

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗАВАРЕНО СЪЕДИНЕНИЕ ОТ ОХЛАДИТЕЛНА СИСТЕМА НА ФОТОВОЛТАИЧНА ИНСТАЛАЦИЯ

Стефан Христов, Пламен Ташев, Серьожа Вълканов

s.christov@ims.bas.bg, weld@abv.bg, svalkanov@abv.bg

Институт по металознание, съоръжения и технологии „Акад. А. БалеВСки” с център по хидроаеродинамика-БАН, София 1574, бул. „Шипченски проход” № 67, БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *заваряване, заварено съединение, неръждаваща стомана, фотоволтаична инсталация, разширителен съд, несъвършенства, корозия, макро- и микроструктура*

Резюме: *Определили сме качеството на заварено съединение от разширителен съд на водната охладителна система на фотоволтаична инсталация. Чрез анализ на макро-, микроструктурата и химическия състав на завареното съединение са открити множество несъвършенства. Неправилно проведеният режим на заваряване с висока линейна енергия е довел до появата на високи остатъчни заваръчни напрежения, до прегряване на метала и престояването му по-дълго време при високи температури. Това е понижило корозионната устойчивост на метала в зоната на термично влияние (ЗТВ) и е най-вероятната причина за появата на корозия и развитие на пукнатини.*

Въведение

Изчерпването на световните запаси от изкопаеми горива води пряко до стимулиране използването на възобновяеми енергийни източници и в частност на слънчевата енергия. Изграждането на фотоволтаичните централи е сред актуалните пътища на развитие на съвременната енергетика. Самият фотоволтаичен елемент е генератора за получаване на електроенергия от слънчевата енергия, но заедно с него във фотоволтаичната централа работят много други системи и елементи осигуряващи получаването на електрически ток. Увеличението на температурата на фотоволтаичния елемент води до понижаване на производителността (напр. 0.5% на 1°C) и това налага използването на вентилационни и охлаждащи системи.

Целта на настоящата работа е определяне на качеството на заварено съединение “надлъжен шев” на разширителен съд от водната охладителна система на фотоволтаична инсталация.

Материали и подготовка

Разширителните съдове са част от водната охладителна инсталация, която се състои от: топлообменници; помпа; маркучи; разширителен съд; обезвъздушителен клапан; спирателни кранове; контролни сензори на поток и налягане. Охладителната течност е разтвор на етилен гликол в дестилирана вода (45/55 %). Температурата на охладителната течност варира между околната температура (през зимата може да бъде

до -10°C), типична температура +50°C и максимална +70°C. Инсталацията работи при типично налягане 2bar, максимално 3.5bar, минимално 1.5bar. Разширителният съд е изработен от стомана AISI304 (1.4301). Разширителният съд е разположен в затворено, добре вентилирано помещение напълно изолирано от възможно влияние на климатични фактори като валежи, пряка слънчева светлина и други. Водната инсталация е заземена чрез тръбите от неръждаващата стомана.

Изследвани са проби от два разширителни съда:

Проба 1 - с недопустими несъвършенства (дефекти)

Проба 2 - без несъвършенства

От пробите са изрязани и изготвени образци за:

- спектрален анализ с цел установяване на химичния състав на основния материал;
- изследване на макроструктурата на заварено съединение;
- изследване на микроструктурата на заваръчен шев, зона на термично влияние и основен метал;
- изследване на фазовия състав и разпределението на елементите в заварено съединение;

Изследване на основния метал

Извършен е химичен анализ на стоманата, от която са произведени разширителните съдове. Сравнени са данните от документацията на производителя на разширителния съд и резултатите от направения химичен анализ (таблица №1).

