

# АНАЛИЗ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АУСТЕНИТНИ ЕЛЕКТРОДИ ПРИ НАВАРЯВАНЕ НА НИСКОВЪГЛЕРОДНА СТОМАНА

Айлин Рафетова

Технически университет- Варна  
e- mail: [aylin.rafetova3@gmail.com](mailto:aylin.rafetova3@gmail.com)

**Резюме:** Настоящата работа е свързана с определяне на технологичните характеристики на електроди за ръчно електродъгово наваряване на фирмата производител ESAB с марки ОК 83.28 и ОК 67.45. Използвани са образци от нисковъглеродна стомана, наварени с аустенитни електроди, подходящи за буферни слоеве при детайли подложени на интензивно триене. Диаметрите на електродите са в границите от 2,5 до 5,0 mm. Направена е сравнителна оценка на двете използвани марки електроди като е установено, че електроди марка ОК 83.28 имат по-добри технологични характеристики, тъй като рандеманът при тях е с по-големи стойности.

**Ключови думи:** *ръчно електродъгово наваряване, характеристики на обмазани електроди, електроди за буферни слоеве, базични електроди*

**Abstract:** The current work is related to determining the technological characteristics of electrodes for manual metal arc welding on friction-exposed parts, manufactured by the company ESAB with the brands OK 83.28 and OK 67.45. Samples of low-carbon steel welded with austenitic electrodes suitable for buffer layers on components subjected to intensive friction were used. The electrode diameters range from 2.5 to 5.0 mm. A comparative assessment of the two used electrode brands has been made, and it has been found that electrodes with the brand OK 83.28 have better technological characteristics, as their yield is with higher values.

**Key words:** *manual metal arc welding, characteristics of coated electrodes, electrodes for buffer layers, basic electrodes*

## 1. Въведение

Наваряването на метали намира широко приложение в кораборемонта и тежката промишленост, като начин за ремонтиране на износени детайли, машинни части, увеличаване на износоустойчивостта на нови машинни части, инструменти и приспособления и др.. Подмяната на детайли или машинни части само поради износени от триене работни повърхнини в много от случаите е икономично неизгодно. Чрез използването на процеса наваряване се възстановяват първоначалните размери и форма на износените детайли, с което те отново стават годни за експлоатация. Това е един от най-рационалните в технико-икономическо отношение методи за възстановяване.

Технологични процеси за наваряване :

- Методи чрез стопяване
  - ръчно електродъгово наваряване с подходящи електроди;
  - плазмено-прахово наваряване;
  - електродъгово подфлюсово наваряване при използване на специален легиращ тел/лента или флюс;
  - електродъгово наваряване в защитна газова среда при използване на специални телове – тръбни и плътни;
  - електрошлаково наваряване.

- Платиране
- Термично напръскване [2,11]

Анализ и приложението на различните методи на наваряване използвани в кораборемонтната индустрия както и техните предимства и недостатъци са представени в [6].

Електродите за ръчно електродъгово наваряване са обзавани електроди. Видове обмазки могат да бъдат разделени в следните групи [7]:

- Рутилова обmazка (R, RR);
- Базична обmazка (B);
- Рудно-кисела обmazка (A);
- Целулозна обmazка (C) и др.

При електродите, които дават приблизителна стойност на отношението диаметър на електрода заедно с обмазката ( $d_0$ ) към диаметъра на електрода ( $d_e$ ) ( $d_0/d_e \leq 1,2$ ) са с тънко покритие на обmazка, при ( $1,2 < d_0/d_e \leq 1,45$ ) са със средно покритие на обmazка ( $1,45 < d_0/d_e \leq 1,80$ ) са дебелообмазани, ( $d_0/d_e > 1,8$ ) са свръх дебелообмазани.

Наваряване на антикавитационни слоеве на хидрозатвор на язовир е направено в [4]. Представени са техниката, технологията и оборудването за извършване на процеса наваряване.

Освен с познатото оборудване, наваряването може да бъде осъществено и с електроден тел с използването на МИГ/МАГ процес. Изследвания по тази техника са представени в [3]. Там авторите използват тръбен електроден тел за изследване на характеристиките на шева при нисковъглеродна нисколегирана стомана.

В процеса на наваряване от съществено значение е връзката между големината на заваръчния ток, времето на горене и дължината на дъгата. След направени натурни експерименти и разработен план на експеримента в [5] са получени регресионни зависимости между изброените по-горе характеристики.

