

Wpływ procesów cięcia termicznego i strumieniem wody na właściwości i jakość powierzchni ciętych stali niskostopowych o wysokiej granicy plastyczności

An influence of thermal and water cutting processes on properties and quality of low alloy high strength steels

Streszczenie

W artykule opisano wpływ procesu cięcia strumieniem tlenu, plazmą powietrzną HD, laserem oraz strumieniem wody na jakość powierzchni stali obrabianej termomechanicznie S 700MC oraz ulepszonej cieplnie S 690QL o grubości 10 mm. Ocenie poddano jakość powierzchni po cięciu (odchyłkę prostokątności, chropowatość powierzchni, kąt ukosu), szerokość szczeliny cięcia, sposób przebijania oraz zmiany strukturalne i zmiany twardości zachodzące przy powierzchni cięcia.

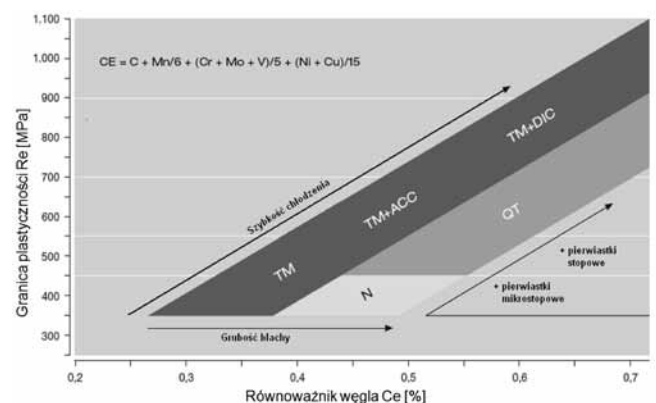
Abstract

In this paper an influence of oxygen, HTPAC plasma, laser and water cutting on 10 mm thickness plates from S 700MC and S 690QL steel surface quality was described. Quality assessment was measured by surface quality (square deviation, coarseness, angle chamfer), width of cutting gap, perforation method, structural and hardness changes in the area near the cutting surface.

Wstęp

Coraz częściej na konstrukcje spawane stosowane są drobnoziarniste stale niskostopowe otrzymywane w procesie obróbki termomechanicznej lub ulepszenia cieplnego [1÷3]. Nowoczesne stale konstrukcyjne swoje właściwości zawdzięczają złożonym procesom wytwarzania, od których zależą ich właściwości wytrzymałościowe oraz spawalność (rys. 1) [4].

Cięcie jest operacją technologiczną, od której najczęściej zaczyna się cały proces wytwórczy. Zmiany zachodzące podczas cięcia w materiale mogą mieć zatem istotny wpływ na jakość elementów. Rozwój metod cięcia następuje wskutek coraz większych wymagań, poczynając od cięcia prostoliniowego, przez cięcie 2D, do cięcia 3D. Odpowiedni wybór metody cięcia



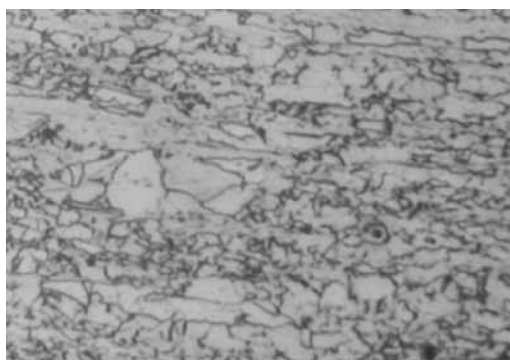
Rys. 1. Zależność między równoważnikiem węgla a granicą plastyczności R_e stali uzyskanych w różnych procesach wytwarzania: N – walcowanie normalizujące, TM – walcowanie termomechaniczne, ACC – przyspieszone chłodzenie, DIC – bezpośrednie intensywne chłodzenie, QT – ulepszenie cieplne [4]

Fig. 1. Relation between carbon equivalent and yield stress R_e of different manufacturing processes of steels: N – normalizing rolled, TM – thermomechanically rolled, ACC – accelerated cooled, DIC – direct intensive cooled, QT – quenched and tempered

zależy od wymagań i możliwości technicznych, tj. rodzaju i grubości ciętego materiału, jakości cięcia, tolerancji wymiarowych, odchyłki prostokątności, prędkości cięcia czy kształtu wycinanego elementu oraz od czynników ekonomicznych, do których zalicza się koszt inwestycji, koszt eksploatacji, efektywność procesu i stopień wykorzystania urządzenia [5÷10].

