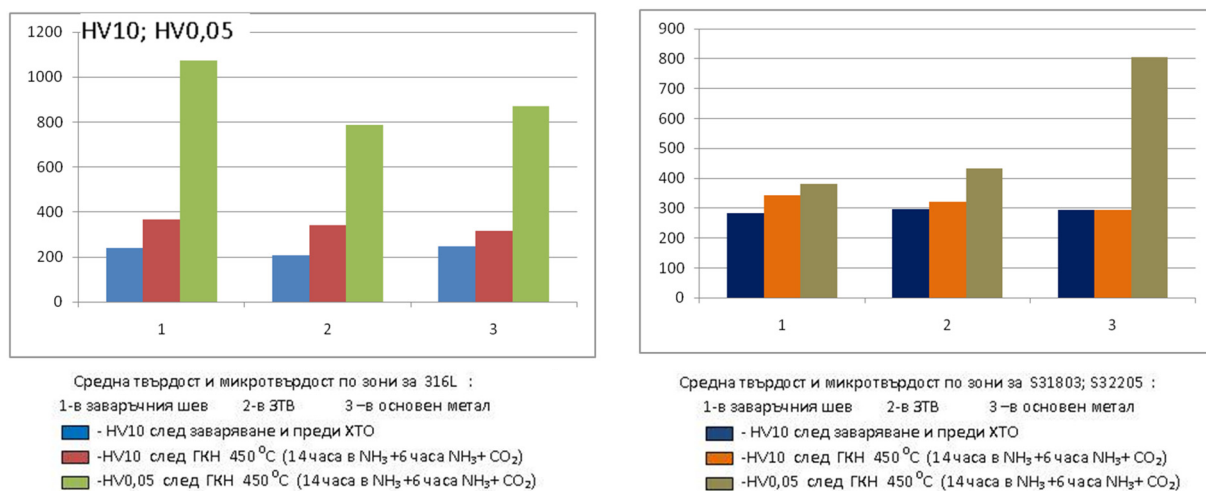
316L		Твърдост HV10				Микротвърдост HV0,05	
Зона / Състояние		След заваряването без ХТО		След ГКН		След ГКН	
Заваръчен шев	254, 237, 225	Средно	351, 366, 383	Средно	1170, 934, 1084, 1044, 1132	Средно	1072
		239		367			
ЗТВ	198, 193, 181, 242, 216, 206	Средно	342, 342, 339, 348, 345, 327	Средно	963, 869, 612, 732, 762	Средно	788
		206		341			
Основен материал	242, 249, 260, 240, 243, 253	Средно	319, 327, 319, 314, 311, 309	Средно	943, 1177, 774, 670, 790	Средно	871
		248		317			

Табл.2. Твърдост и микротвърдост по зони за стомана S31803;S32205.

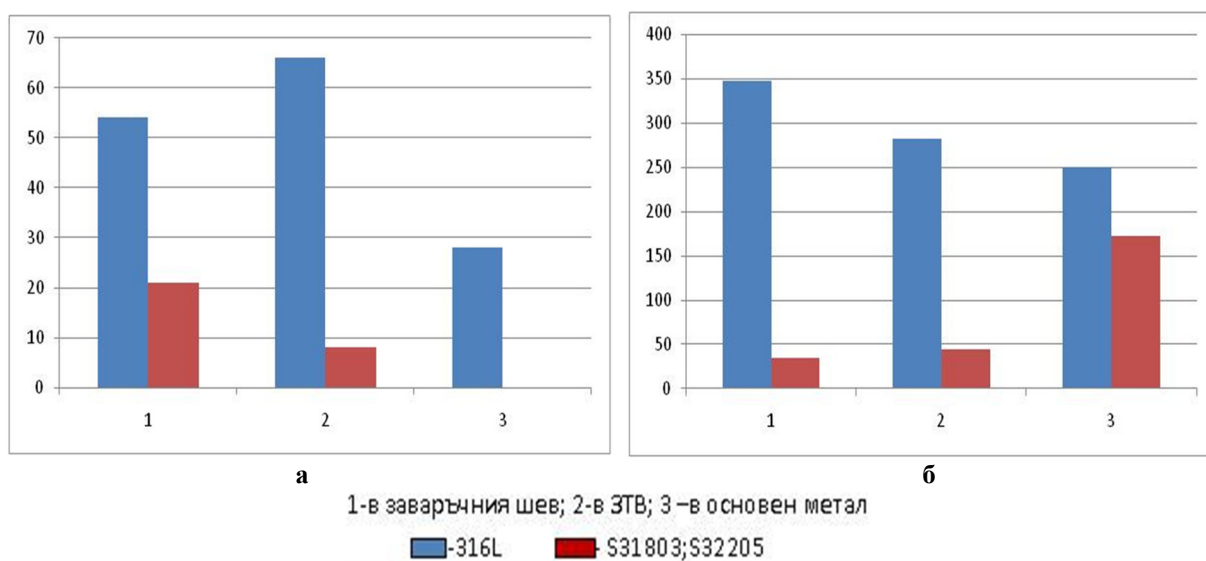
S31803;S32205		Твърдост HV10				Микротвърдост HV0,05	
Зона / Състояние		След заваряването без ХТО		След ГКН		След ГКН	
Заваръчен шев	287, 290, 268	Средно	314, 330, 383	Средно	353, 346, 415, 401, 395	Средно	382
		282		342			
ЗТВ	297, 260, 285, 345, 314, 287	Средно	330, 345, 327, 311, 314, 304	Средно	322, 401, 436, 553, 448	Средно	432
		298		322			