Основните характеристики по които се избират електродите, предназначени за ръчно електродъгово заваряване, са характеристиките на наварения метал. Значимите показатели, които характеризират електродният метал са следните: химически състав на наварения метал, механични характеристики, технологична якост, съдържание на водород, корозионна устойчивост, топлоустойчивост, износоустойчивост и др. При ръчно електродъгово наваряване се използват електроди с постоянен ток и обратна полярност, при което се осигурява по-малък провар и по-дебел наварен слой, като шевовете бъдат многослойни и ивично изпълнени с по-малко вложена топлина.

## 2. Определяне на технологичните характеристики и основните количествени показатели на електродите

### 2.1. Коефициент на стопяване – $\alpha_{ст}$

Този коефициент представлява масата стопен метал на електрода за единица време и за единица стойност на електрическия ток. Характеризира скоростта, с която се стопява електродът.

$$\alpha_{ст} = \frac{G_{ст}}{I \cdot t} \cdot 3600, [g/Ah] \quad (2.1)$$

където:

$G_{ст}$  – маса на стопената част на електродния тел, g;

$I$  – заваръчен ток, A;

$t$  – време на горене на дъгата, s.

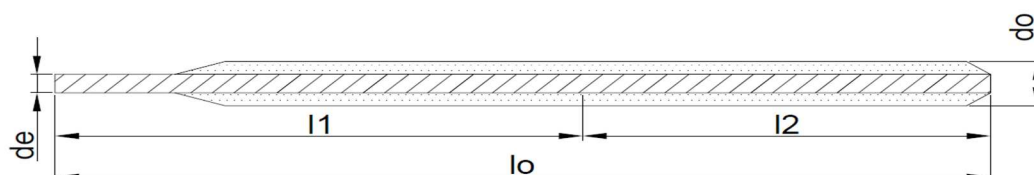
$$G_{\text{ст}} = G_{\text{ел}} - G_{\text{ост}}, [g] \quad (2.2)$$

където:

$G_{\text{ел}}$  – маса на електродния тел преди заваряване, g;

$G_{\text{ост}}$  – маса на останалата, нестопена част от електродния тел, g.

Преди определяне на теглата по формула (2.2) е необходимо обмзката на електродите да се отстрани. Масата на стопената част на електрода ( $G_{\text{ст}}$ ) може да се определи и по математически път (фиг.1).



Фиг.1. Схема на електрод

$d_e$  – диаметър на електрода;  $d_0$  – диаметър на електрода с обмзката;  $l_0$  – начална дължина на електрода;  $l_1$  – останала част от дължината на електрода след наваряване;  $l_2$  – дължина на стопената част на електрода.

Масата на стопената част на електродния тел,  $G_{\text{ст}}$ , може да определи по формулата:

$$G_{\text{ст}} = V_{\text{ст}} \cdot \gamma = S \cdot l_2 \quad G_{\text{ст}} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot (l_0 - l_1) \cdot \gamma, [g] \quad (2.3)$$

където:

$V_{\text{ст}}$  – обем на стопената част на електрода,  $m^3$ ;

$S$  – площ на напречното сечение на стопената част от електродния тел,  $cm^2$ ;

$\gamma$  – относително тегло на електродния тел,  $g/m^3$

Коефициентът на стопяване зависи основно от типа на обмзката и от стойността на тока в процеса на заваряване. При стойностите на плътността на тока, характерни за ръчно електродъгово заваряване, значенията на този коефициент се изменят в тесни граници, от 7÷11 g/Ah. [8]

## 2.2. Коефициент на наваряване - $\alpha_n$

Определя количеството на стопения електроден метал, влизащ в метала на шева за единица време и единица стойност на тока:

$$\alpha_n = \frac{G_n}{I \cdot t} \cdot 3600, [g/Ah] \quad (2.4)$$

където:

$G_n$  – маса на наварения електроден метал в шева, g;

$I$  – заваръчен ток, A;

$t$  – време на горене на дъгата, s.

$$G_n = G_2 - G_1, [g] \quad (2.5)$$

където:

$G_1$  – маса на образеца (основен метал), преди наваряване, g;

$G_2$  – маса на образца след наваряване и отстраняване на шлаката от метала на шева, g.

Този коефициент се нарича още, специфична производителност и стойностите му обикновено се изменят в границите от 9÷12 g/Ah.