Badania własne

Celem badań było określenie wpływu procesu cięcia strumieniem tlenu, plazmą powietrzną HD, wiązką promieniowania laserowego oraz strumieniem wody na jakość powierzchni ciętych stali: obrobionej termomechanicznie S 700MC oraz ulepszonej cieplnie S 690QL



Rys. 2. Struktura ferrytyczno-bainityczna stali obrobionej termomechanicznie S 700MC

Fig. 2. Ferrite-bainitic structure of termomechanically controlled rolled S 700MC steel



Rys. 3. Struktura martenzytu odpuszczonego stali S 690QL
Fig. 3. Drawing temper martensite structure of S 690QL steel

o grubości 10 mm. Skład chemiczny oraz właściwości mechaniczne badanych stali zawarto w tabelicy I, a strukturę przedstawiono na rysunkach 2 i 3.

Proces cięcia

Proces cięcia został przeprowadzony przy najlepszych parametrach dla grubości blachy 10 mm (tabl. II). Długość krawędzi ciętej wynosiła 200 mm. Cięcie strumieniem tlenu wykonano na stanowisku wyposażonym w urządzenie Messer OmniMat ze sterowaniem Global Control i palnikiem Alfa. Cięcie plazmowe łukiem zależnym o zawężonym strumieniu plazmy HTPAC blach przeprowadzono na urządzeniu HYPER THERM HD 3070 współpracującym ze stołem portalowym

Tablica I. Skład chemiczny i właściwości mechaniczne stali S 700MC i S 690QL

Table I. Chemical composition and mechanical properties of S 700MC and S 690QL steel plates

Zawartość pierwiastków, %												
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Nb	V	Ti	Ni	Mo	
S 700MC	0,06	0,17	1,68	0,008	0,003	-	0,047	0,006	0,122	-	0,006	
S 690QL	0,20	0,50	1,60	0,02	0,02	1,0	-	0,10	-	1,50	0,60	
Właściwości mechaniczne												
	Wytrzymałość na rozciąganie, R_m , MPa				Granica plastyczności, R_e , MPa				Wydłużenie, A_5 , %			
S 700MC	822				768				19			
S 690QL	810				730				14			

Tablica II. Parametry procesu cięcia strumieniem tlenu, plazmą powietrzną HD, laserem, strumieniem wody stali S 700MC oraz stali S 690QL

Table II. Parameters of oxygen, HTPAC plasma, laser and water cutting of S 700MC and S 690QL steel

Proces cięcia strumieniem tlenu						
Ciśnienie tlenu tnącego, MPa	Ciśnienie acetyleny, MPa	Prędkość cięcia, m/min	Dysza tlenowa, mm	Odległość dyszy, mm		
0,5	0,045	0,57	7-15	8		
Proces cięcia plazmą powietrzną HD						
Natężenie prądu, A	Napięcie łuku, V	Prędkość cięcia, m/min	Ciśnienie gazu plazmowego, MPa	Rodzaj elektrody	Średnica dyszy tnącej, mm	Odległość palnika, mm
100	150	3,0	0,8	cyrkonowa	1	4
Proces cięcia wiązką laserową						
Moc wiązki, W	Prędkość cięcia, m/min	Ciśnienie gazu, MPa	Rodzaj gazu	Odległość głowicy, mm		
4800	2,4	0,8	tlen	1,5		
Proces cięcia strumieniem wody						
Ciśnienie wody, MPa	Prędkość cięcia, m/min	Średnica dyszy tnącej, mm	Średnica dyszy wodnej, mm	Rodzaj i ziarność proszku, μm	Wydajność podawania proszku, g/min	Odległość dyszy, mm
380	2,1	0,76	1,5	„Garnet”, 80	480	5

konstrukcji bramowej VANAD Proxima. Do cięcia wiązką lasera wykorzystano laser Trumpf TruLaser 5060 (L10) o maksymalnej mocy 5000 W. Gazem towarzyszącym był tlen. Proces cięcia strumieniem wody przeprowadzono na maszynie NC 3520 D.

Ocena jakości powierzchni ciętych

Oceny jakości powierzchni ciętych strumieniem tlenu, plazmą powietrzną HD, wiązką laserową oraz strumieniem wody badanych stali dokonano na podstawie normy ISO 9013:2002, wg której ocenie podlega chropowatość powierzchni oraz tolerancja

prostokątności lub pochylenia powierzchni cięcia. Pomiar chropowatości Rz przeprowadzono w kierunku zgodnym z kierunkiem cięcia w pięciu miejscach próbki, długość odcinka pomiarowego wynosiła 12,5 mm, natomiast długość odcinka elementarnego 2,5 mm (tabl. III). Urządzeniem stosowanym do pomiaru chropowatości był profilometr SurfTest 402 firmy Mitutoyo. Pomiar odchyłki prostokątności u przeprowadzono w odstępach 20 mm w trzech miejscach próbki, kąt ukosu zmierzono kątomierzem optycznym (tabl. III).

W celu porównania geometrycznych cech powierzchni cięcia określono średnicę otworu przebiccia oraz geometrię rowka ciętego (szerokość górnej i dolnej szczeliny cięcia) i kąt ukosu (tabl. IV).