Таблица № 1

Данни на производителя (тегловни %)									
Символ	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	Ni	N
Измерено (тег.%)	0,062	0,45	1,22	0,030	0,001	0,11	17,7	8,71	0,018
Мах до (тег.%)	0,07	1,0	2,0	0,045	0,015	*	17,5-19,5	8,5-10,2	0,11
Данни от измерването – образец № 1 (тегловни %)									
Символ (тег.%)	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	Ni	N
Средно (тег.%)	0,054	0,517	1,52	0,028	0,018	0,23	16,7	7,89	*
Данни от измерването – образец № 2 (тегловни %)									
Символ (тег.%)	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	Ni	N
Средно (тег.%)	0,062	0,537	1,20	0,031	0,024	0,31	16,7	8,01	*

* Няма данни

Сравнението показва, че измерените стойности за съдържание на Cr и Ni са по-ниски от стойностите, посочени от производителя. По химичен състав стоманата отговаря на стомана AISI304 (1.4301), но с малко по-ниски съдържания на Cr и Ni.

Изследване на завареното съединение

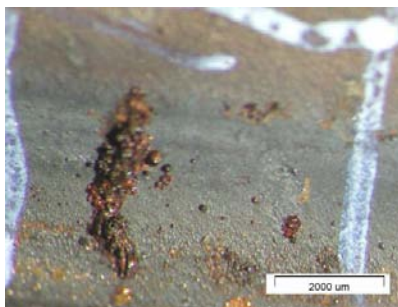
Всяко заварено съединение се състои от три характерни зони: основен метал (ОМ), заваръчен шев (ЗШ) и зона на термично влияние (ЗТВ), като всяка от тях трябва да бъде окачествена.

Основен показател за качеството на заварено съединение е състоянието на повърхностите му. За оценяване на този показател е използван визуален контрол, съгласно БДС EN ISO 17637 с помощта на лупа с трикратно увеличение, както и със стереомикроскоп “Technoval” (СМ) и металографски микроскоп “Metallovert” (ОМ).

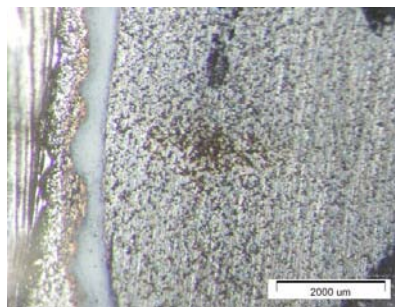
Той обхваща и трите зони на завареното съединение и е осъществен върху вътрешната и външната повърхности на образците (проба 1 и проба 2).

При визуалните наблюдения на проба 1 се наблюдава пробив (дефект) в маркирания от заявителя участък. От външната страна на около 3 mm се наблюдава тъмна следа успоредна на ЗШ. Същата ивица (много по ясно изразена) се наблюдава и от вътрешната страна. Установява се корозия от вътрешната част на заваръчния шев и принадлежащата към него зона от страната на завареното съединение. Несъвършенството е в зоната на тъмната следа.

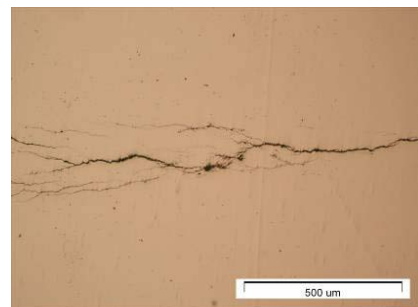
Състоянието на повърхностите на образците на проба 1 (образец 1) са показани на фиг. 3. Установиха се локални повърхностни нарушения на повърхността на завареното съединение в ЗТВ. Металографските наблюдения показаха, че това са пукнатини, които са недопустими несъвършенства (дефекти) по всички стандарти за качество на заварените съединения, включително и съгласно ISO 5817 (БДС EN 25817).



