

Влияние на режима на заваряване по методи ВИГ и импулсен ВИГ върху структурата на съединения от аустенитна стомана 1.4541

Теофил Ямболиев, Златка Евдокимова

Effect of TIG and pulsed TIG welding conditions on the microstructure of austenitic stainless steel 1.4541 (AISI 321): The goal of this work was to establish appropriate welding conditions for butt weld joints of 2 mm thickness. It was achieved a weld quality corresponding to BDS ISO 5817, level B, using both TIG and pulsed TIG welding processes with no backing. Austenitic microstructure with about 5 % vermicular ferrite was established in the fusion zone. The microhardness profile revealed higher values of the TIG welds compared with the pulsed welds, however, the difference is negligible. The heat input using pulse TIG welding is 76 % of that applied in the TIG process, i. e. the energy savings are 24 %.

Key words: austenitic stainless steel, welding, pulse TIG, microstructure

ВЪВЕДЕНИЕ

Стабилизираните аустенитни неръждаеми стомани са често единствено решение като материал за заварени конструкции, работещи в среда с повишена агресивност. Стоманата 1.4541 е легирана с Ti, който предотвратява образуването на Cr-карбиди и склонността на заварените ѝ съединения към междукристална корозия. Други предимства на стоманата са дребнозърнестата ѝ структура, ниска граница на провлачане, повишена якост и пластичност и отлична заваряемост [4].

При ВИГ заваряване с постоянен и импулсен ток (ИВИГ) металът на шева /МШ/ се отличават с химичен състав, еднакъв с този на основния метал, благодарение на ефективна газова защита и възможността малки дебелини да се заваряват без добавъчен материал. ИВИГ позволява чрез подходящ избор на режима прецизно контролирането на параметрите на заваръчната вана [3, 7].

При ИВИГ заваряване на стомана 1.4301 са получени съединения със свойства, равностойни на тези на основния метал. Освен това са установени по-ниски енергийни разходи в сравнение с ВИГ заваряване [5, 6]. В същото време липсват данни за ИВИГ заваряване на стомана 1.4541. Не е известно дали режимите за заваряване на 1.4301 са приложими за 1.4541. Основание за положително очакване е значителното сходство в химичния им състав. Но също така е възможно наличието на Ti и повишеното съдържание на въглерод да променят съществено поведението на стомана 1.4541 в процеса на ИВИГ заваряване. Съобщава се за характерни особености в микроструктурата на МШ и зоната на термично влияние /ЗТВ/ на заварените съединения от 1.4541 [8].

Цел на настоящата работа е да установи влиянието на режима на ВИГ и ИВИГ заваряване върху образуването на шева и структурата на съединенията.

МЕТОДИКА

От листовата стомана 1.4541 с дебелина 2 мм и химичен състав, посочен в табл.1, са разкрояват на гилотина планки с размери 200x20x2 мм. Планките се изправят, почистват и обезмасляват с ацетон. За да се осигури междина близка равна на нула, планките се прихващат. Установяват се в приспособление, което осигурява ефективна защита на корена на шева [3].

Таблица 1. Химичен състав

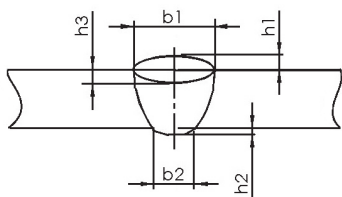
Химичен елемент %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti
1.4541 (AISI 321)	0.02	0.75	1.55	0.031	0.01	17.61	10.1	0.43
1.4301 (AISI 304)	0.05	0.42	1.61	0.027	0.003	18.1	8.1	-

Стомани 1.4301 и 1.4541 са близки по състав, табл. 1. Затова за определяне на режими за ВИГ и ИВИГ заваряване на 1.4541 са използвани съответните режими, използвани за стомана 1.4301 [5, 6].

Заварени са челни съединения без подложка. По метод ВИГ е използвана линейна енергия $0,13 \pm 0,21$ кдж/мм ($\eta=0,55$), а по ИВИГ - $q_n=0,13 \pm 0,17$ кдж/мм. При ВИГ токът се изменя в границите $I=83 \pm 130$ а, а напрежението на дъгата $U=10-12,8$ в. В посочените граници се изменя и средният ток при ИВИГ, а $U=9,4 \pm 13,5$ в. Относителната продължителност на импулса е $t_u/T=50$ %, а честотата на импулса варира в интервала $f=1 \pm 5$ хц. Скоростта на заваряване е 4 мм/с.