Tablica III. Ocena jakości powierzchni ciętych stali S 700 MC oraz S 690QL o grubości 10 mm wg normy ISO 9013:2002

Table III. Quality assessment of 10 mm thickness S 700 MC and S 690QL steel cut plates in acc. to ISO 9013:2002 standard

Metoda cięcia	Odchyłka prostokątności u_{sp} , mm		Pole u wg ISO 9013: 2002		Chropowatość powierzchni Rz_{sp} , μm		Pole Rz wg ISO 9013:2002		Kąt ukosu, °	
	MC	QL	MC	QL	MC	QL	MC	QL	MC	QL
Cięcie strumieniem tlenu	0,45	0,30	3	3	15,80	20,80	1	2	2°30'	1°30'
Cięcie plazmą powietrzną HD	0,82	0,49	4	3	9,30	6,30	1	1	2°20'	20'
Cięcie wiązką laserową	0,11	0,12	1	1	13,50	18,00	1	2	1°	30'
Cięcie strumieniem wody	0,25	0,22	2	2	20,30	19,90	2	2	30'	1°30'

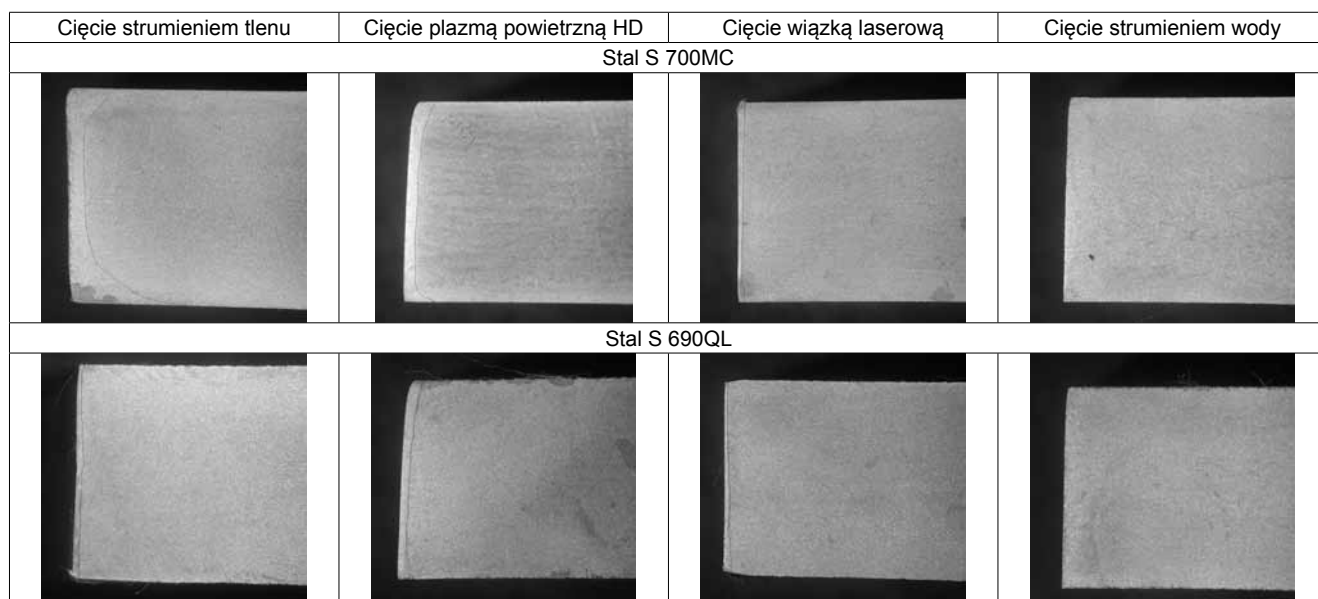
Uwaga: MC – stal S 700MC, QL – stal S 690QL

Tablica IV. Ocena geometrycznych cech powierzchni ciętych stali S 700MC oraz S 690QL o grubości 10 mm

Table IV. Geometrical attributes assessment of 10 mm thickness S 700MC and S 690QL steel cut plates


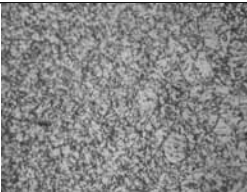
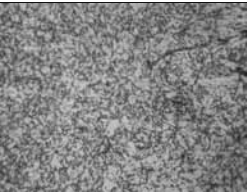