Фиг.3а. Несъвършенство върху вътрешната страна, обр.№1, СМ



Фиг.3б. Несъвършенство върху външната страна, обр.№1, СМ



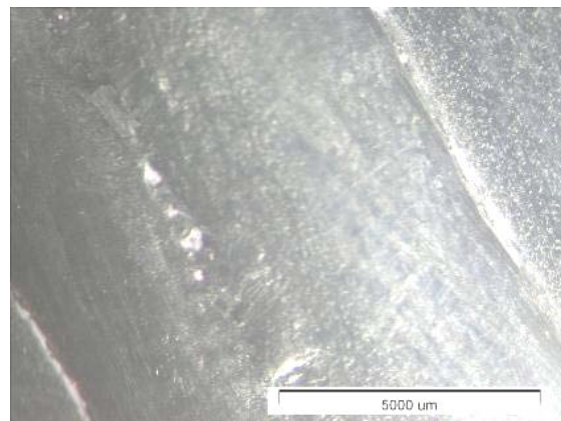
Фиг.3в. Несъвършенство върху външната страна на съда (след шлифоване и полиране), обр.№1, СМ

Дефектът е перпендикулярно разположен спрямо заваръчния шев, като се наблюдава мрежа от пукнатини. По повърхностите на образец 2 не са открити повреждания (несъвършенства).

Повърхностите на заваръчните шевове са показани на фиг. 4а и фиг. 4б. По повърхностите на заваръчните шевове не са открити несъвършенства.



Фиг.4а. Общ вид на заваръчен шев, обр. №1, СМ



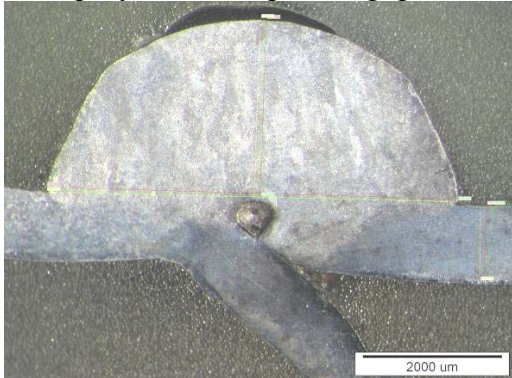
Фиг.4б. Общ вид на заваръчен шев, обр.№2, СМ

Макроструктурата на “надлъжен” заваръчен шев в напречно сечение на шева (проба 1) е показана на фиг. 5а. Макроструктурата е типична за метал на заваръчен шев от аустенитна стомана с относително малко количество ферит. Заваръчен шев на проба 2 (образец 2) е със значително по-малки размери на напречното сечение на метала на

шева (фиг.5б). Очевидно той е изпълнен с много по-малка линейна енергия на заваряване и отговаря на изискванията ISO 5817 (БДС EN 25817).

Правят впечатление много големите размери на напречното сечение (за проба 1) на метала на шева (широчина 7,90 mm, и височина 2,59 mm). За сравнение дебелината на основния метал е 1,02 mm. Освен това металът на шева се е разлял върху основния метал без да има провар (връзка, сплавяване между двата метала).

Наблюдават се следните несъвършенства: голяма пора в средата на шева (фиг.5а) и несплавяване (непровар) в преходите от метала на шева към основния метал (фиг.6). Микроструктурата на ЗТВ зависи от микроструктурата на основния метал и заваръчния термичен цикъл. Последният променя микроструктурата на основни метал в ЗТВ в резултат на термо-деформационния заваръчен цикъл.



Фиг.5а. Макроструктура на обр.№1, СМ. От фотографията са определени: ширината на заваръчния шев, височината му и дебелината на заварявания материал в mm.: $V=7.90+0.02$ mm ; $h=2.59+0.02$ mm ; $d=1.02+0.02$ mm



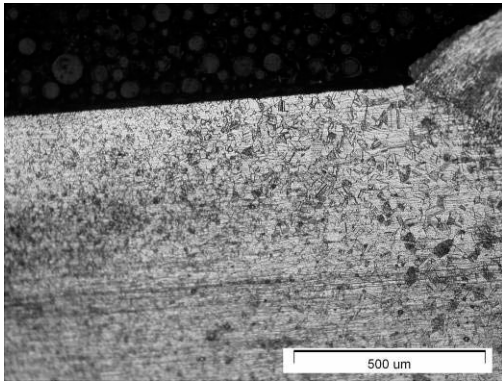
Фиг.5б. Макроструктура на обр.№2, СМ. От фотографията са определени: ширината на заваръчния шев, височината му и дебелината на заварявания материал в mm.: $V=5.42+0.03$ mm ; $h=0.63+0.14$ mm ; $d=1.04+0.02$ mm