### 2.3. Коефициент на загуби – $\varphi$

Коефициента отчита загубите на електроден метал от пръски и изгаряне и се определя от разликата между масите на стопения ( $G_{ст}$ ) и вложения в шева електроден метал ( $G_H$ ), отнесена към масата на стопения метал:

$$\varphi = \frac{G_{ст} - G_H}{G_{ст}} \cdot 100, \% \quad (2.6)$$

Коефициента дава връзката между коефициентите на наваряване и на стопяване:

$$\varphi = \frac{\alpha_{ст} - \alpha_H}{\alpha_{ст}} = \left(1 - \frac{\alpha_H}{\alpha_{ст}}\right) \cdot 100, \% \quad (2.7)$$

Обикновено коефициентът на загуби при ръчно електродъгово заваряване с метални електроди е от 3÷12% (при автоматично заваряване под слой от флюс - от 1÷2%). При високопроизводителните електроди, коефициентът на загуба може да бъде с отрицателна стойност.

### 2.4. Рандеман на електродите – R

Отчита отношението между масите на вложения (наварения) електроден метал и металната сърцевина на електрода.

$$R = \frac{G_H}{G_{ст}} \cdot 100\% \quad (2.8)$$

Този показател отчита преминаването на метала от състава на обмзката на електрода в метала на шева и затова се нарича коефициент на преминаване. Когато рандемана е над 100%, това показва, че в електродната обмзка има метал на прах, увеличаващ производителността на заваръчния процес [1,10,13,14].

## 3. Методика на експеримента

Целта на работата е определянето на влиянието на обмзката на технологичните характеристиките на електродите за наваряване. За провеждането на експеримента са използвани образци от ниско въглеродна стомана. Изследвани са аустенитни неръждаеми електроди подходящи за буферни слоеве преди наваряване и електроди легирани с Cr за наваряване на части подложени на износване от триене [2,9,10,12]. Химичният състав двете марки електроди за наваряване са представени в табл.1.

**Табл.1. Химически състав на наварения метал в шева**

№	Марка на електрода	Химичен състав в %								Примерна твърдост, HRC
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cr <sub>екв.</sub>	Ni <sub>екв.</sub>	СЕТ	
1	ESAB OK 67.45	0,09	0,5	6	18,5	8,5	19,25	14,2	-	40
2	ESAB OK 83.28	0,1	0,5	0,7	3,2	-	-	-	0,33	30

След избора на основен материал и отстраняване на обмазката от електроди, те се притеглят, след което се наваряват ръчно електродъгово с електроди за наваряване с различен химичен състав и обмазка. По принцип наваряването може да се извършва с всички методи на заваряване чрез стопяване, но съществената технологична особеност е, че при него стремежът е минимално стопяване за сметка на увеличаване на относителния дял на вложения метал в покритието, за да се осигурят необходимите свойства или размери на наварения метал. Наваряването се осъществява с източник за електродъгово заваряване на фирмата ESAB. Геометричните размери на електродите се измерват с шублер със стойност на деление  $i=0,001\text{mm}$  и електронна везна със стойност  $0.01\text{kg}$ .

За целта, върху стоманените образци се полагат наваряващи ивични слоеве от предварително подбраните за изпитване електроди за буферни слоеве и наваряване, при което се правят пресмятания по уравненията (2.1), (2.4), (2.6) и (2.8). Получените резултати са представени в табл.2 и 3.