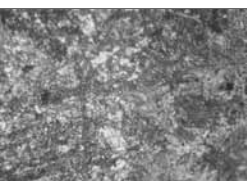

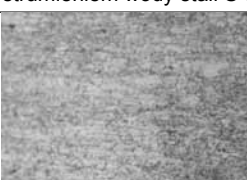




Metoda cięcia	Szerokość górnej szczeliny cięcia, mm		Szerokość dolnej szczeliny cięcia, mm		Górna średnica otworu przebiccia, mm		Dolna średnica otworu przebiccia, mm		Powstanie nacieków na dolnej krawędzi cięcia	
	MC	QL	MC	QL	MC	QL	MC	QL	MC	QL
Cięcie strumieniem tlenu	1,75	1,65	1,68	1,59	-	-	-	-	małe	małe
Cięcie plazmą powietrzną HD	1,95	2,0	1,29	1,09	4,62	5,19	2,87	3,27	duże	małe
Cięcie wiązką laserową	0,48	0,52	0,48	0,45	4,09	4,08	3,93	3,92	brak	brak
Cięcie strumieniem wody	0,85	1,2	0,78	0,82	-	-	-	-	brak	brak

Uwaga: MC – stal S 700MC, QL – stal S 690QL



Rys. 4. Makrostruktura przy powierzchni po cięciu strumieniem tlenu, plazmą HD, wiązką lasera oraz strumieniem wody stali S 700MC oraz S 690QL, trawienie – odczynnik Adlera

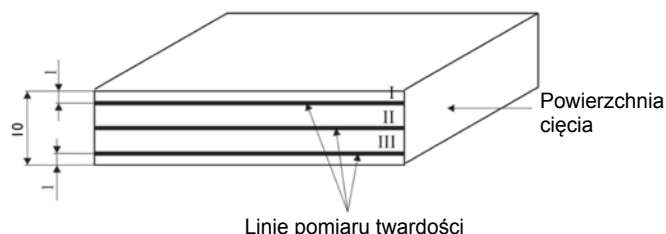
Fig. 4. Macrostructure of area near the surface after oxygen, HTPAC, laser and water cutting of S 700MC and S 690QL steel, etching – Adler's chemical reagent

Mikrostruktura przy górnej powierzchni cięcia	Mikrostruktura w środku próbki	Mikrostruktura przy dolnej powierzchni cięcia
Cięcie strumieniem tlenu stali S 700MC		
		
Cięcie strumieniem tlenu stali S 690QL		
		
Cięcie plazmą powietrzną HD stali S 700MC		
		
Cięcie plazmą powietrzną HD stali S 690QL		
		
Cięcie wiązką laserową stali S 700MC		
		
Cięcie wiązką laserową stali S 690QL		
		
Cięcie strumieniem wody stali S 700MC		
		
Cięcie strumieniem wody stali S 700MC		
		

Rys. 5. Mikrostruktura powierzchni po cięciu strumieniem tlenu, plazmą HD, wiązką lasera oraz strumieniem wody stali S 690QL oraz S 700MC, trawienie – nital, pow. – 200x
Fig 5. Macrostructure of area near the surface after oxygen, HTPAC, laser and water cutting of S 700MC and S 690QL steel, etching – nital, magn. – 200x

Badania metalograficzne

W celu określenia szerokości strefy wpływu ciepła powstałej po cięciu stali S 700MC oraz S 690QL wykonano badania makroskopowe przy użyciu mikroskopu stereoskopowego Olympus SZX9 (rys. 4). Ocenę wpływu procesów cięcia na zmiany strukturalne przy powierzchni cięcia przeprowadzono na podstawie badań mikroskopowych przy użyciu mikroskopu świetlnego Olympus PME 3. Badania mikroskopowe zostały wykonane w trzech miejscach próbki: przy górnej powierzchni cięcia, w środku próbki oraz przy dolnej krawędzi (rys. 5).



Rys. 6. Linie pomiaru twardości ciętych blach
Fig 6. Hardness measurement lines of cut plates

Pomiar twardości

Pomiar twardości po cięciu wykonano metodą Vickersa na mikrotwardościomierzu Wilson Wolpert 401

MVD przy obciążeniu 100 g; czas działania węgelnika – 15 s. Pomiar przeprowadzono wzdłuż trzech linii pomiarowych prostopadłych do powierzchni cięcia. Sposób pomiaru twardości przedstawiono na rysunku 6. Wyniki pomiarów twardości zestawiono w tablicach V i VI.

Tablica V. Twardość HV0,1 po cięciu blachy S 700MC

Table V. HV0,1 hardness after cutting S 700MC steel plate

Odległość pomiaru od powierzchni cięcia, mm	Twardość HV0,1 po cięciu strumieniem tlenu			Twardość HV0,1 po cięciu plazmą powietrzną			Twardość HV0,1 po cięciu wiązką laserową			Twardość HV0,1 po cięciu strumieniem wody		
	Linia pomiaru wg rysunku 6											
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
0,1	296	301	287	366	366	376	404	362	386	311	303	307
0,2	284	271	273	346	365	344	306	372	331	297	296	299
0,3	261	264	253	308	310	323	285	339	295	289	287	287
0,4	267	248	270	299	290	303	285	285	284	286	285	287
0,5	257	250	261	309	295	291	278	281	281	284	285	285
0,6	260	243	258	284	285	285	274	274	276	282	284	285
0,7	235	276	253	280	280	279	-	-	-	-	-	-
0,8	272	281	270	276	273	273	-	-	-	-	-	-
0,9	289	312	296	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,0	294	293	284	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1	278	290	291	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2	279	283	280	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,3	280	280	279	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,4	284	276	275	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,5	283	273	275	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablica VI. Twardość HV0,1 po cięciu blachy S 690QL