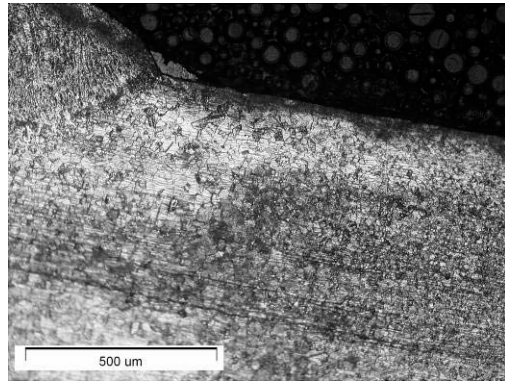
Фиг. 6. Несъвършенства в преходите от метала на шева към основния метал, Ляв и десен край на шева, ОМ

Това означава, че при нагряване и охлаждане на метала в ЗТВ настъпват промени в неговата микроструктура поради изменение на размера на аустенитните зърна, протичащите дифузионни процеси, водещи до преразпределение на химичните елементи, образуването на карбиди, на нови фази и т.н. Микроструктури на заваръчния шев, ЗТВ и ОМ са показани на снимките на фиг.7. Наблюдаваните микроструктури са типични за заварено съединение от аустенитна стомана.

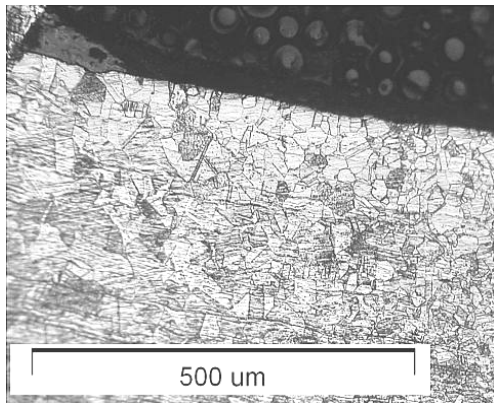
Извършени са наблюденията със СЕМ и изследванията с РМА. Показани са изображения на микроструктурата (напречно на заваръчните шевове) в режим на вторични електрони (фиг.8). Показани са интеркристални пукнатини (дефектът върху външната страна на повредения съд), както и промяната на съдържанието на хром в зоната на пукнатините (фиг.9).



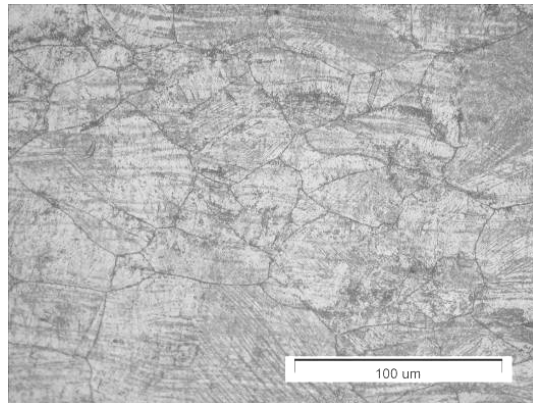
Фиг.7а. Микроструктура на заваръчен шев, ЗТВ (аустенитна структура с деформационни ивици), обр.2, ОМ