**Табл.2. Стойности за коефициента на стопяване,  $\alpha_{ст}$**

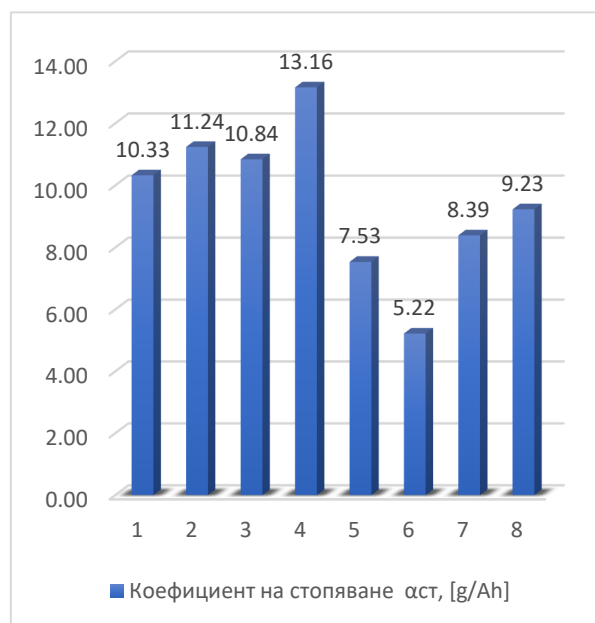
№	Марка на електрода	Диаметър на електрода	Диаметър на електрода с обмазката	Начална дължина на електрода	Сила на тока	Време на горене на заваръчната дъга	Останала част от дължината на електрода	Дължина от стопената част на електрода
		$d_e$ , [mm]	$d_o$ , [mm]	$l_o$ , [mm]	$I$ , [A]	$t$ , [s]	$l_1$ , [mm]	$l_2$ , [mm]
1	ESAB OK 67.45	2,5	4,2	300	95	20,56	152	148
2	ESAB OK 67.45	3,2	5,2	350	100	31,79	190	160
3	ESAB OK 67.45	4,0	6,4	350	120	28,7	243	107
4	ESAB OK 67.45	5,0	8	350	160	30,55	232	118
5	ESAB OK 83.28	2,5	4,5	350	80	47,63	140	210
6	ESAB OK 83.28	3,2	5,2	450	130	18,15	395	55
7	ESAB OK 83.28	4,0	6,8	450	160	43,81	282	168
8	ESAB OK 83.28	5,0	7,8	450	210	41,76	302	148

№	Площ на напречното сечение на стопената част на електродния тел	Обем на електрода	Обем на стопената част на електрода	Маса на електродния тел с обмязката	Маса на електродния тел	Маса на останалата част от електродния тел	Маса на стопената част от електродния тел	Коефициент на стопяване
	S, [cm <sup>2</sup> ]	V, [cm <sup>3</sup> ]	V <sub>ст</sub> [cm <sup>3</sup> ]	G <sub>о</sub> , [g]	G <sub>тел</sub> , [g]	G <sub>ост.</sub> , [g]	G <sub>ст.</sub> , [g]	α <sub>ст.</sub> , [g/Ah]
1	0,05	1,47	0,73	17	11,36	5,75	5,60	10,33
2	0,08	2,81	1,29	33	21,71	11,78	9,92	11,24
3	0,13	4,40	1,34	51	33,92	23,55	10,37	10,84
4	0,20	6,87	2,32	80	53,00	35,13	17,87	13,16
5	0,05	1,72	1,03	23	13,29	5,32	7,98	7,53
6	0,08	3,62	0,44	44	28,00	24,58	3,42	5,22
7	0,13	5,65	2,11	68	43,75	27,42	16,33	8,39
8	0,20	8,83	2,90	99	68,36	45,88	22,48	9,23

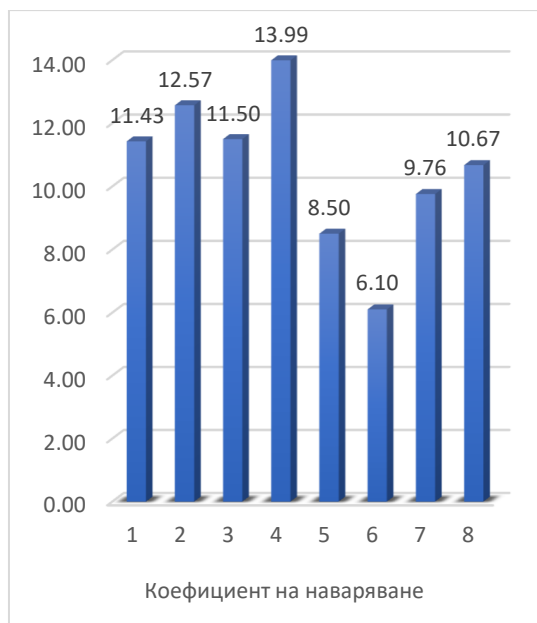
**Табл.3. Стойности за коефициента на наваряване, α<sub>n</sub>, φ и R**

№	Маса на основния метал преди наваряване	Маса на основния метал след наваряване	Маса на наварения метал	Коефициент на наваряване	Коефициент на загуби на електроден метал	Рандеман
	G <sub>1</sub> [g]	G <sub>2</sub> [g]	G <sub>n</sub> [g]	α <sub>n</sub> , [g/Ah]	φ, %	R, %
1	480	486	6	11,43	-0,11	111
2	467	478,1	11,1	12,57	-0,12	112
3	462	473	11	11,50	-0,06	106
4	459	478	19	13,99	-0,06	106
5	471	480	9	8,50	-0,13	113
6	454	458	4	6,10	-0,17	117
7	500	519	19	9,76	-0,16	116
8	489	515	26	10,67	-0,16	116

Резултатите са представени графично на фиг.3., фиг.4., фиг.5 и фиг.6.