Table VI. HV0,1 hardness after cutting S 690QL steel plate

Odległość pomiaru od powierzchni cięcia, mm	Twardość HV0,1 po cięciu strumieniem tlenu			Twardość HV0,1 po cięciu plazmą powietrzną			Twardość HV0,1 po cięciu wiązką laserową			Twardość HV0,1 po cięciu strumieniem wody		
	Linia pomiaru wg rysunku 6											
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
0,1	292	287	273	426	404	395	458	466	466	299	311	306
0,2	298	267	272	391	462	425	426	445	443	283	299	298
0,3	283	258	263	425	467	437	333	321	269	285	286	286
0,4	227	238	255	399	409	399	285	283	280	285	285	285
0,5	233	229	242	348	290	303	279	280	278	286	285	284
0,6	208	225	240	292	285	285	276	275	274	284	284	283
0,7	216	214	247	285	280	281	-	-	-	-	-	-
0,8	201	200	238	279	275	276	-	-	-	-	-	-
0,9	185	202	223	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,0	216	220	216	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1	228	222	241	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2	267	244	251	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,3	274	275	258	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,4	278	280	274	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,5	284	285	280	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Analiza wyników badań

Ocena jakości powierzchni i wymiarów szczeliny cięcia

Norma ISO 9013:2002 przy ocenie powierzchni po cięciu termicznym bierze pod uwagę chropowatość powierzchni oraz tolerancję prostopadłości powierzchni cięcia. Pozostałe parametry geometryczne (wielkość szczeliny cięcia, kąt ukosu, średnica otworu przebicia) traktowane są pomocniczo. Ze względu na brak normy dotyczącej jakości powierzchni ciętych strumieniem wody, jakość tych powierzchni oceniono wg normy ISO 9013:2002.

Wykonana ocena jakości powierzchni po cięciu stali S 700MC pozwoliła stwierdzić, że jakość powierzchni ciętych laserem zawiera się w obszarze (polu) 1-1, plazmą HD 4-1, strumieniem tlenu 3-1, natomiast przy cięciu strumieniem wody w 2-2. Dla stali S 690QL otrzymano pola odpowiednio: 1-2, 3-1, 3-2, 2-2. Analiza chropowatości powierzchni obu stali wykazała, że jest ona zależna od procesu cięcia i materiału ciętego. Najniższe wartości chropowatości (10 µm) otrzymano podczas cięcia plazmą powietrzną HD. W przypadku pozostałych procesów wartość ta wynosiła 15÷20 µm.

Maksymalne wartości odchyłki uzyskano podczas cięcia plazmą powietrzną HD i wynosiła ona dla stali S 690QL ok. 0,5 mm, a dla S 700MC – 0,82 mm. Minimalną wartość uzyskano przy cięciu wiązką laserową (ok. 0,1 mm). Przy cięciu strumieniem wody i strumieniem tlenu uzyskano odpowiednio wartości w przedziale 0,22÷0,25 mm oraz 0,30÷0,45 mm.

Największą szczelinę cięcia uzyskano przy zastosowaniu plazmy powietrznej HD i strumienia tlenu. Szczelina kształtem zbliżona jest do V. Szerokość górnej części szczeliny cięcia plazmą powietrzną HD wynosi ok. 2 mm, natomiast po cięciu strumieniem tlenu – ok. 1,7 mm. Dla porównania wielkość szczeliny powstałej w wyniku procesu cięcia wiązką laserową wynosi tylko ok. 0,5 mm, a dla cięcia strumieniem wody od 0,85 mm (stal S 700MC) do ok. 1,2 mm (stal S 690QL). Powierzchnie szczeliny w cięciu laserem są prawie równoległe – różnica pomiędzy górną i dolną częścią

szczeliny dla stali S 690QL wynosi 0,07 mm, a dla stali S 700MC – 0,03 mm. Różnica ta jest nieco większa w przypadku stali ciętych strumieniem wody (S 690QL – 0,38 mm; S 700MC – 0,07 mm).

Zmiany strukturalne przy powierzchni cięcia

Przeprowadzone badania metalograficzne makro- i mikroskopowe oraz pomiary twardości powierzchni ciętych pozwoliły określić szerokość SWC i określić charakter zmian struktury przy powierzchni cięcia. Podczas cięcia wiązką laserową stali S 690QL przy powierzchni cięcia powstaje warstwa martenzytu niskowęglowego o twardości do 460 HV0,1. Szerokość tej warstwy wynosi ok. 0,3 mm. Podczas cięcia blachy ze stali S 700MC powstała warstwa bainityczna o twardości niższej niż w przypadku stali S 690QL, która wynosi ok. 360÷405 HV0,1. Za tą warstwą o szerokości ok. 0,6 mm obserwowano drobnoziarnistą strukturę bainityczno-ferrytyczną (materiał rodzimy) o twardości 280 HV0,1.