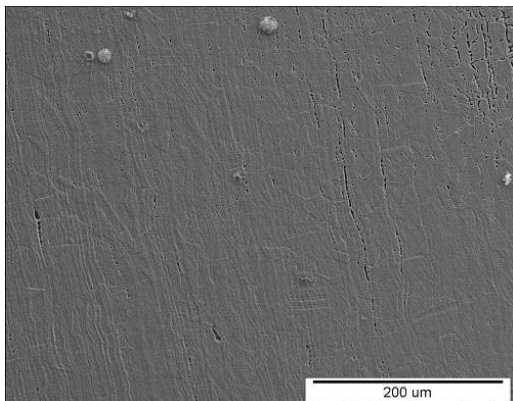
Фиг.7б. Заваръчен шев, зона на термично влияние и основен метал, обр.2, ОМ



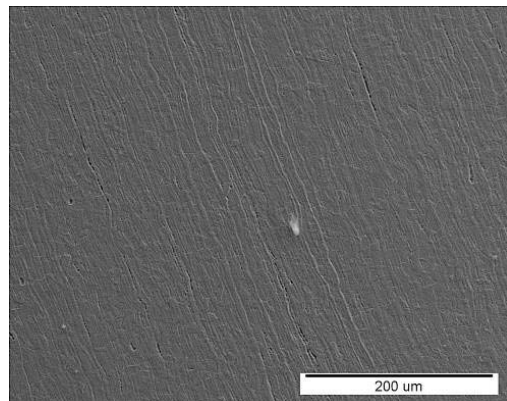
Фиг.7в. Микроструктура на зона на термично влияние, аустенитна структура с деформационни ивици, удебелени граници на отделни зърна, обр.1, ОМ



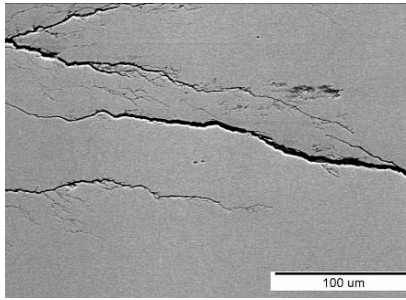
Фиг.7в. Микроструктура основен метал, аустенитна структура, тънки и чисти граници на зърната, обр.1, ОМ



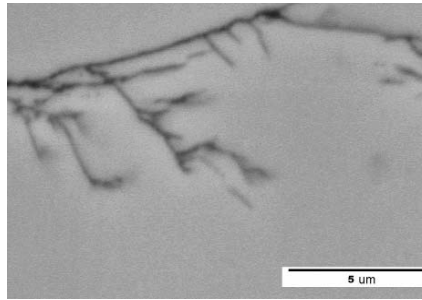
Фиг.8а. Микроструктура на ЗТВ в близост до заваръчния шев, обр.1, СЕМ



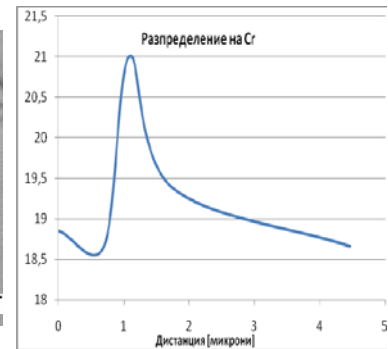
Фиг.8б. Микроструктура зона на термично влияние - основен метал, обр.1, СЕМ



Фиг.9аИнтеркристални пукнатини (несъвършенство върху външната страна на повредения съд), обр.1, СЕМ



Фиг.9б Интеркристални пукнатини, зона върху която е проследена промяната на съдържанието на хром, обр.1, СЕМ



Фиг.9в Промяната количеството на хром при преминаване през зона с интеркристално напукване, РМА

В проба 1 (образец 1) се наблюдават ясно изразени участъци на интеркристална корозия, както и множество интеркристални пукнатини, които са недопустими несъвършенства.

