



INSTYTUT SPAWALNICTWA
Zakład Technologii Spawalniczych

ul. Bł. Czesława 16/18
44-100 Gliwice
tel. 0-32-231-00-11, fax 0-32-231-46-52
www.is.gliwice.pl

ORZECZENIE Nr ZT/274/10

pt.:

OCENA WŁASNOŚCI EKSPLOATACYJNYCH ELEKTROD GRAFITOWYCH DO CIĘCIA I ŻŁOBIENIA

Wykonane dla: **CARBO-GRAF Sp. z o.o.**
ul. Piaskowa 11
47-400 Racibórz

Podstawa: **zamówienie z dnia 29.01.2010 r.**

Nr zlecenia wewn.: **B-151/10/E**

Data opracowania: **09.03.2010 r.**

Opracował:	dr inż. Jerzy Niagaj <i>Międzynarodowy Inżynier Spawalnik (IWE)</i>	
Sprawdził:	Kierownik Z-du Technologii Spawalniczych mgr inż. Tadeusz Kuzio	
Zatwierdził:	Z-ca Dyrektora Instytutu Spawalnictwa dr inż. Bogusław Czwórńóg	
Wykonano 3 egz. dla: egz. nr 1 – CARBO-GRAF Sp. z o.o., Racibórz egz. nr 2 – CARBO-GRAF Sp. z o.o., Racibórz egz. nr 3 – Instytut Spawalnictwa, Gliwice		Egzemplarz nr 1
		Ilość stron: 18
Niniejsze orzeczenie nie może być fragmentarycznie powielane bez zgody Instytutu Spawalnictwa		

1. Wprowadzenie

Firma CARBO-GRAF Sp. z o.o., dążąc do zwiększenia konkurencyjności swoich wyrobów w postaci elektrod grafitowych do cięcia i żłobienia łukowo-powietrznego stali oraz innych materiałów konstrukcyjnych, zleciła Instytutowi Spawalnictwa zbadanie ich własności eksploatacyjnych na tle elektrod grafitowych produkcji innych firm zagranicznych dostępnych na rynku krajowym.

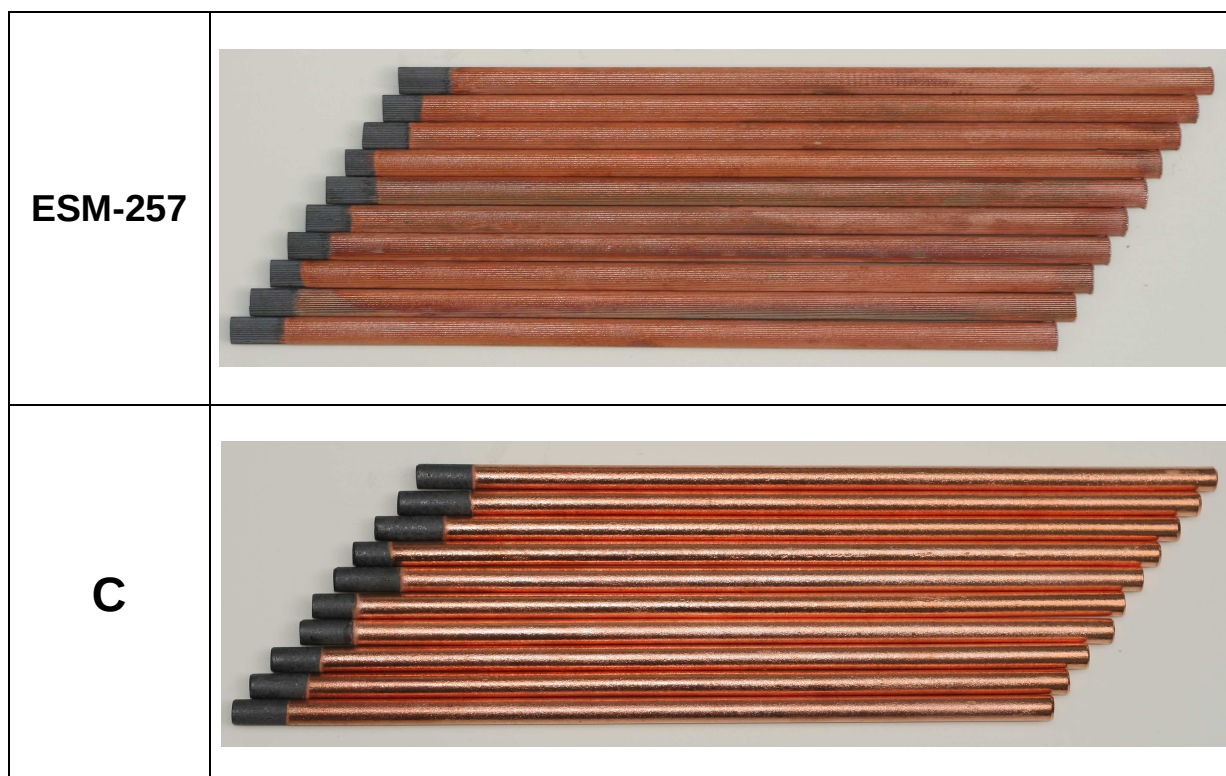
2. Przedmiot badań

W celu przeprowadzenia prób cięcia łukowo-powietrznego firma CARBO-GRAF Sp. z o.o. dostarczyła po jednym opakowaniu elektrod grafitowych z produkcji bieżącej w gat. ESM-257 o średnicy: 6, 8 i 10 mm. Próby porównawcze prowadzono z zastosowaniem dostępnych na rynku elektrod grafitowych produkcji jednej z firm zagranicznych o podobnych średnicach.

Dla potrzeb niniejszych badań, elektrody innego producenta użyte do badań porównawczych oznaczono literą „C”. W celu rozróżnienia poszczególnych średnic elektrod grafitowych, zarówno na końcu oznaczenia ESM-257, jak i litery „C”, umieszczono liczbę odpowiadającą średnicy elektrod, tj.: ESM-257/6, ESM-257/8, ESM-257/10, C/6, C/8 oraz C/10. Z kolei cyfra stojąca po myślniku oznacza numer porządkowy badanej elektrody, np.: ESM-257/6-1 lub C/10-4.

3. Stan dostawy elektrod grafitowych

Do badań stanu dostawy elektrod grafitowych firmy CARBO-GRAF Sp. z o.o. oraz producenta zagranicznego, z każdego opakowania pobrano losowo 10 szt. elektrod grafitowych o średnicy: 6, 8 i 10 mm (rys. 1). Ocenie poddano: wymiary elektrod, ich wygląd zewnętrzny oraz spójność powłoki miedzianej. Wyniki tych badań przedstawiono w tabl. 1.



