
DETERMINATION OF EFFICIENCY, METAL RECOVERY, DEPOSITION COEFFICIENT AND ARC STABILITY OF COATED ELECTRODES

Assist. Prof. Nikolay Ferdinandov, PhD

Department of Material Science and Technology,

University of Ruse "Angel Kanchev"

E-mail: nferdinandov@uni-ruse.bg

Abstract: Manual arc welding is one of the main methods for manufacturing welded structures due to its many advantages, such as low cost, mobility, ability to connect a wide variety of metal materials, etc. The welding results depend on both the qualification of the welders and the electrodes used. The work presents results for efficiency, metal recovery, deposition coefficient and arc stability of coated electrodes widely used in Bulgaria for welding low-carbon unalloyed and low-alloyed steels. The studies were conducted according to ISO 2401:2018.

Keywords: Coated Electrodes, Efficiency, Metal recovery, Deposition coefficient.

8. ВЪВЕДЕНИЕ

Ръчното електродъгово заваряване с обмазани електроди (eng. Manual metal arc welding) е един от най-често използваните методи за заваряване намерили приложение в практиката. Методът е с числов код 111 (ISO 4063:2023), а добавъчните материали са под формата на обмазани (покрити) електроди.

Една от основните класификации на обмазаните електроди е според типа на обмазките. Въз основа на това те биват четири основни групи: рутилови, базични, целулозни и рудно – кисели. От тях за заваряване на нисковъглеродни нелегирани и нисколегирани стомани (използвани широко за производство на заварени конструкции) основно се използват електродите с базични и рутилови обмазки.

От съществено значение при използването на обмазани електроди е поведението им по време на работа, а именно: стабилно горене на дъгата, скорост на стопяване, пръскоотделяне, възможност за работа в различни пространствени положения, производителност и т.н. (Mamatkulov, O., 2021; Smirnova, Zh., et al. 2020). Тези характеристики зависят основно от типа на обмазката и режимите на работа. За изследването им се определят рандемана на електрода (R_N , R_E , R_D , R_G), коефициентът на наваряване (D) и устойчивостта на горене на дъгата (Ferdinandov, N., 2023).

Целта на работата е свързана с определяне на рандемана, коефициента на наваряване и стабилността на горене на дъгата на определени марки обмазани електроди използвани често в България за заваряване на нисковъглеродни нелегирани и нисколегирани стомани.

9. ИЗЛОЖЕНИЕ

За провеждане на изследванията са избрани обмазани електроди с рутилов тип обмазки "R" (марки Вежен и Рожен) и с базичен тип обмазки "B" (марки Норд и Hard). Част от тях (Рожен и Hard) понастоящем се произвеждат в България в "Завод за Електроди" ООД, гр. Ихтиман, а другата част (Вежен и Норд) са електроди, които са създадени и дълго произвеждани в България, но за съжаление сега производството им е изнесено в чужбина.

Изследванията на рандемана и коефициента на наваряване са съобразени изцяло и проведени съгласно препоръките на сега действащите стандарти (ISO 2401:2018). Определянето на стабилността на горене на дъгата е описано в (Ferdinandov, N., 2023).

Означенията (ISO 2560:2020) на изследваните марки електроди са представени в таблица 1, а програмата на изследване в таблица 2.

Таблица 1. Означения на изследваните марки електроди

Марка	Диаметър, mm	Означение съгласно EN
Норд	ø 3,2	E 46 5 B 3 2 H5
Норд	ø 2,5	E 42 4 B 3 2 H5
Hard	ø 2,5 и ø 3,2	E 42 5 B 4 2 H5
Вежен	ø 2,5 и ø 3,2	E 42 0 RR 1 2
Рожен	ø 2,5 и ø 3,2	E 38 0 RR 1 2

Съгласно тези означения числата 1, 3 или 4 (намиращи се след буквеното означение на типа на обмазките – RR или B) показват номиналния рандеман на електрода при постоянен и променлив ток.