Основен материал	292, 281, 292, 302, 294, 306	Средно	292, 292, 287, 279, 302, 309	Средно	671, 752, 610, 1082, 908	Средно
		295		294		805

Постигнатата степен на уякчаване по зони е представена на фиг.6.

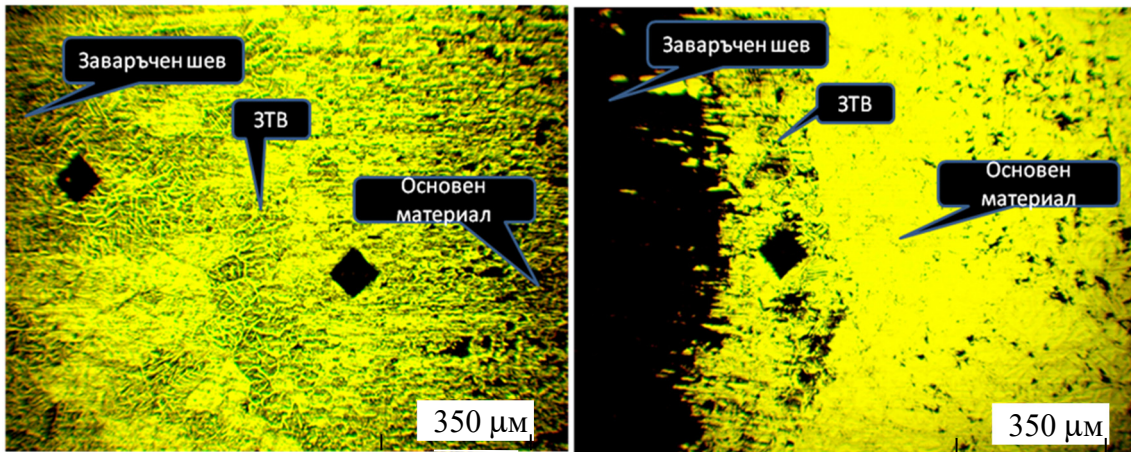


Фигура 5. Твърдост и микротвърдост по зони(по усреднени стойности)

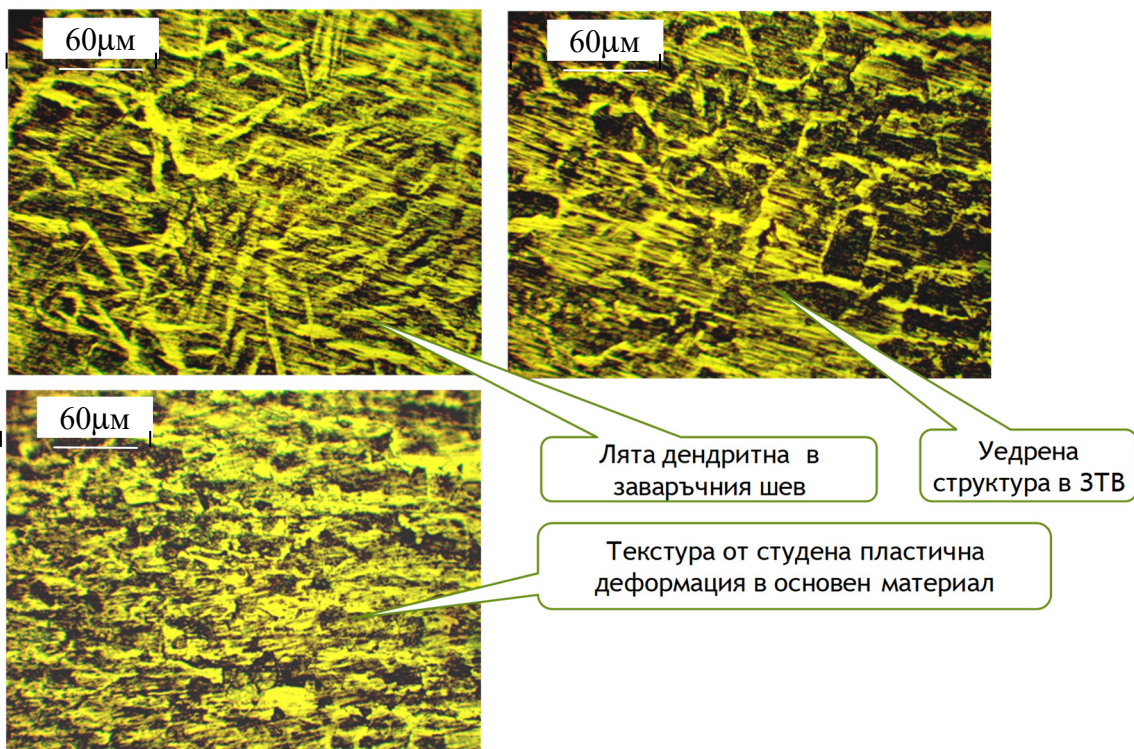


Фигура 6. Степен на уякчаване, % по зони: а-HV₁₀; б-HV_{0,05}

Резултати от проведения микроструктурен анализ са представени на фиг.7 и фиг.8.