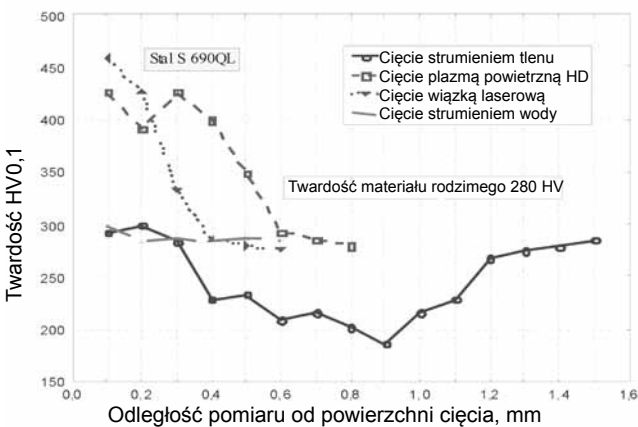
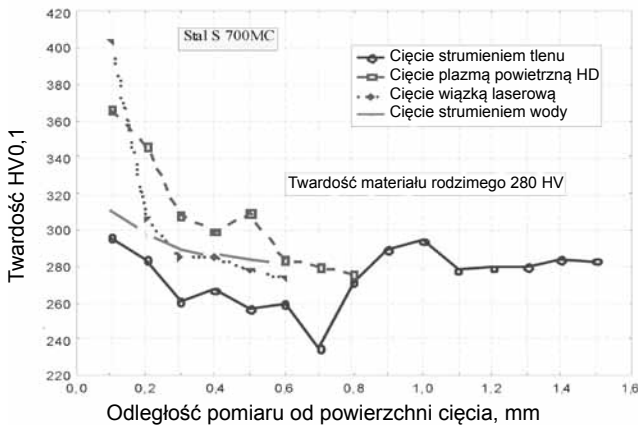
Podczas cięcia stali S 690QL plazmą HD przy powierzchni cięcia powstaje warstwa martenzytu niskowęglowego o twardości do 467 HV0,1 podobnie jak w przypadku procesu cięcia wiązką lasera, jednak szerokość tej warstwy jest znacznie większa (ok. 0,6 mm). Analogicznie jest w przypadku cięcia stali S 700MC, z tym że twardość warstwy bainitycznej wynosi 360÷375 HV0,1. Proces cięcia strumieniem tlenu stali S 690QL spowodował obniżenie twardości strefy wpływu ciepła nawet do 185 HV0,1 (proces odpuszczania) przy wielkości tej strefy ok. 1,3 mm. Podobnie stało się w przypadku cięcia stali S 700MC, gdzie minimalna twardość SWC wyniosła ok. 235 HV0,1 (częściowa rekrytalizacja ziarna), podczas gdy wielkość tej strefy wyniosła również ok. 1,2 mm. Proces cięcia strumieniem wody nie spowodował zmian strukturalnych ciętych blach, jedynie wpłynął na zwiększenie twardości materiałów bezpośrednio przy powierzchni cięcia o ok. 30 HV0,1 w wyniku utwardzenia zgniotowego. Wpływ procesów cięcia na zmiany strukturalne przy powierzchni ciętej zawarto w tablicy VII.

Tablica VII. Struktura materiału po procesie cięcia strumieniem tlenu, plazmą powietrzną HD, wiązką laserową oraz strumieniem wody
Table VII. Material structures after oxygen, HTPAC plasma, laser and water cutting

Rodzaj materiału ciętego	Materiał rodzimy	Struktura materiału przy powierzchni cięcia		
		górną blachy	środek blachy	dół blachy
cięcie strumieniem tlenu				
S 700MC	feryt + bainit drobnoziarnisty	feryt + bainit	feryt + bainit	feryt + bainit
S 690QL	martenzyt odpuszczony	martenzyt niskowęglowy	martenzyt niskowęglowy	martenzyt niskowęglowy
cięcie plazmą powietrzną HD				
S 700MC	feryt + bainit drobnoziarnisty	bainit drobnoziarnisty	bainit drobnoziarnisty	bainit drobnoziarnisty
S 690QL	martenzyt odpuszczony	martenzyt niskowęglowy	martenzyt niskowęglowy	martenzyt niskowęglowy
cięcie wiązką laserową				
S 700MC	feryt + bainit drobnoziarnisty	bainit drobnoziarnisty	bainit drobnoziarnisty	bainit drobnoziarnisty
S 690QL	martenzyt odpuszczony	martenzyt niskowęglowy	martenzyt niskowęglowy	martenzyt niskowęglowy
cięcie strumieniem wody				
S 700MC	feryt + bainit drobnoziarnisty	feryt + bainit drobnoziarnisty	feryt + bainit drobnoziarnisty	feryt + bainit drobnoziarnisty
S 690QL	martenzyt odpuszczony	martenzyt odpuszczony	martenzyt odpuszczony	martenzyt odpuszczony