Съответно 1- $\leq 105\%$ при DC и AC,

3- $\geq 105\% \leq 125\%$ при DC и AC;

4- $\geq 105\% \leq 125\%$ при DC;

Таблица 2. Програма на изследване

Тип обмазка	Марка на електрода	Диаметър на електрода	Параметри на режима по каталог	Полярност	Режим на изследване
Базична	Норд	ø 2,5	70-110	DC+	99A
		ø 3,25	110-140	DC+	126A
Базична	Hard	ø 2,5	60-80	DC+	72A
		ø 3,25	80-120	DC+	108A
Рутилова	Вежен	ø 2,5	50-110A	AC ~	99A
		ø 2,5	50-110A	DC-	99A
		ø 3,25	80-150A	AC ~	135A
		ø 3,25	80-150A	DC-	135A
Рутилова	Рожен	ø 2,5	60-90	AC ~	81A
		ø 2,5	60-90	DC-	81A
		ø 3,25	80-140	AC ~	126A
		ø 3,25	80-140	DC-	126A

За определяне на рандемана и коефициента на наваряване са използвани формулите по-долу:

$$R_N = \frac{md}{m_{cn}} \cdot 100, \% \quad (1) \quad R_E = \frac{md}{m_{ce}} \cdot 100, \% \quad (2) \quad R_G = \frac{md}{m_e} \cdot 100, \% \quad (3)$$

$$R_D = \frac{md}{m_e - m_s} \cdot 100, \% \quad (4) \quad D = \frac{md}{I_m \cdot t}, g / A \cdot \min \quad (5)$$

Където:

m_d - маса на навареният метал, g

m_{cn} – маса на металните сърцевини на 5-те електрода, g

m_{ce} - маса на изразходваните метални сърцевини на 5-те електрода (без остатък), g

m_e – маса на изпитваните 5 електрода с обмазката, g

m_s – маса на остатъците от изпитваните 5 електрода с обмазката, g

t - време на горене на дъгата, min

I_m – сила на тока при наваряването, А

R_N – рандеман на електрода с остатъка (метална пръчка + обmazка), %

R_E – рандеман на електрода (метална пръчка + обmazка) без остатъка, %

R_G – рандеман на металната пръчка на електрода без остатъка, %

R_D – рандеман на металната пръчка на електрода с остатъка, %

D- коефициент на наваряване, g/A.min

Останалите изисквания и условия свързани с провеждане на изследванията са описани и представени в (Ferdinandov, N., 2023).

Заваръчният токоизточник е от инверторен тип – TIGER 210 AC/DC с възможност за работа както с променлив, така и с постоянен ток.

РЕЗУЛТАТИ

Резултатите от проведените изследвания са представени в таблица 3 и на фигурите по-долу.