Фигура 7. Микроструктура в план на заваръчните съединения след ГКН □50:
а - 316L; б - S31803; S32205



Фигура.8 Микроструктура в план на заваръчния шев и ЗТВ и основата при 316L след ГКН:
а - заваръчен шев-х400; б – зона на термично влияние-х400; в - основен материал-х 400.

4. Анализ

Според проведеният фрактографски анализ изследваните заваръчни съединения са с добро качество, без наличие на дефекти от типа пори, пукнатини, непровари, подрези.

Проведеното нискотемпературно газово карбонитриране водещо до формиране на т.н. “s”-фаза води до по-значително уякчаване на аустенитната стомана в сравнение с дуплексната, като същото може да се заключи и за цялото заварено съединение от тази стомана. Прави впечатление, че подбраният електрод и режим на заваряване осигуряват най-висока твърдост след карбонитриране в зоната на заваръчния шев. Най-слабо

повърхностно уякчаване при това съединение е установено в ЗТВ, вероятно поради силно уедрената структура в тази зона.

При съединението от дуплексна стомана, значително повърхностно уякчаване е установено само за основния материал. Значително по слабо е за ЗТВ и най-ниско в заваръчния шев, което води до заключението, че не е подбран подходящ електрод за заваряване. Освен това следва да се посочи, че полученият повърхностен уякчен слой е с по-малка дебелина и при определяне на повърхностна твърдост с натоварване 10 kg, уякчаването не се регистрира. Този резултат показва, че дифузионните процеси при дуплексната стомана от посоченият тип, протичат с по-малка скорост в сравнение с аустенитната стомана 316L

Уякчаването е по-значително и по-равномерно по зони при съединението от аустенитната стомана и това предполага разглежданата технология да може успешно да бъде приложена в разглеждания случай.

5. Изводи

Нискотемпературното газово карбонитриране с формиране на “s”-фаза води до значително уякчаване в отделните зони на завареното съединение от аустенитна стомана 316L. Максимална степен на уякчаване се постига в зоната на термично влияние, което е особено благоприятен факт, тъй като точно там се очаква влошаване на механичните показатели след заваряване. За доказване на благоприятното въздействие на тази обработка върху свойствата на завареното съединение следва да се извършат изпитвания на износоустойчивост и корозоустойчивост.

По отношение на дуплексната стомана следва да се предложи ревизия на избора на електрод за заваряване, тъй като е установена доста сериозна разлика по отношение възможността за насищане на основния материал и заваръчния шев.

Литература

1. Alphonsa J., B.A. Padsala, B.J. Chauhan, G. Jhala, P.A. Rayjada, N. Chauhan, S.N. Soman, P.M. Raole, Plasma nitriding on welded joints of AISI 304 stainless steel, *Surface & Coatings Technology* 228 (2013), S306–S311
2. Nam T.-H., E. An, B. J. Kim, S. Shin, W.-S. Ko, N. Park, N. Kang, J. B. Jeon, Effect of Post Weld Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of a Submerged-Arc-Welded 304 Stainless Steel, *Metals* 2018, 8, 26; doi:10.3390/met8010026
3. Sun Y., Effect of welding on the nitriding response of AISI 304 stainless steel, <https://www.researchgate.net/publication/287621000>
4. Brownlie F., T. Hodgkiess, A. Pearson, A.M. Galloway, Effect of nitriding on the corrosive wear performance of a single and double layer Stellite 6 weld cladding, https://pure.strath.ac.uk/ws/portalfiles/portal/66448628/Brownlie_etal_Wear_2017_Effect_of_nitriding_on_the_corrosive_wear_performance.pdf
5. Godec M., Č. Donik, A. Kocijan, B. Podgornik, D.A. Skobir Balantič, Effect of post-treated low-temperature plasma nitriding on the wear and corrosion resistance of 316L stainless steel manufactured by laser powderbed fusion, *Additive Manufacturing*, Vol. 32, March 2020, 101000, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.101000>
6. Gokcekaya O., C. Ergun, T. Gulmez, T. Nakano, S. Yilmaz, Structural Characterization of Ion Nitrided 316L Austenitic Stainless Steel: Influence of Treatment Temperature and Time, *Metals* 2022, 12, 306, <https://doi.org/10.3390/met12020306>