Rys. 1. Wygląd zewnętrzny elektrod grafitowych w gat. ESM-257 oraz „C”

Tablica 1

Wyniki badań wymiarów oraz oceny stanu powierzchni elektrod grafitowych

Gatunek elektrod grafitowych	Średnica nominalna, [mm]	Średnica*, [mm]	Długość*, [mm]	Stan powierzchni elektrod grafitowych		
				Kształt przekroju poprzecznego	Rodzaj powierzchni	Ubytki powłoki miedzianej
ESM-257/6	6	$\frac{6,39 \div 6,50}{6,44}$	$\frac{305 \div 307}{306}$	okrągły, rowkowany	matowa	brak
C/6		$\frac{5,91 \div 5,98}{5,94}$	$\frac{304 \div 305}{305}$	okrągły, gładki	błyszcząca	brak
ESM-257/8	8	$\frac{7,97 \div 8,04}{8,00}$	$\frac{305 \div 306}{306}$	okrągły, rowkowany	matowa	brak
C/8		$\frac{7,91 \div 8,03}{7,97}$	$\frac{304 \div 305}{305}$	okrągły, gładki	błyszcząca	brak
ESM-257/10	10	$\frac{9,98 \div 10,04}{10,01}$	$\frac{305 \div 306}{306}$	okrągły, rowkowany	matowa	brak
C/10		$\frac{9,55 \div 9,82}{9,68}$	$\frac{304 \div 305}{305}$	okrągły, gładki	błyszcząca	brak

* - w mianowniku podano wartość średnią z 10 pomiarów

4. Własności fizyko-mechaniczne elektrod grafitowych

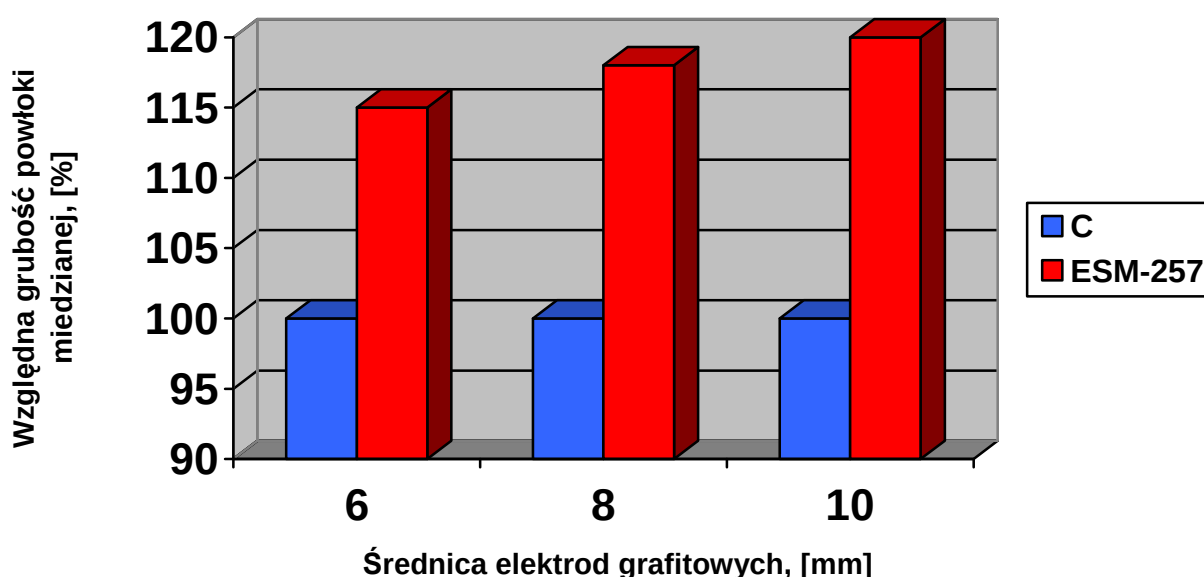
Badania własności fizyko-mechanicznych elektrod grafitowych ESM-257 oraz oznaczonych literą C przeprowadzono w Laboratorium KJ SGL w Raciborzu. Do badań pobrano losowo 10 szt. elektrod o średnicy: 6, 8 i 10 mm. Wyniki badań przedstawiono w tabl. 2 oraz na rys. 2.

Tablica 2

Wyniki badań własności fizyko-mechanicznych elektrod grafitowych ESM-257 i C

Lp.	Parametr	Średnica nominalna w [mm] i gatunek elektrod grafitowych*					
		6		8		10	
		ESM-257/6	C/6	ESM-257/8	C/8	ESM-257/10	C/10
1.	Gęstość pozorna, [g/cm ³]	<u>1,68÷1,72</u> 1,70	<u>1,49÷1,54</u> 1,52	<u>1,68÷1,76</u> 1,71	<u>1,50÷1,57</u> 1,53	<u>1,68÷1,72</u> 1,70	<u>1,50÷1,56</u> 1,53
2.	Wytrzymałość na zginanie, [N/mm ²]	<u>27,3÷32,4</u> 29,3	<u>20,7÷24,1</u> 22,5	<u>23,1÷30,9</u> 26,4	<u>19,9÷23,6</u> 21,3	<u>22,8÷27,9</u> 25,3	<u>18,1÷23,1</u> 20,0
3.	Oporność elektryczna właściwa, [μΩm]	<u>15,6÷17,0</u> 16,1	<u>16,4÷17,5</u> 16,9	<u>13,6÷16,5</u> 14,9	<u>14,5÷16,4</u> 15,5	<u>13,5÷16,4</u> 14,7	<u>16,9÷18,1</u> 17,2
4.	Grubość powłoki miedzi, [mm]	<u>0,07÷0,10</u> 0,086	<u>0,05÷0,11</u> 0,075	<u>0,08÷0,13</u> 0,099	<u>0,06÷0,11</u> 0,084	<u>0,10÷0,15</u> 0,121	<u>0,09÷0,12</u> 0,101

* - w mianowniku podano wartość średnią z 10 pomiarów



Rys. 2. Względna grubość powłoki miedzianej elektrod grafitowych przy założeniu, że grubość powłoki miedzianej elektrody „C” wynosi 100 %

4. Wyniki prób cięcia łukowo-powietrznego

Próby cięcia przeprowadzono w Raciborzu w warunkach produkcyjnych RAFAKO S.A. z zastosowaniem blach ze stali S355J2 o grubości 15 mm i wymiarach ok. 300x500 mm (rys. 3 i 4). Jako źródło energii spawalniczej stosowano prostownik spawalniczy LCA 1200 firmy ESAB. Ciśnienie sprężonego powietrza wynosiło ok. 0,6 MPa. W trakcie prób mierzono: długość cięcia, czas cięcia oraz wymiary ogarków elektrod grafitowych. Wyniki badań przedstawiono w tabl. 3 i na rys. 5÷13.