Таблица 3. Резултати от изследването

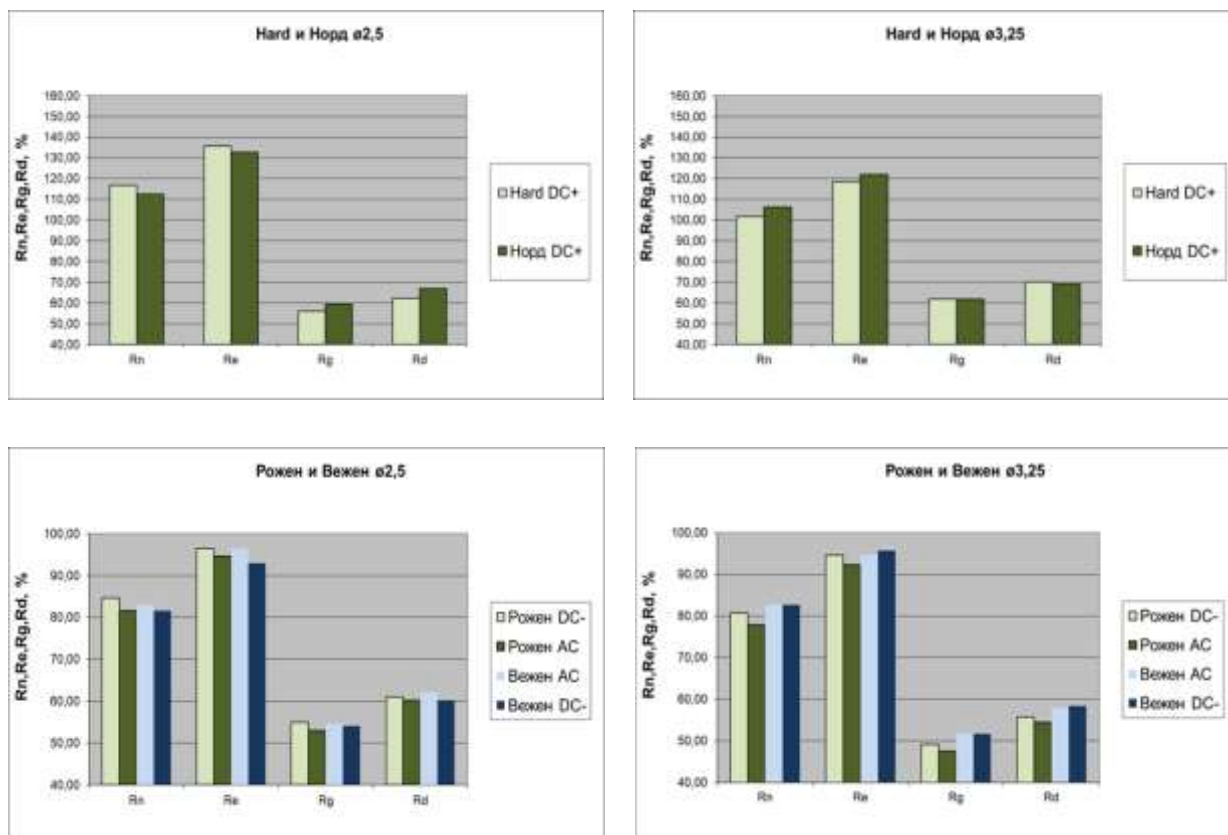
Марка на електрода	Диаметър на електрода, mm	Големина на тока I_m , А	Полярност на свързване	Рандеман на електрода с остатъка R_N , %	Рандеман на електрода без остатъка R_E , %	Рандамен на металната пръчка на електрода без остатъка R_G , %	Рандамен на металната пръчка на електрода с остатъка R_D , %	Коефициент на наваряване D, g/A. min	Стабилност на горене на дъгата, mm
Рожен	ø2,5	81	DC-	84,62	96,49	55,00	61,11	0,16	14
Рожен	ø2,5	81	AC~	81,54	94,64	53,00	60,23	0,14	13
Рожен	ø3,25	126	DC-	80,73	94,62	49,16	55,70	0,14	13
Рожен	ø3,25	126	AC~	77,98	92,39	47,49	54,49	0,12	11
Вежен	ø2,5	99	DC-	81,54	92,98	54,08	60,23	0,14	13
Вежен	ø2,5	99	AC~	83,08	96,43	54,55	62,07	0,13	12
Вежен	ø3,25	135	DC-	82,73	95,79	51,70	58,33	0,14	16
Вежен	ø3,25	135	AC~	82,73	94,79	51,70	57,96	0,12	11
Hard	ø2,5	72	DC+	116,92	135,71	55,88	62,30	0,16	8
Hard	ø3,25	108	DC+	101,77	118,56	61,83	70,12	0,16	10
Норд	ø2,5	99	DC+	112,31	132,73	59,35	66,97	0,15	10
Норд	ø3,25	126	DC+	106,36	121,88	61,90	69,23	0,16	8

Вижда се, че рандемана R_N и R_E (с и без отчитане на остатъка) зависи основно от типа на обmazката.

Електродите с базичен тип обmazка притежават рандеман над 100% (фиг. 1). Максимални стойности са налице при електроди „Норд” и „Hard” с диаметър Ø2,5mm, като достига $R_E=133\%$, $R_N=112\%$ и съответно $R_E=136\%$, $R_N=117\%$ (без и с отчитане на остатъка). Причината е в съдържащите се метални прахове в състава на обmazките, които служат за допълнително легиране на метала на шева.

Прави впечатление, че при електродите „Норд” и „Hard” с диаметър Ø3,25mm отчетените стойности за рандемана са по-малки от тези при електродите с диаметър Ø2,5mm. Тук една от причините е различната дебелина на обmazките. При електродите „Hard” с диаметър Ø3,25mm дебелината на обmazката е около 70% от диаметъра на металната пръчка, докато при тези с

диаметър Ø2,5mm е 100% диаметра на пръчката. При електродите „Норд“ с диаметър Ø3,25mm дебелината на обмазката е около 78% от диаметра на металната пръчка, докато при тези с диаметър Ø2,5mm е 85% диаметра на пръчката.