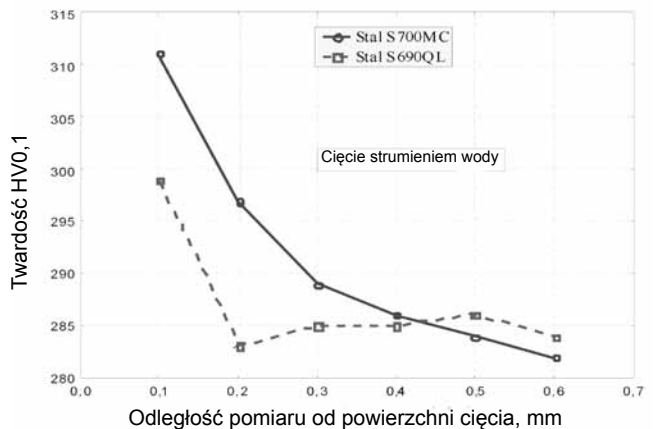
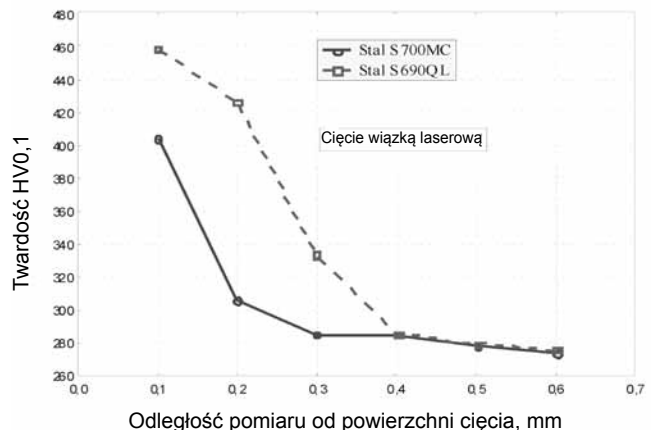
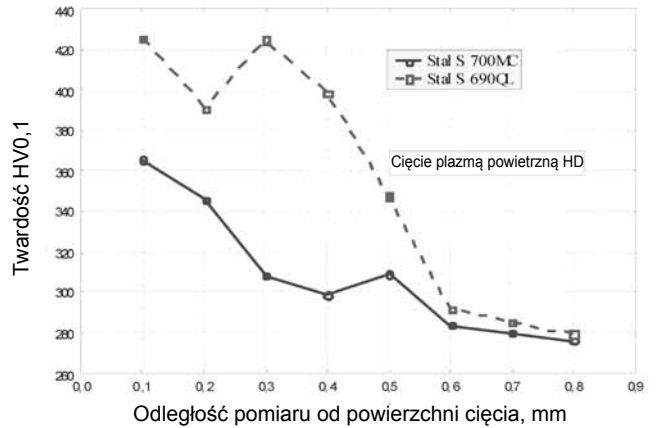
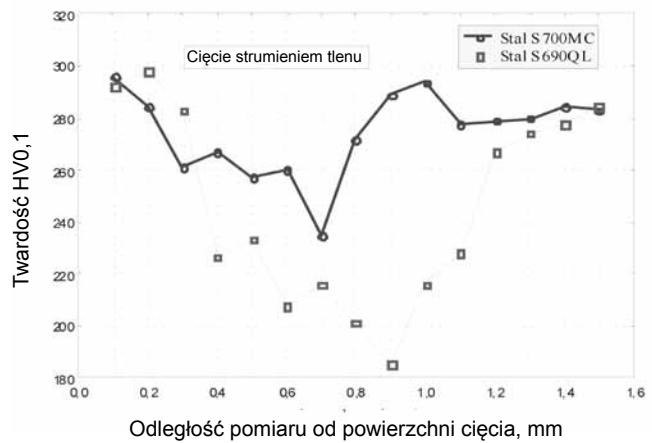
Wpływ procesu cięcia na zmianę twardości przy powierzchni ciętej dla poszczególnych stali przedstawiono na rysunku 7, natomiast na rysunku 8 pokazano porównanie rozkładu twardości w stali S 700MC oraz S 690QL w zależności od poszczególnych metod cięcia.