Използван е електрод WT20 с диаметър 2,4 мм с ъгъл на заточване 30° и излаз от дюзата е 3 мм. Дължината на дъгата е 2 мм [5, 6]. Газовата защита е с Ag с дебит: лице на шева 9 л/мин, корен – 6 л/мин; диаметър на газовата дюза - 12 мм.

Анализирани са формата и размерите на шева по фиг. 1, както и наличието на заваръчни несъвършенства по БДС ISO 5817 [2].



Фиг. 1. Размери на шева

Подготвени са образци за металографски анализ [1]. Изрязани са чрез водна струя. Полирани са с диамантена паста с едрина на зърното 1 μ м. За проявяване е използван разтвор на солна и азотна киселина в отношение 3:1. Тъй като с него проявяването на структурата протича бурно и неконтролируемо, съотношението е променено на 1:1.

Микротвърдостта в различни участъци от съединението е измерена с товар 1,02 N.

РЕЗУЛТАТИ

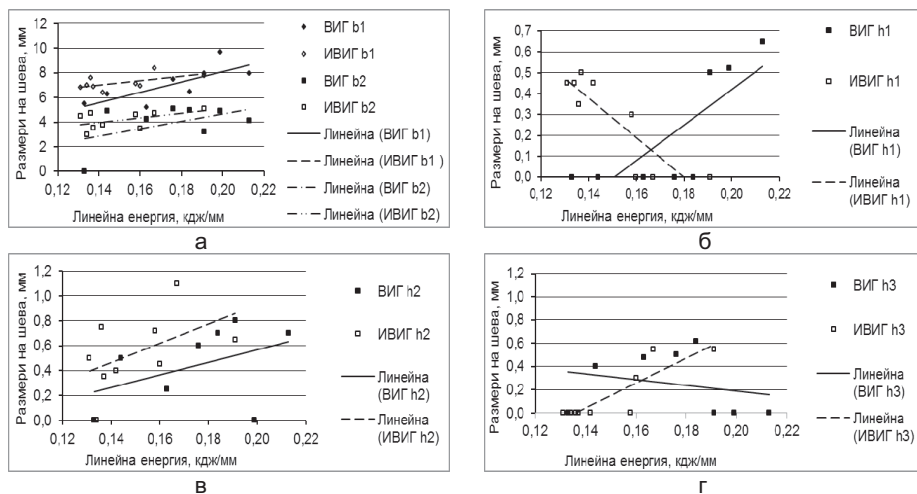
Геометрия на шева

Заварен е значителен брой съединения. От тях са избрани тези с пълен провар и правилно оформен шев. Получени са на режимите от табл. 2. При ВИГ заваряване най-добър външен вид има съединението, заварено на режим ВИГ6 с $q_n=0,21$ кдж/мм, а при ИВИГ – на режим ИВИГ6, $q_n=0,16$ кдж/мм. Въпреки че линейната енергия на режим ВИГ5 е равна на тази при ИВИГ6 - $q_n=0,16$ кдж/мм, при ВИГ5 размерите на шева са по-малки, а проварът е непостоянен по дължината на шева.

Изменението на размерите с повишаване на линейната енергия е показано на фиг. 2. И при двата метода ширината на шева от лицевата и кореновата му страна и височината на корена нарастват с малък превес при ИВИГ образците, фиг. 2, а, в.

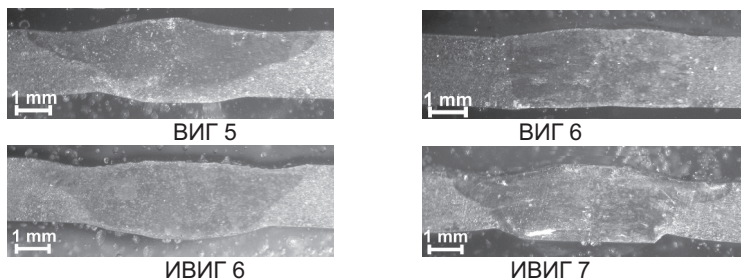
Таблица 2. Режими за заваряване на изследваните съединения, $v=4$ мм/с; $t_u/T=50$ %