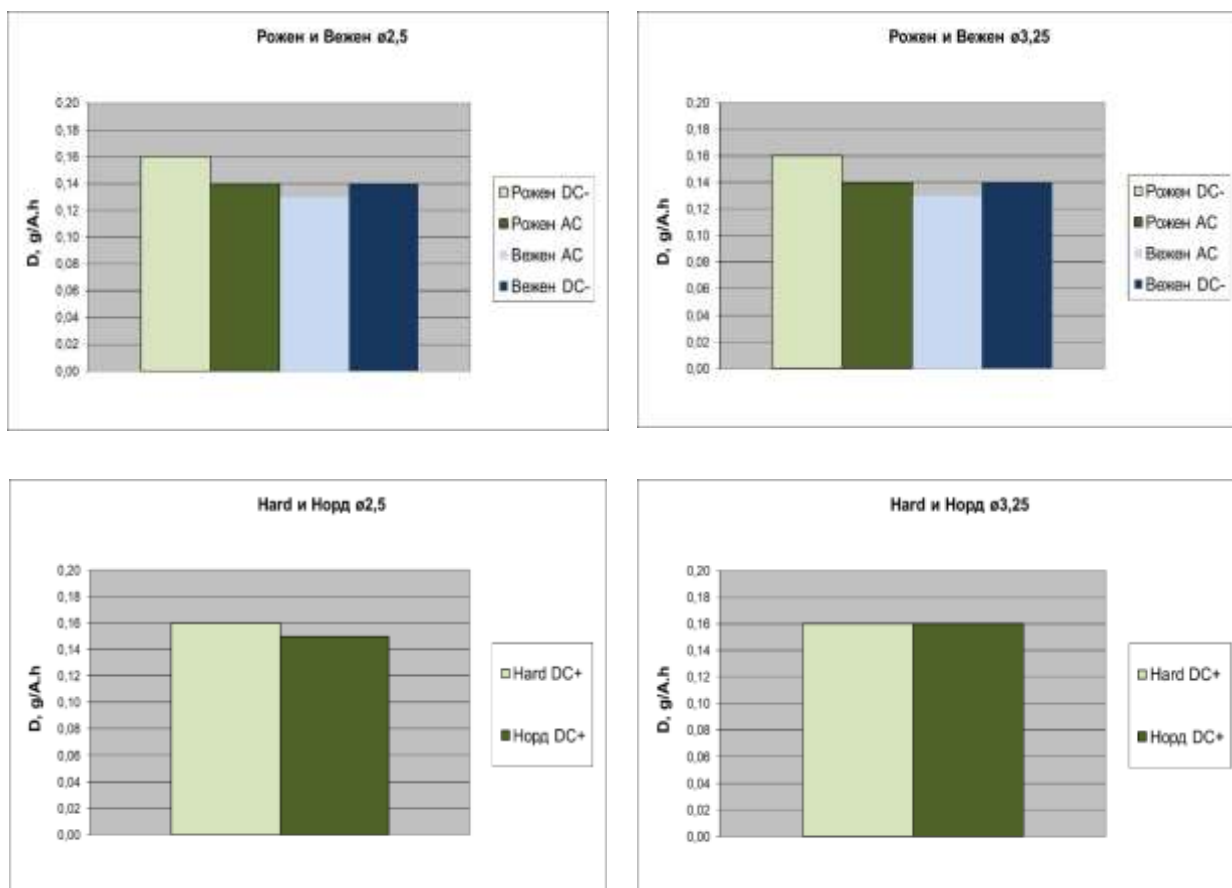
Фиг. 1. Рандеман на изследваните обмазани електроди

При електродите с рутилов тип обмазка (фиг. 1) рандемана във всички случаи е под 100% поради наличието на загуби, вследствие пръскообразуване и изпаряване на част от металната пръчка в зоната на горене на дъгата. При „Рожен“ той достига до $R_E=96,5\%$ (94,6 %), $R_N=84,6\%$ (81,5%) при диаметър Ø2,5mm и $R_E=94,5\%$ (92,4%), $R_N=80,7\%$ (78%) при диаметър Ø3,25mm. При електродите „Вежен“ рандемана е в рамките до около $R_E=93\%$ (96,4%), $R_N=81,5\%$ (83%) при диаметър Ø2,5mm и $R_E=95,8\%$ (94,8%), $R_N=82,7\%$ (82,7%) при диаметър Ø3,25mm.

Макар и значително по-малко, върху рандемана влияние оказва и вида на тока. При използването на постоянен ток и права полярност на свързване (DC-), той е по-висок в сравнение с този получен при използване на променлив ток (AC). Това е в сила (с едно изключение) независимо от диаметра на електродите.

Резултатите за рандемана на металните пръчки на всички марки изследвани електроди (R_G и R_D) с диаметър Ø 2,5mm са от един порядък с изключение на електродите марка „Норд“, където те са с около 4÷5% по-високи. При тези с диаметър Ø 3,25mm получените резултати показват по-високи стойности при базичните електроди в сравнение с рутиловите.