**Фиг.3. Коефициент на стопяване**

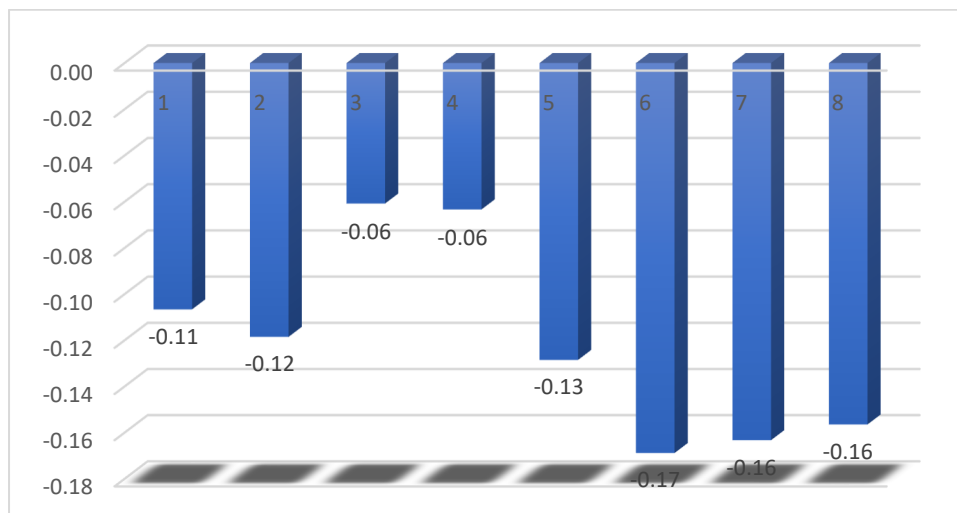


**Фиг.4. Коефициент на наваряване**

1 - ОК 67.45- 2.5mm; 2 - ОК 67.45- 3.2mm; 3 - ОК 67.45- 4mm; 4 - ОК 67.45- 5mm;  
 5- ОК 83.28- 2.5mm; 6- ОК 83.28- 3.2mm; 7- ОК 83.28- 4mm; 8- ОК 83.28- 5mm;

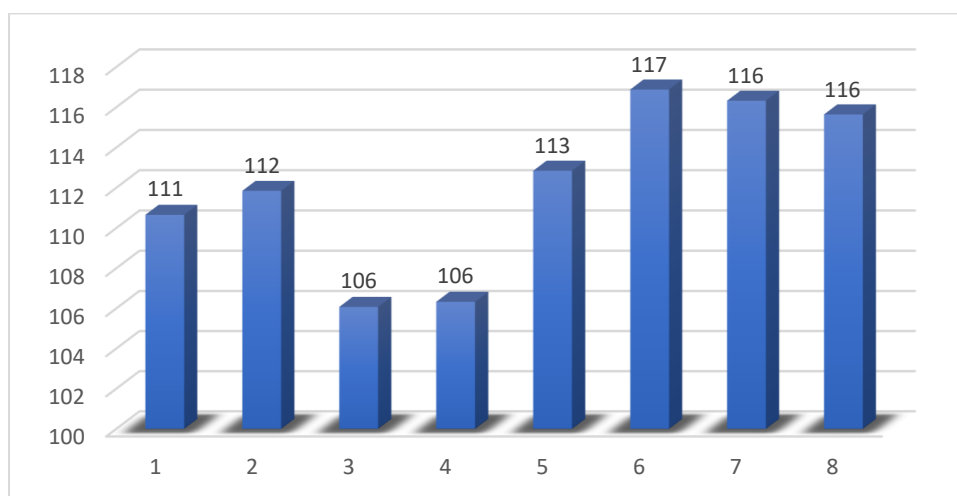
От фиг.3. и фиг.4. се вижда, че коефициентите на наваряване и стопяване при електродите с марка ОК 83.28 са с най-ниски показатели. Особено впечатление прави електрода с диаметър 3,2mm. Неговите стойности за двата коефициента са около два пъти по-ниски от тези на същия диаметър, но с марка ОК 67.45.