№	I_n	I_ϕ	I	U	q_n	Размери на шева, мм				
	a	a				b ₁	b ₂	h ₁	h ₂	h ₃
ВИГ5	-	-	117	10,1	0,16	5,20	4,25	0	0,25	0,48
ВИГ6	-	-	121	12,8	0,21	7,95	4,10	0,65	0,70	0
ИВИГ6	137	52	95	12,1	0,16	7,10	4,60	0	0,70	0-0,3
ИВИГ7	140	53	97	12,6	0,17	8,35	4,70	0	1,10	0,55



Фиг. 2. Зависимост на размерите спрямо внесеното количество топлина

Установено е разнопосочно изменение на усилването h_1 на шева - при ВИГ нараства, а при ИВИГ намалява и за част от образците, заварени с $q_{л} > 0,16$ кдж/мм, преминава в леко хлътване h_3 от лицевата страна на шева. Размерите на шева удовлетворяват изискванията на БДС ISO 5817, ниво В, с изключение на h_3 , който отговаря на ниво D [3, 4]. Съединението, заварено на режим ИВИГ7, се отличава с по-големи размери на шева от тези на останалите съединения и рязък преход в корена между ОМ и МШ, фиг. 3, г. Тези резултати показват, че импулсното внасяне на топлината предизвиква по-ефективно стопяване, отколкото при заваряване с постоянен ток.



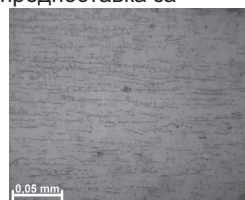
Фиг. 3. Макроструктура на заварени съединения

Фиг. 3 е представя макроструктурата за заварените съединения, получени на режимите от табл. 2. Наблюдава се плавен преход от ОМ към МШ с изключение на шева от ИВИГ 7, където в корена на шева е оформен надрез предпоставка за концентрация на напрежение.

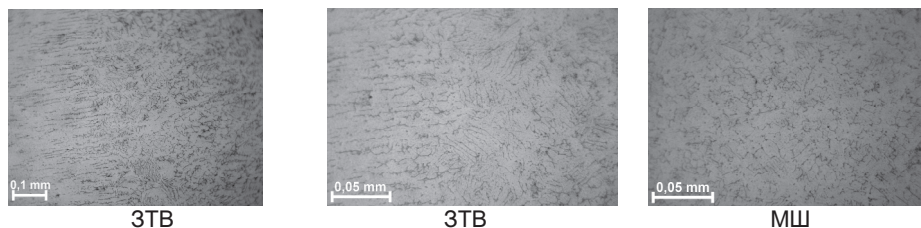
Микроструктура

Микроструктурата на основния метал, фиг. 4, е дребнозърнеста с удължени зърна вследствие валцоване.

Фиг. 4. Микроструктура на ОМ

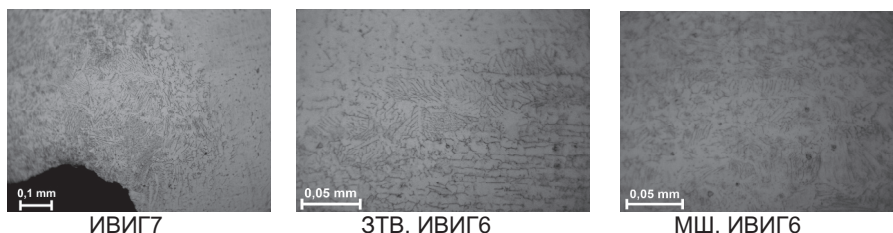


Сред аустенитните зърна откъслечно са вметени тънки пластове от остатъчен ферит, чието количество е незначително - от порядъка на 1 %.



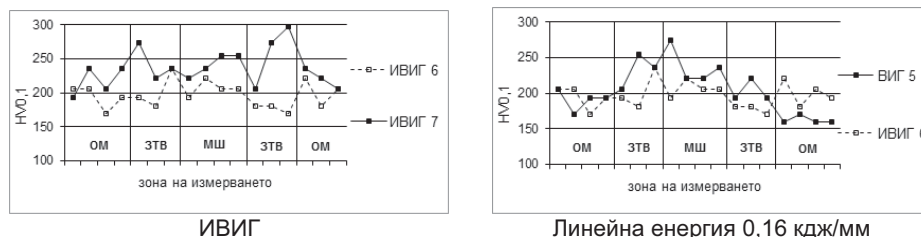
Фиг. 5. Микроструктура на съединения, заварени по режим ВИГ6

Микроструктурата на ВИГ и ИВИГ заварени съединения е показана на фиг. 5 и фиг. 6. Вследствие на внесеното количество топлина се наблюдава нарастване на зърната в ЗТВ. Структурата на МШ е изградена от иглести аустенитни дендрити и скелетообразен остатъчен ферит около 5 %. Отсъстват заваръчни несъвършенства.