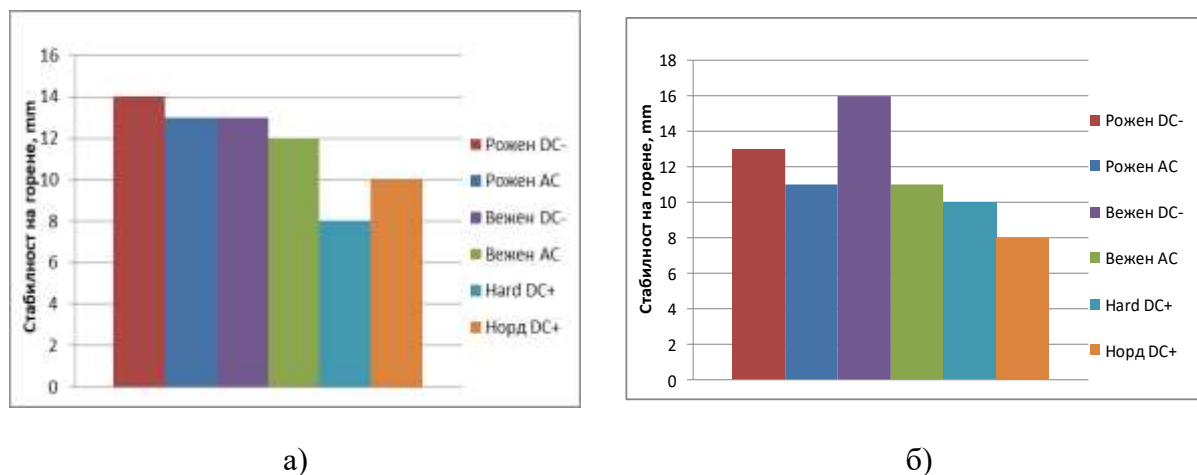
И при двата диаметра на електродите с базичен тип обмазка (Норд и Hard) коефициентът на наваряване (фиг. 2) е постоянен и като цяло по-висок от този при електродите с рутилова обмазка (Вежен и Рожен). При тези с рутилов тип обмазка се установяват по-високи стойности за коефициента на наваряване при работа с постоянен ток в сравнение с използването на променлив.



Фиг. 2. Коефициент на наваряване на изследваните обмазани електроди

Резултатите по отношение на стабилността на горене на дъгата са показани на фигура 3. При електродите “Рожен” и “Вежен” с рутилов тип обмазка тя е видимо по-голяма в сравнение с електродите “Hard” и „Норд“ с базичен тип обмазка. Причината е наличието на TiO_2 (основен компонент в рутиловите обмазки), който осигурява много стабилно горене на дъгата.

Макар и по-малко влияние оказва и вида на тока, като при използване на постоянен ток с права полярност на свързване стабилността е по-висока от случая, в който се използва променлив ток.



Фиг. 3. Стабилност на горене на дъгата на изследваните обмазани електроди с диаметър Ø2,5mm (а) и Ø3,25mm (б)

10. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите от изследванията показват, че върху рандемана, коефициента на наваряване и стабилността на горене на дъгата на обмазаните електроди за ръчно електродръгово заваряване основно влияние оказва типа на обмазката. Базичните обмазки осигуряват по-висок рандеман и коефициент на наваряване, за сметка на стабилността на горене на дъгата, която значително отстъпва на тази при електродите с рутилови обмазки.

При електродите с рутилов тип обмазки е установено, че върху изследваните характеристики влияние оказва и вида на тока. Използването на постоянен ток, права поляриност на свързване в сравнение с променлив ток води до повишаване както на рандемана и коефициента на наваряване, така и на стабилността на горене на дъгата.

11. БЛАГОДАРНОСТИ

Публикацията е финансирана по проект 2024-ФМТ-01 "Разработване и изследване на цифрови технологични методи"

12. REFERENCES

Welding, brazing, soldering and cutting - Nomenclature of processes and reference numbers (ISO 4063:2023).

Mamatkulov, O. (2021). *Welding and technological properties of electrodes with a basic coating*. Paper presented at the 4th International Congress on Multidisciplinary Studies, 30th April, 2021, Jakarta Indonesia.

Smirnova, Zh., Svadbina, T., Shmeleva, N., Kutepova, L., Vaganova, O. (2020). *Determination of the coefficients of melting, surfacing and loss of electrode metal*. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 8(7), 3824- 3826.

Ferdinandov N. (2023). *Technological characteristics of covered electrodes from the nomenclature of „Electrodes factory” LTD – Ihtiman*. Proceedings of the University of Ruse, Volume 62, book 2.1., 11-16.

Welding consumables - Covered electrodes - Determination of the efficiency, metal recovery and deposition coefficient (ISO 2401:2018).

Welding consumables - Covered electrodes for manual metal arc welding of non-alloy and fine grain steels - Classification (ISO 2560:2020).