Rys. 3. Wygląd płyty próbnej oraz uchwyty spawalniczego z elektrodą grafitową



Rys. 4. Wygląd płyty próbnej po cięciu łukowo-powietrznym

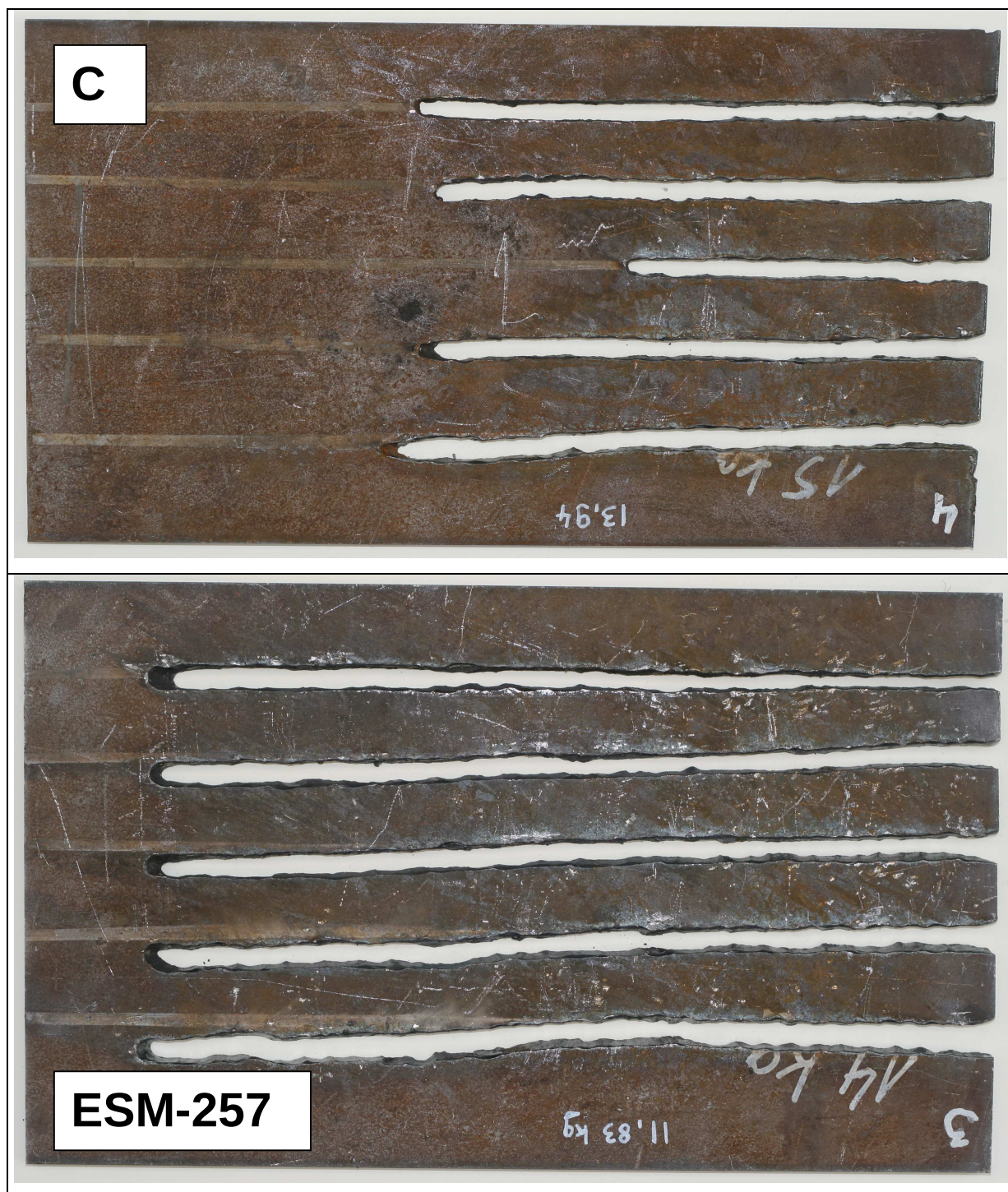
Tablica 3

Wyniki dwóch prób cięcia łukowo-powietrznego blach ze stali w gat. S355J2 o grubości 15 mm z zastosowaniem elektrod grafitowych w gat. ESM-257 oraz C

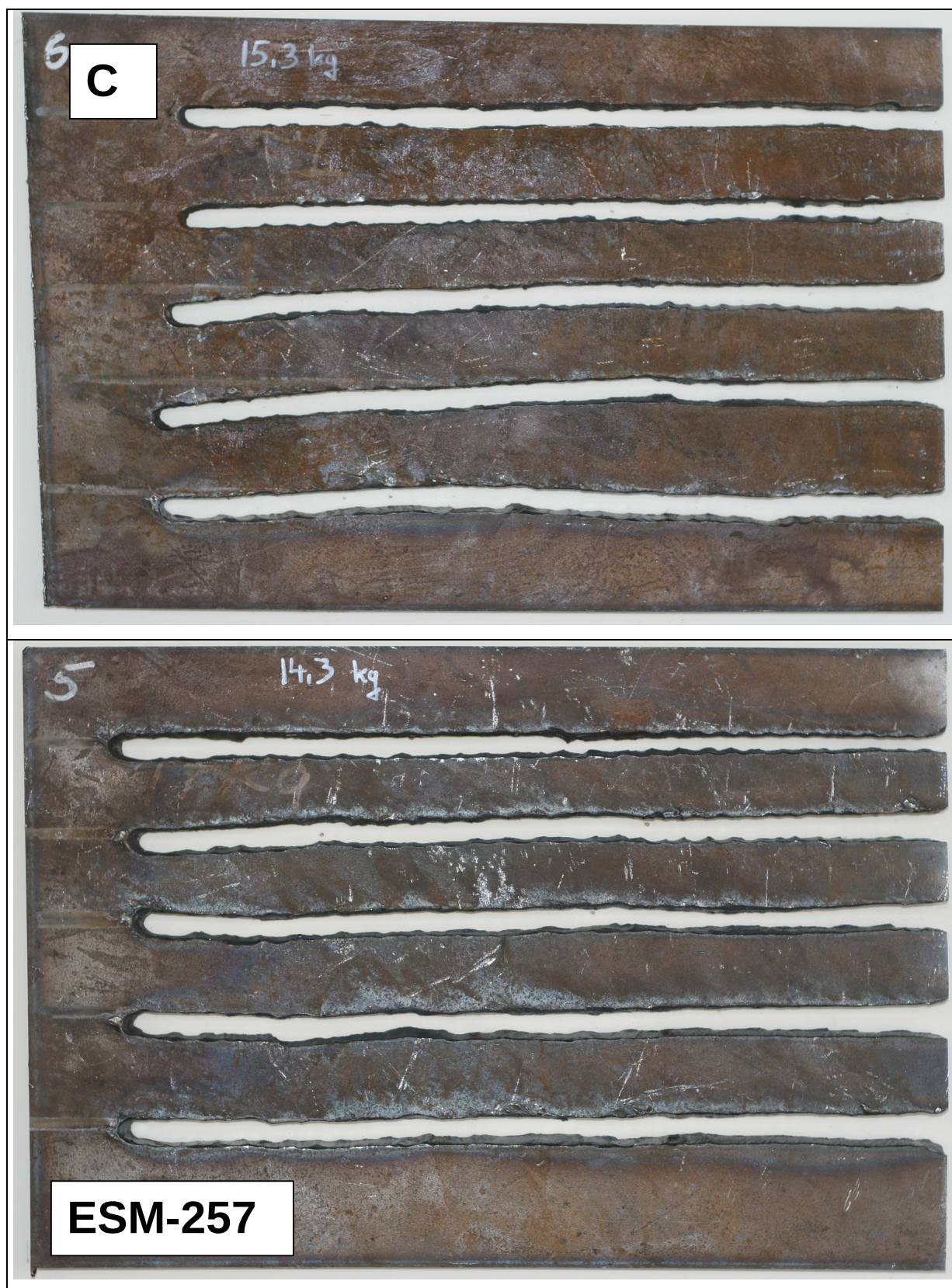
	Natężenie prądu cięcia, [A]	Sumaryczna długość początkowa elektrod, [mm]	Sumaryczna długość elektrod po cięciu, [mm]	Sumaryczna zużyta długość elektrod L_e , [mm]	Sumaryczna długość cięcia L_c , [mm]	Wskaźnik L_c/L_e , [cm/cm]	Sumaryczny czas cięcia, [s]	Prędkość cięcia blachy o grubości 15 mm, [cm/min]	Początkowa masa blachy, [g]	Masa blachy po cięciu, [g]	Masa usuniętego metalu m_c , [g]	Wskaźnik m_c/L_e , [g/cm]
ESM-257/6	400÷500	1530	417	1113	1632	1,47	280	35,0	15680	14000	1680	15,1
	420÷490	1525	416	1109	1611	1,45	295	32,8	16200	14450	1750	15,8
	wynik z 2 prób	3055	833	2222	3243	1,46	575	33,8	31880	28450	3430	15,4
C/6	300÷400	1525	482	1043	1092	1,05	250	26,2	15840	14720	1120	10,7
	310÷410	1525	494	1031	1098	1,06	255	25,8	16600	15450	1150	11,2
	wynik z 2 prób	3050	976	2074	2190	1,06	505	26,0	32440	30170	2270	10,9
ESM-257/8	460÷580	1530	649	881	1949	2,21	346	33,8	13940	11830	2110	24,0
	490÷580	1525	657	868	1942	2,24	335	34,8	15950	13750	2200	25,3
	wynik z 2 prób	3055	1306	1749	3891	2,22	681	34,3	29890	25580	4310	24,6
C/8	470÷640	1525	587	938	1374	1,46	250	33,0	15440	13940	1500	16,0
	520÷630	1525	516	1009	1466	1,45	275	32,0	16250	14890	1360	13,5
	wynik z 2 prób	3050	1103	1947	2840	1,46	525	32,5	31690	28830	2860	14,7
ESM-257/10	700÷780	1530	895	635	2069	3,26	285	43,6	16970	14300	2670	42,0
	680÷760	1525	958	567	2103	3,71	280	45,1	16800	14280	2520	44,4
	wynik z 2 prób	3055	1853	1202	4172	3,47	565	44,3	33770	28580	5190	43,2
C/10	600÷700	1525	650	875	2075	2,37	354	35,2	18000	15300	2700	30,9
	590÷690	1525	706	819	2052	2,51	345	35,7	16150	13490	2660	32,5
	wynik z 2 prób	3050	1356	1694	4127	2,44	699	35,4	34150	28790	5360	31,6



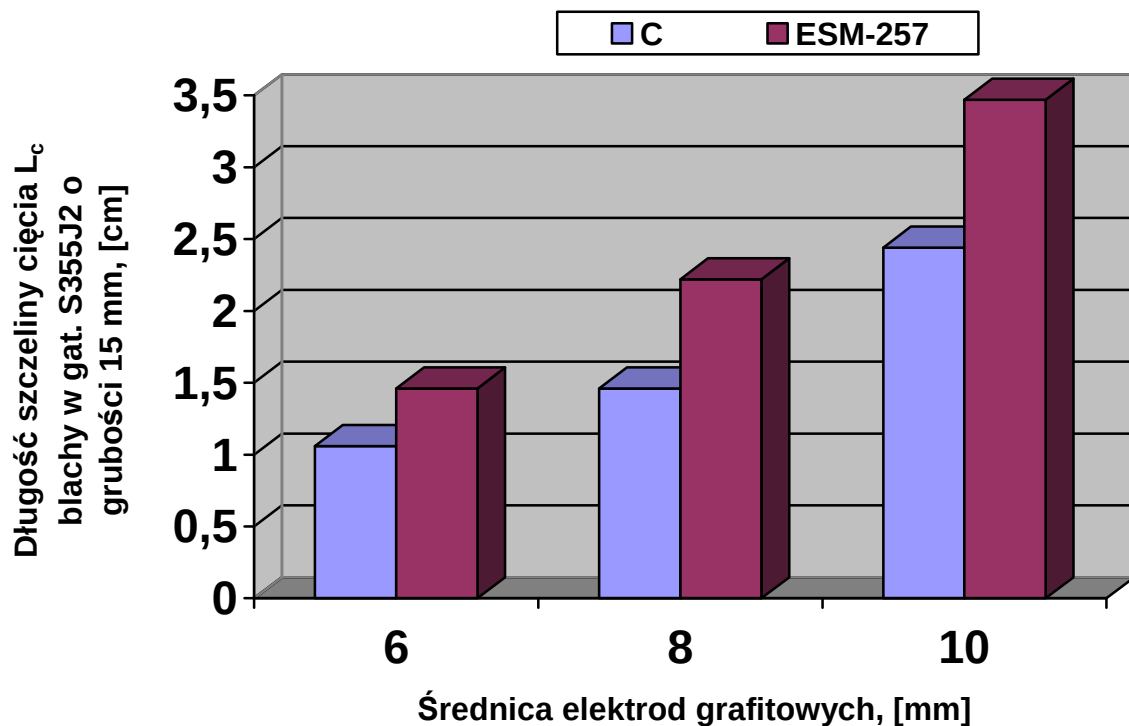
Rys. 5. Wygląd blach ze stali w gat. S355J2 o grubości 15 mm przeciętych z zastosowaniem elektrod grafitowych C oraz ESM-257 o średnicy 6 mm



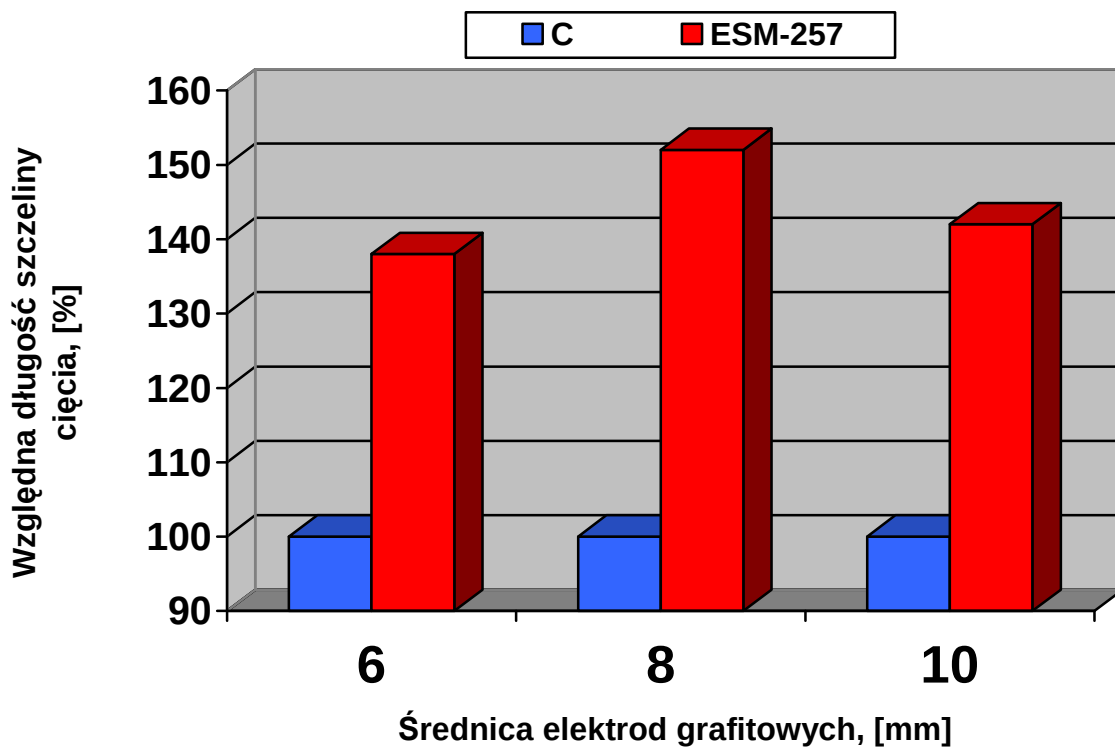
Rys. 6. Wygląd blach ze stali w gat. S355J2 o grubości 15 mm przeciętych z zastosowaniem elektrod grafitowych C oraz ESM-257 o średnicy 8 mm



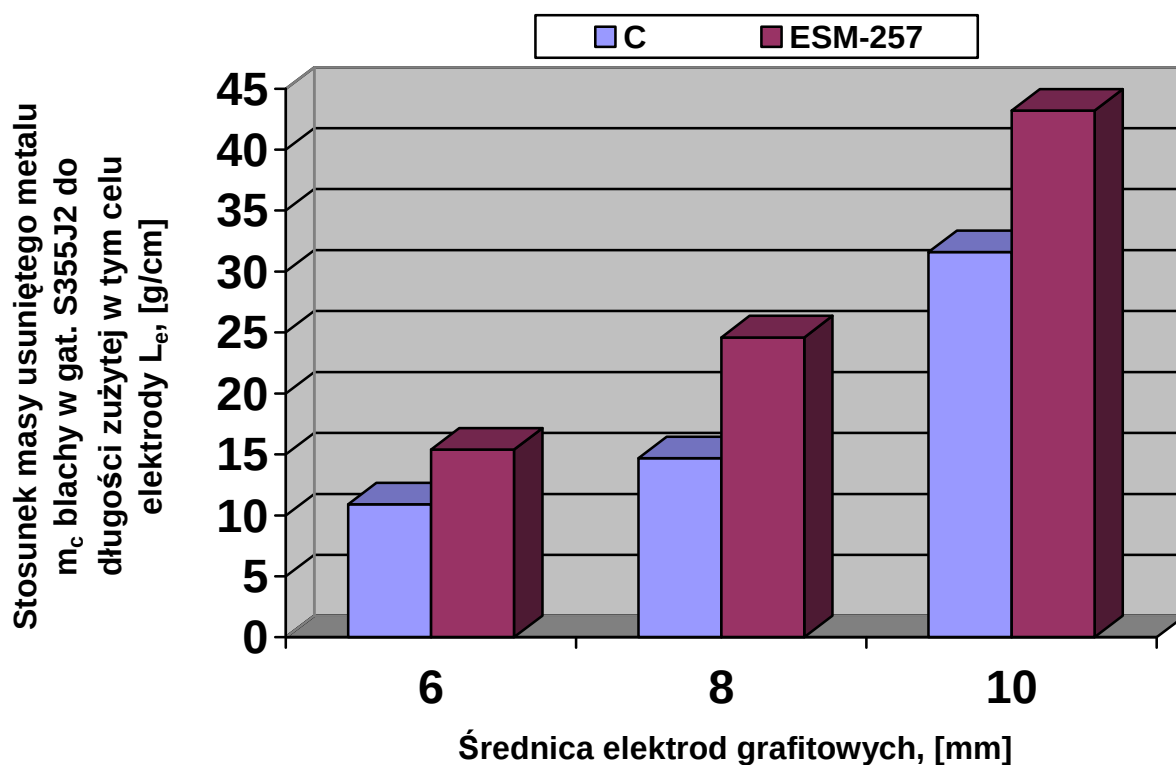
Rys. 7. Wygląd blach ze stali w gat. S355J2 o grubości 15 mm przeciętych z zastosowaniem elektrod grafitowych C oraz ESM-257 o średnicy 10 mm



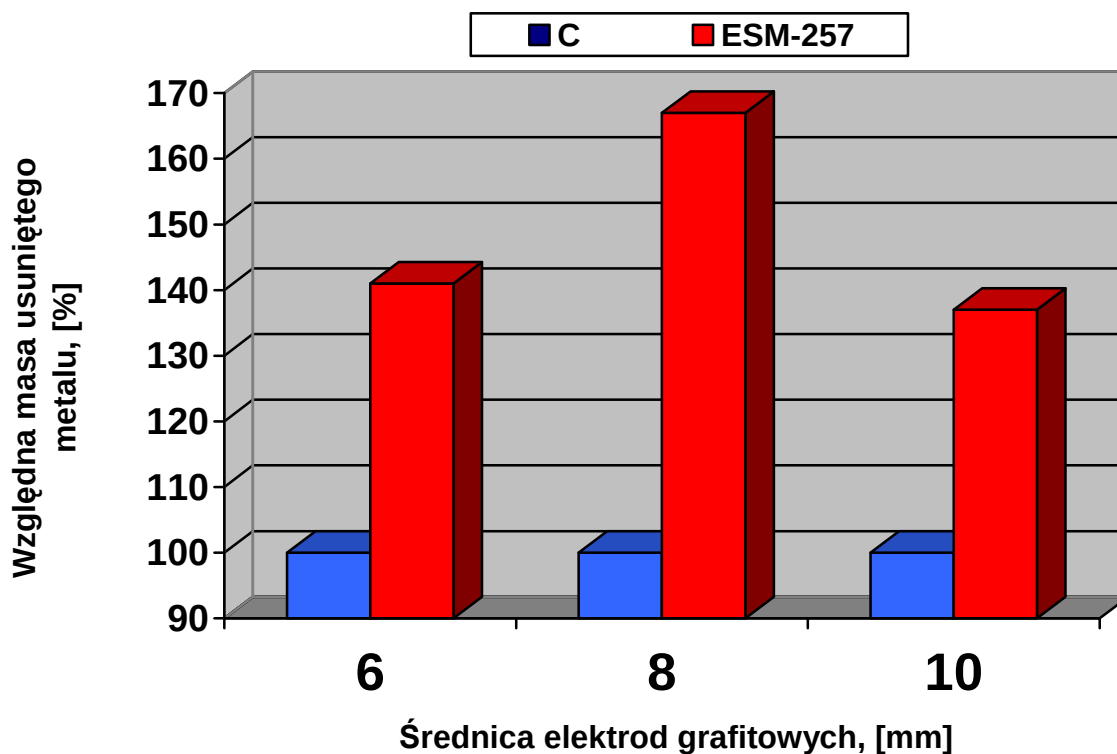
Rys. 8. Długość szczeliny cięcia L_c blachy w gat. S355J2 o grubości 15 mm przy zużyciu w tym celu 1 cm elektrody grafitowej



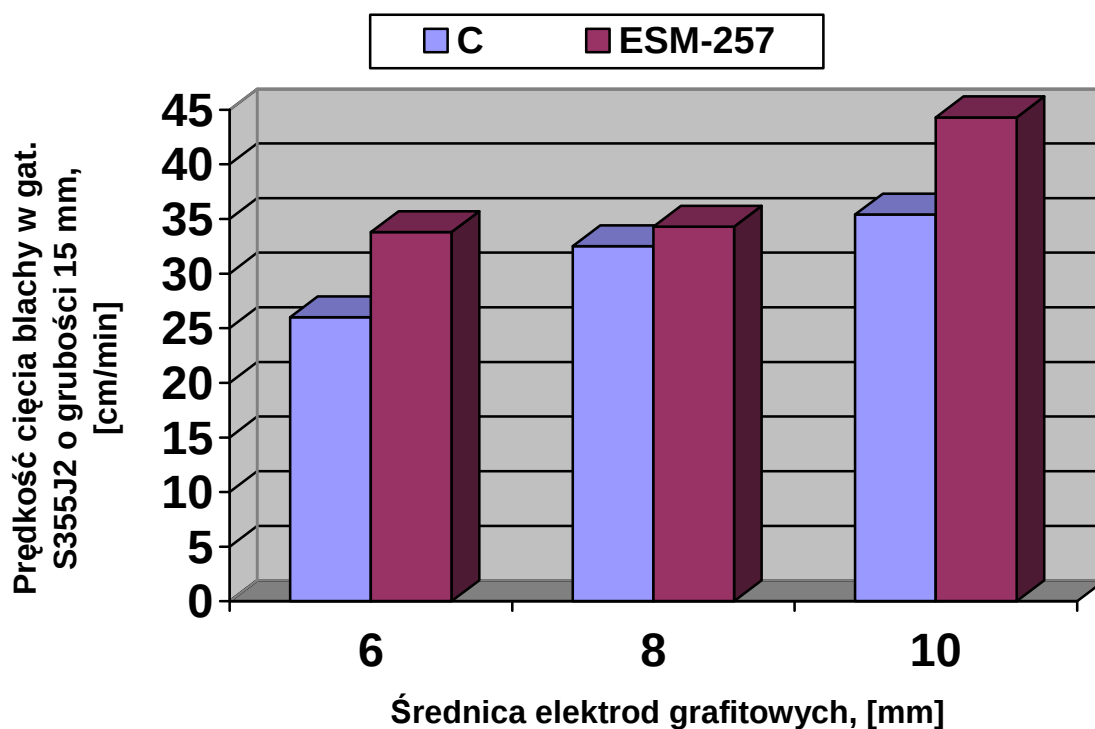
Rys. 9. Względna długość szczeliny cięcia blachy w gat. S355J2 o grubości 15 mm podczas cięcia łukowo-powietrznego przy założeniu, że długość szczeliny cięcia L_c w przypadku elektrody „C” wynosi 100 %



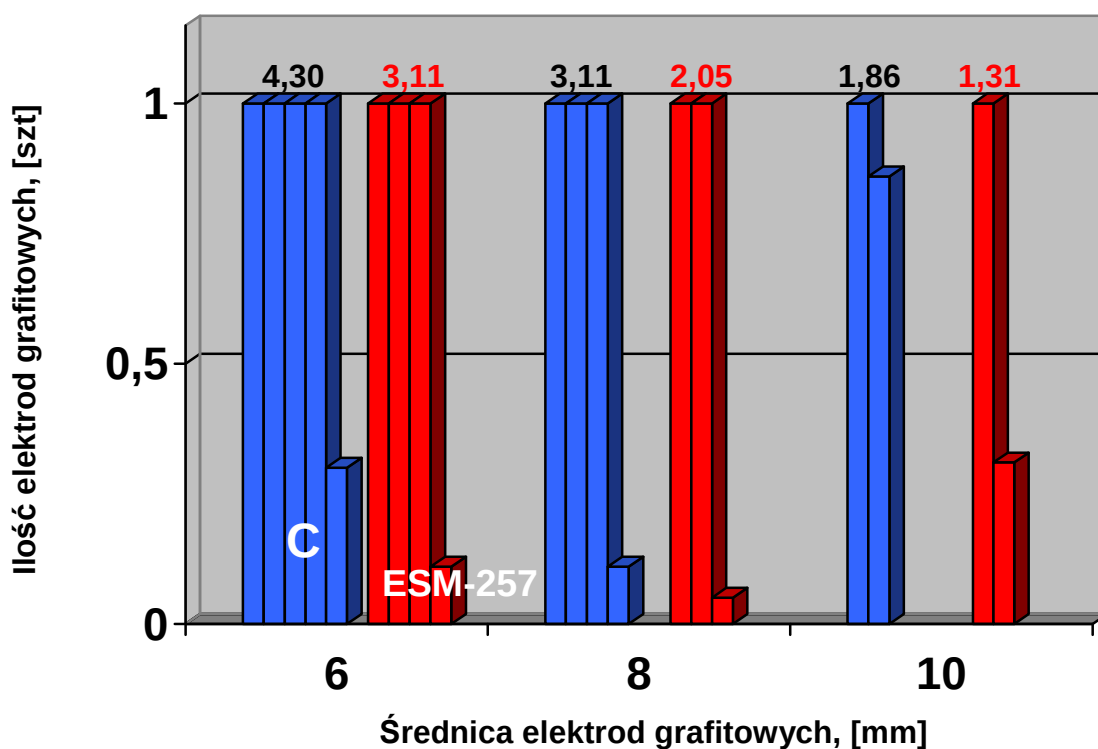
Rys. 10. Stosunek masy usuniętego metalu m_c blachy w gat. S355J2 do długości zużytej w tym celu elektrody grafitowej L_e



Rys. 11. Względna masa usuniętego metalu podczas cięcia łukowo-powietrznego przy założeniu, że stosunek m_c/L_e w przypadku elektrody „C” wynosi 100 %



Rys. 12. Prędkość cięcia blachy w gat. S355J2 o grubości 15 mm w zależności od średnicy użytej w tym celu elektrody grafitowej



Rys. 13. Ilość elektrod grafitowych, którą należy użyć do przecięcia 1 mb blachy ze stali S355J2 o grubości 15 mm przy założeniu, że długość ogarka wynosi 85 mm

Po zakończeniu prób cięcia zmierzono również długość odcinka ogarka elektrody, na powierzchni którego brakuje powłoki miedzianej. Wyniki tych pomiarów przedstawiono w tabl. 4, a wygląd zewnętrzny ogarków elektrod ESM-257 oraz C o poszczególnych średnicach na rys. 14÷16.

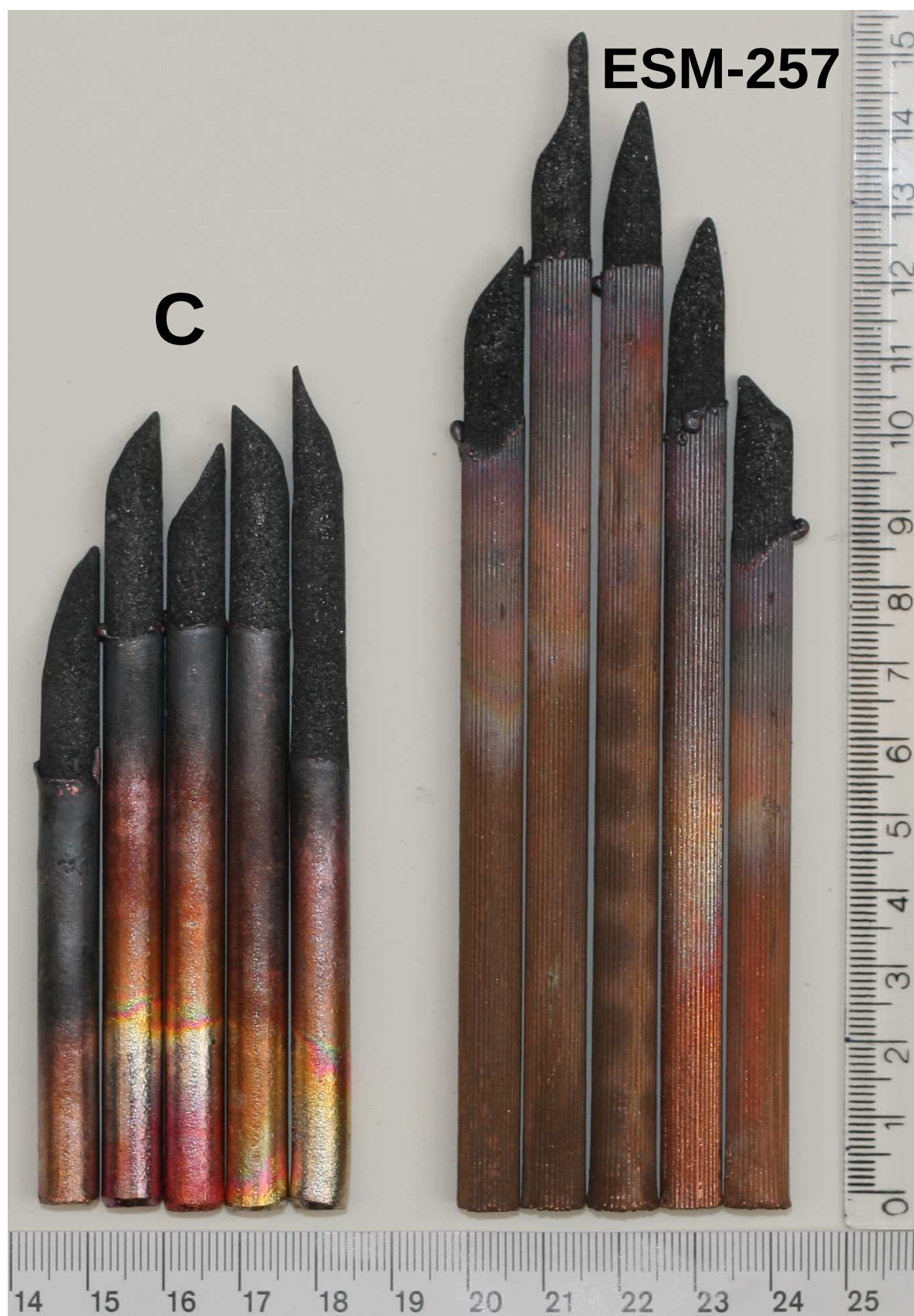
Tablica 4

Długość odcinka ogarka elektrody grafitowej bez powłoki miedzianej po cięciu łukowo-powietrznym

Nr elektrody	Długość odcinka ogarka elektrody bez powłoki miedzianej, [mm]:					
	6		8		10	
	ESM-257	C	ESM-257	C	ESM-257	C
1	14	48	19	25	24	36
2	15	26	27	29	25	46
3	24	22	25	31	26	32
4	18	27	21	52	23	32
5	17	20	29	29	26	26
śr.	17,6	28,6	24,2	33,2	24,8	34,4
%	62	100	73	100	72	100



Rys. 14. Wygląd ogarków elektrod grafitowych C oraz ESM-257 o średnicy 6 mm po zakończeniu cięcia łukowo-powietrznego



Rys. 15. Wygląd ogarków elektrod grafitowych C oraz ESM-257 o średnicy 8 mm po zakończeniu cięcia łukowo-powietrznego



Rys. 16. Wygląd ogarków elektrod grafitowych C oraz ESM-257 o średnicy 10 mm po zakończeniu cięcia łukowo-powietrznego

5. Analiza wyników badań

W wyniku oględzin zewnętrznych elektrod grafitowych do cięcia łukowo-powietrznego w gat. ESM-257 oraz C stwierdzono, że wszystkie elektrody są zwarte, bez ubytków i nadszczerbień, a powłoka miedziana równomiernie pokrywa powierzchnie elektrod (tabl. 1). Wolny od miedzi pozostaje tylko ok. 20 mm odcinek końcówki roboczej elektrod. Powłoka miedziana na powierzchni elektrod ESM-257 jest matowa, natomiast elektrod C – błyszcząca, co najprawdopodobniej wynika z różnic w technologii nanoszenia powłok miedzianych stosowanych przez producentów elektrod.

Sprawdzenie średnicy oraz długości elektrod wykazało, że obydwa badane gatunki elektrod grafitowych charakteryzują się długością w przedziale od 304 do 307 mm przy nominalnej deklarowanej długości 305 mm (tabl. 1). W wyniku pomiaru średnicy elektrod stwierdzono natomiast, że elektrody w gat. ESM-257 charakteryzują się nieco większą średnicą, która w zależności od średnicy nominalnej była o (0,03÷0,5) mm większa od odpowiedniej średnicy elektrod C.

Badania własności fizyko-mechanicznych elektrod grafitowych przeprowadzone w Laboratorium KJ SGL w Raciborzu wykazały, że niezależnie od średnicy, gęstość pozorna oraz wytrzymałość na zginanie elektrod ESM-257 jest nieco wyższa niż elektrod C (tabl. 2). Z kolei oporność elektryczna odwrotnie, niższa. Ma to ścisły związek z grubością warstwy miedzi na powierzchni elektrod grafitowych, która w przypadku elektrod ESM-257 jest o (15÷20) % większa od grubości powłoki miedzianej elektrod C (rys. 2).

Analiza danych uzyskanych w wyniku przeprowadzenia prób technologicznych cięcia łukowo-powietrznego wykazała, że w przypadku wszystkich badanych średnic, zarówno długość szczeliny cięcia, jak i masa usuniętego metalu stali w gat. S355J2 o grubości 15 mm przy zużyciu 1 cm elektrody grafitowej w gat. ESM-257 są większe niż przy zastosowaniu elektrody C (tabl. 3 oraz rys. 8÷11). Długość cięcia elektrodami ESM-257 jest większa o 38÷52 % (rys. 9), a masa usuniętego metalu o 37÷67 % w porównaniu z elektrodami C (rys. 11). W wyniku obliczeń stwierdzono również, że przy zastosowaniu elektrod o nominalnej średnicy 8 mm, ich ilość niezbędna do przecięcia 1 mb blachy ze stali w gat. S355J2 o grubości 15 mm, przy założonej tej samej długości 85 mm niewykorzystanego ogarka, wynosi nieco ponad

3 szt. w przypadku elektrod C i tylko 2 szt. w przypadku elektrod grafitowych w gat. ESM-257 (rys. 13).

Pomiary prędkości cięcia blachy ze stali w gat. S355J2 o grubości 15 mm wykazały, że jest ona nieco wyższa w przypadku stosowania elektrod ESM-257 (rys. 12). Parametr ten nie jest jednak właściwy do porównania elektrod między sobą, ponieważ najprawdopodobniej zależy od natężenia prądu cięcia, które w przypadku elektrod ESM-257 było praktycznie zawsze nieco wyższe (tab. 3). Podobne wartości natężenia prądu obserwowano tylko podczas cięcia elektrodami o nominalnej średnicy 8 mm. W tym przypadku również prędkość cięcia była bardzo zbliżona i wynosiła ok. 33 cm/min (rys. 12). Podobne wartości natężenia prądu cięcia mogą mieć związek z bardzo podobną średnią rzeczywistą średnicą elektrod, która w przypadku elektrod w gat. ESM-257 wynosiła 8,00 mm, a elektrod C – 7,97 mm.

W wyniku pomiarów odcinka elektrody pozbawionego powłoki miedzianej stwierdzono, że w przypadku elektrod grafitowych w gat. ESM-257 niezależnie od ich średnicy odcinek ten jest zawsze o ok. 35 % krótszy niż w przypadku elektrod C. Czynniki te mogą mieć bezpośredni wpływ na zwiększoną trwałość i mniejsze zużycie elektrod ESM-257, ponieważ powłoka miedziana dzięki utrzymywaniu się przez dłuższy okres czasu na powierzchni elektrod prawdopodobnie chroni grafit przed przedwczesnym zużyciem, co wymaga jednak sprawdzenia i potwierdzenia w wyniku bardziej szczegółowych badań.

6. Wnioski

1. Masa usuniętego metalu podczas cięcia łukowo-powietrznego przy zastosowaniu elektrod grafitowych w gat. ESM-257 jest o 37÷67 % większa niż przy zastosowaniu dostępnych w Polsce elektrod produkcji innej firmy zagranicznej.
2. Przy zastosowaniu tej samej ilości elektrod grafitowych, użycie elektrod w gat. ESM-257 umożliwia uzyskanie o ok. 45 % większej długości cięcia blach w gat. S355J2 o grubości 15 mm w porównaniu z zastosowaniem zbadanych porównawczo elektrod grafitowych innego producenta.
3. Do przecięcia 1 mb blachy w gat. S355J2 o grubości 15 mm konieczne jest użycie od ok. 40 do 50 % więcej zbadanych elektrod grafitowych innego producenta niż elektrod w gat. ESM-257.

K O N I E C