Фиг. 6. Микроструктура на съединения, заварени по метод ИВИГ

В резкия преход от ЗТВ към МШ от обратната страна на шева, заварен на режим ИВИГ7, е налице силно нарастване на зърната на двете фази – аустенит и ферит, което свидетелства за местно прегряване. Като цяло - отсъстват съществени разлики в структурата на съединенията, заварени по методи ВИГ и ИВИГ.



Фиг. 7. Микротвърдост

Микротвърдост

Разпределението ѝ в ИВИГ съединения е представено на фиг. 7, а. При всички съединения най-високи стойности - 270-280 HV0,1, са измерени в ЗТВ. При ИВИГ7 микротвърдостта е по-висока от тази на ИВИГ6. Това се дължи вероятно на

отделяния, напр. Ti-карбиди, чието количество нараства с внесеното количество топлина. Получените резултати при метод ВИГ са аналогични.

Микротвърдостта на съединенията, заварени на режими ВИГ5 и ИВИГ6 с $q_n=0,16$ кдж/мм, илюстрира фиг. 6, б. Въпреки еднаквата линейна енергия за заваряване, микротвърдостта на ВИГ образците е по-висока от тази на ИВИГ образците, но разликата е несъществена. Следователно импулсният ток влияе по-слабо от постоянния ток върху отделянето на фази в зърната в ЗТВ и МШ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установени са режими за ВИГ6 и ИВИГ6 за заваряване с линейна енергия съответно $q_n=0,21$ кдж/мм и $q_n=0,16$ кдж/мм, при които се получава плътен шев без заваръчни несъвършенства. Геометрията на шева покрива изискванията за качество на ISO 5817, ниво В.

2. Не се наблюдават съществени разлики в микроструктурата на съединенията, заварени на режими ВИГ6 и ИВИГ6. Тя е аустенитна с около 5 % остатъчен ферит в МШ.

3. Максималната микротвърдост на ВИГ5 образците 280 HV0,1 е по-висока от тази на ИВИГ6 образците, но разликата е несъществена.

4. Благодарение на несъществените различия в свойствата на качествените челни съединения, заварени по методи ВИГ и ИВИГ, за заваряване се препоръчва режим ИВИГ6. Неговата линейна енергия съставлява 76 % от използваната за режим ВИГ6, т. е. енергийните му разходи са по-малки с 24 %.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Анчев В., В. Тошков и др., Ръководство за лабораторни управнения по материалознание, КИНГ, 2001.

[2] БДС EN ISO 5817 Заваряване. Заварени съединения, получени при стопяване на стомани, никел, титан и техните сплави. Оценъчни групи на несъвършенства.

[3] Тонгов М., Заваряване част първа Процеси, Софттрейд, 2009.

[4] Цанева Б., М. Лукайчева, Хром-манганови неръждаеми стомани – развитие и корозионно поведение, Машини Технологии, Материали, С., 2007, 177-180.

[5] Ямболиев Т., Т. Иванов, ВИГ заваряване на аустенитна неръждаема стомана с обикновена и импулсна дъга, Journal of Technical University Sofia, branch Plovdiv, Vol. 16, 2011, 243-247.

[6] Ямболиев Т., Т. Иванов, Оптимизиране режима на импулсно ВИГ заваряване на аустенитна неръждаема стомана 1.4301, Journal of Technical University Sofia, branch Plovdiv, Vol. 16, 2011, 249-254.

[7] Lippold J., D. Kotecki, Welding metallurgy and weldability of stainless steels, A Wiley-Interscience publication, 2005.

[8] L.E. Umore, Effect of weld type and post weld heat treatment on the corrosion resistance of AISI 321 stainless steel in a tar sand digester, Emirates Journal for Engineering Research, 2008, 13, 45-50.

За контакти:

Доц. д-р Теофил Ямболиев, Катедра "Машиностроителна техника и технологии", Технически университет София – филиал Пловдив, тел: 032/659 622; e-mail: tiamb@tu-plovdiv.bg

Маг. инж. Златка Узунова – докторант, Катедра "Машиностроителна техника и технологии", Технически университет София – филиал Пловдив, тел: 089-783 7247, e-mail: z_uzunova@yahoo.com

Докладът е рецензиран