Резултати и анализ

При производството на разширителен съд (проба 1) е приложен неподходящ режим на заваряване с прекомерно голяма линейна енергия, т.е. енергия, вложена в единица от дължината на шева. “Надлъжният” заваръчен шев на проба 1 (образец 1) се квалифицира като дефектен, защото не удовлетворява изискванията на ISO 5817 (БДС EN 25817) за ниво на качество «В» и за ниво на качество «С» по следните показатели:

- Ъгъл на прехода от метала на шева към основния метал. За проба 1 (образец 1) той е под 90 градуса и не удовлетворява изискванията за най-ниското ниво на качество «D». За ниво на качество «В» този ъгъл трябва да е ≥ 150 градуса, а за ниво на качество «С» - ≥ 100 градуса. Причината е в прекомерна изпъкналост (височина) на шева;

- Разливане на част от метала на шева върху основния метал. Това е недопустимо както за ниво на качество «В», така и за ниво на качество «С»

Неравномерното нагряване на метала в ЗТВ води до образуване на временни и остатъчни деформации и напрежения. Последните могат да достигна големи стойности (включително до границата на провлачване на основния метал). Поради използването на режим на заваряване с висока линейна енергия остатъчните заваръчни напрежения се приближат до границата на провлачване на основния метал. Те интензифицират корозионните процеси, особено корозията под напрежение в ЗТВ. В същата посока действат и напреженията, възникващи при експлоатацията на разширителния съд, причинени от периодичните промени в налягането и температурата. Напреженията в разширителния съд причиняват развитие на възникналите корозионни дефекти в микро- и макрупукнатини. Прекомерното нагряване на метала в ЗТВ улеснява дифузионните процеси, водещи до преразпределение на легиращите елементи и по-специално на хрома, както и до образуване на хромови карбиди. Това намалява съдържание на хром в локални области, което понижава корозионната устойчивост на стоманата в ЗТВ.

Изводи

Разширителният съд Проба 1, е некачествен. В него са открити множество несъвършенства, като участъци с корозия и множество пукнатини. Надлъжният заваръчен шев на разширителния съд също е некачествен. Недопустими несъвършенства са острите ъгли на прехода от метала на шева към основния метал и наличието на зони на разливане на част от метала на шева върху основния метал с несплавяване.

Най-вероятната причина за появата на корозия и пукнатини в проба 1 (образец 1) е неправилно избраният с висока линейна енергия режим на заваряване. Той е довел до появата на високи остатъчни заваръчни напрежения в ЗТВ, до прегряване на метала в ЗТВ и престояването му по-дълго време при високи температури. Всичко това води до понижаване на корозионната устойчивост на метала в ЗТВ, образуване и развитие на пукнатини.

Литература

- [1]. Metals Handbook, Volume 9 - Metallography and microstructures, American Society for Metals, Handbook Committee, ISBN 0-87170-007-7 (v. 1), Printed in the United States of America
- [2]. Metals Handbook, Volume 6 - Welding, brazing and soldering, American Society for Metals, Handbook Committee, ISBN 0-87170-377-7(V.1), Printed in the United States of America
- [3]. ISO 5817 (БДС EN 25817)

EXAMINATION OF WELDED JOINT FROM THE COOLING SYSTEM OF PHOTOVOLTAIC INSTALLATION

Stefan Christov, Plamen Tashev, Seryoja Valkanov
s.christov@ims.bas.bg, weld@abv.bg, svalkanov@abv.bg

*Institute of Metal Science, Equipment and Technologies "Acad. A. Balevski"-BAS
with Hydro- and aerodynamic centre
67, Schipchenski Prohod Blvd, 1574 Sofia,
BULGARIA*

Key words: *Welding, welded joint, stainless steel, photovoltaic installation, expansion vessel, flaws, corrosion, macro- and micro structure*

Abstract: *The quality of a welded joint in expansion tank of the water cooling system of a photovoltaic installation is identified. A lot of flaws are found after analyzing the macro- and micro structure, and the chemical content of the welded joint. The incorrectly followed mode of welding with high linear energy has resulted in high residual welding stresses, overheating of the metal and continued detention at high temperature. Thus the corrosion resistance of the metal in the heat affected zone (HAZ) decreases and this is the most likely reason for corrosion and cracking.*