Загубите на електродния метал при всички диаметри при двете марки е с отрицателно стойности, фиг.5. Стойностите му при големите диаметри на марка ОК 83.28 са около два пъти и половина стойностите при същия диаметър на марка ОК 67.45.



Фиг.5. Коефициент на загуби на електроден метал φ, %

Рандеманът, който е важна характеристика определяща производителността на процеса наваряване с по-голям от 100 % при всички марки и диаметри, фиг.6. Това се дължи на наличието на метал на прах в обмзката.



Фиг.6. Рандеман R, %

#### 4. Изводи и заключения

В статията е направено изследване свързано с анализ на технологичните характеристики на електроди за наваряване. Изследвани са две марки електроди ОК 67.45 и ОК 83.28. Наварени са общо осем образеца с диаметри на електродите от 2,5-5,0 mm. Определени са коефициентите на стопяване, наваряване и загуба на електроден метал както и рандеманът. От направените резултати става ясно, че електродите с марка ОК 83.28 имат по- малки стойности на коефициентите на стопяване и наваряване, но имат по- големи стойности на загуба на електродния метал, което се дължи на сравнително по-високите стойности на заваръчния ток и наличието на метал на прах в обмзката. Рандеманът при всички марки и диаметри е по- голям от 100%, което означава, че електродите са високопроизводителни и в обмзката им има метал на прах, който спомага за по-бързото наваряване на износените райони от детайлите.

#### Литература

- [1] Велков К., Електроди за заваряване и наваряване, Техника, София, 1973.
- [2] Denev, Y., Rafetova, A., & Dichev, P. (2023, June 30). Study into the process of defective railtrack arc-hardfacing. ANNUAL JOURNAL OF TECHNICAL UNIVERSITY OF VARNA, BULGARIA, 7(1), 33-43. <https://doi.org/10.29114/ajtuv.vol7.iss1.281>
- [3] Денев, Й., Дичев, Пл. Заваряване на корабостроителна стомана с тръбен електроден тел”, 2018, сп. „Машиностроителна техника и технологии” гр. Варна, ISSN 1312- 0859 пред печат
- [4] Денев, Й., Дичев, Пл., Ремонтно наваряване на антикавитационни слоеве”, 2018, сп. „Машиностроителна техника и технологии” гр. Варна, ISSN 1312- 0859 пред печат
- [5] Denev, Y,(2022), ANALYZE OF WELDING ARC PARAMETERS IN SHIELDED METAL ARC WELDING INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL "MACHINES. TECHNOLOGIES. MATERIALS", ISSN 1313-0226, YEAR XVII, ISSUE 2 , P.P. 80-82
- [6] Denev, Y.,(2022), Application of hardfacing arc methods in Bulgarian ship repair SME, International Scientific Journal TRANS & MOTAUTO WORLD", Vol.7, Issue2, p-p 50-52, WEB ISSN 2534-8493;
- [7] Денисов, А., Кочева, Н., Маслов, А., Нечаев, И., Никонов, П., Петунин, И., Степанов, В., Степанов, В., Сюкасаев, М., Фофанов, А., Шатов, Я. Справочник сварщика, Москва „Машиностроене “1982
- [8] Дичев Пл., Наръчник по заваряване на морски конструкции, ТУ - Варна, 2014
- [9] Дичев, Пл., Минчева, Д., Аргиров, Я. (2009). Възстановяване на релсов път от конструкцията на кран, Машиностроителна техника и технологии кн.1. 2010г.
- [10] Дичев, Пл., Нанкова, Д., Рафаилов А., Аргиров, Я., Минчева, Д., Димитрова, А., Люцканов, Г. (2010). Лаборатория за рязане и заваряване на корабни конструкции и морски съоръжения. Годишник на ТУ-Варна ISSN 1311-896X 2010г.



- [11] Желев. Ал., Материалознание техника и технология - Том II Технологични процеси и обработваемост, София 2008
- [12] Златева, П., Аргиров, Я., Изследване на топлинните процеси при електросъпротивително нагряване на пластина, сп. „Машиностроителна техника и технологии ISSN1312-0859 2010 г.
- [13] Лолов Н., Каменова Л., Пенчев П., Техника и технология на заваряването., Техника, София, 2004.
- [14] Ников Н., Дичев П., Метод и устройство за полуавтоматично електродъгово заваряване на метали под вода, Ав. Свидетелство, №52246.