Przy ocenie jakości powierzchni po cięciu należy uwzględnić również kąt ukosu, sposób przebijania blachy oraz szerokość szczeliny cięcia przy górnej i dolnej powierzchni blachy. Biorąc pod uwagę właściwości eksploatacyjne elementów po cięciu, należy zwrócić też uwagę na wpływ procesów cięcia na możliwe zmiany strukturalne i chemiczne spowodowane oddziaływaniem ciepła, zwłaszcza w przypadku stali obrabianych termomechanicznie, gdzie w wyniku oddziaływania cyklu cieplnego może dojść do utraty właściwości uzyskanych w czasie obróbki cieplno-plastycznej, a w przypadku stali ulepszanych cieplnie do utwardzenia warstwy przypowierzchniowej. Szczególnie proces cięcia wiązką laserową i strumieniem plazmy powietrznej powoduje wzrost twardości w warstwie przypowierzchniowej do wartości ok. 460 HV. Proces cięcia strumieniem tlenu w obszarach strefy wpływu ciepła powoduje odpuszczenie martenzytu w przypadku stali ulepszanych cieplnie S 690QL, a w przypadku stali obrabianej termomechanicznie S 700MC prowadzi do częściowej rekryształizacji i rozrostu ziarna. Proces cięcia strumieniem wody ze względu na swoją specyfikę nie powoduje zmian strukturalnych i chemicznych w obszarze ciętym.



Rys. 7. Wpływ procesu cięcia na zmiany twardości w stali S 700MC i S 690QL

Fig 7. Influence of cutting process on S 700MC and S 690QL steel hardness changes



Rys. 8. Porównanie rozkładu twardości przy powierzchni cięcia w stali S 700MC i S 690QL dla poszczególnych procesów cięcia

Fig 8. Comparison of hardness distribution near the cutting surface of S 700MC and S 690QL steel for different cutting processes

Literatura

- [1] Park K. S., Cho Y. H.: Comparison of fatigue properties of welded TMCP steels and normalized steel, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea 2003.
- [2] Tasak E.: Metalurgia spawania, Patria Kraków 2008.
- [3] Brózda J.: Nowoczesne stale konstrukcyjne i ich spawalność, Wydawnictwo Instytutu Spawalnictwa, Gliwice 2009.
- [4] TMCP steel plates for building structures. Nippon Steel Corporation.
- [5] Skiba J.: Techniczne i ekonomiczne aspekty cięcia plazmowego. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, nr 5/2002 s. 77-80.
- [6] Kirkpatrick I.: Profile cutting – which metod? Welding & Metal Fabrication, October.
- [7] Cool waterjet process heats up cutting market. Welding Design and Fabrication, November 2000, s. 31-33.
- [8] Hidden S., Buhler B.: The Great Debate: Plasma or Oxyfuel? Welding Journal, March 2005, s. 40-44.
- [9] Lamikiz A., Lopez de Lacalle: CO₂ laser cutting of advanced high strength steels (AHSS). Applied Surface Science, 2004 August, s. 362-367.
- [10] Burnham Chip: Waterjet advancements boost productivity. Welding Design and Metal Fabrication, June 2002, s. 24-27.

Finansowanie

Praca częściowo finansowana z grantu badawczego: „Sterowanie właściwościami i strukturą spoin stali obrabianych termomechanicznie o wysokiej granicy plastyczności”, nr N N507 321040, Politechnika Śląska w Gliwicach.

Dolnośląska Sekcja Spawalnicza SIMP
Zakład Spawalnictwa Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji
i Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej

zapraszają do udziału
w 4. Międzynarodowej Konferencji Naukowo - Technicznej
pod hasłem „POSTĘP W TECHNOLOGIACH LUTOWANIA”
WROCLAW 2013

Wrocław, 23-25 września 2013 (poniedziałek - środa)
aula A1, bud. B-4 PWr, ul. Łukasiewicza 5



Wszystkich zainteresowanych udziałem w Konferencji prosimy o kontakt
z Zakładem Spawalnictwa ITMiA Politechniki Wrocławskiej

Prof. dr hab. inż. dr h.c. Władysław Włosiński - Przewodniczący Komitetu Naukowego
IV Wydział Nauk Technicznych PAN Warszawa

Prof. dr hab. inż. Andrzej Ambroziak - Sekretarz Komitetu Naukowego
tel. (071) 3202148, e-mail: andrzej.ambroziak@pwr.wroc.pl

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Mirski - Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego
tel. (071) 3202142, e-mail: zbigniew.mirski@pwr.wroc.pl

Mgr inż. Anna Woźna - Sekretarz Komitetu Organizacyjnego
tel. (071) 3202074, e-mail: anna.wozna@pwr.wroc.pl

Dr inż. Tomasz Piwowarczyk - Sekretarz Komitetu Organizacyjnego
tel. (071) 3204255, e-mail: tomasz.piwowarczyk@pwr.wroc.pl

Korespondencję prosimy kierować na adres:
Komitet Organizacyjny 4. Międzynarodowej Konferencji Naukowo - Technicznej
„Postęp w technologiach lutowania”
Politechnika Wroclawska, Zakład Spawalnictwa ITMiA
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław