

# WPŁYW PROCESU CIĘCIA PLAZMOWEGO NA JAKOŚĆ POWIERZCHNI CIĘCIA STALI KONSTRUKCYJNEJ

Anatol Kałasznikow<sup>1</sup>, Sławomir Kłos<sup>2</sup>, Marek Stanisław Węglowski<sup>3</sup>

<sup>1</sup> AK ANATOL, Żary

<sup>2</sup> Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Zielona Góra

<sup>3</sup> Łukasiewicz – Instytut Spawalnictwa, Gliwice

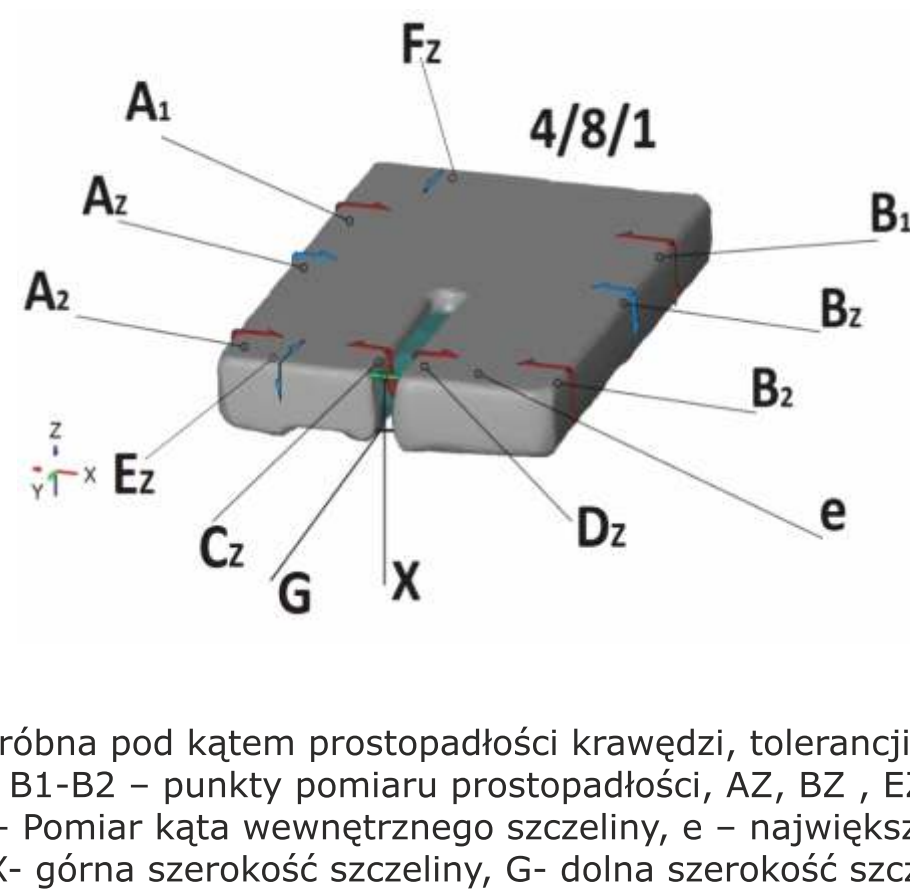
## Wprowadzenie

Technologie cięcia są powszechnie stosowane do wycinania różnego rodzaju elementów z arkuszy blach, zarówno „na gotowo”, jak i przeznaczonych do dalszej obróbki, a także do cięcia kształtowników oraz do wykonywania otworów. Geometria wycinanych elementów jest najczęściej złożona. Zakres stosowania technologii cięcia obejmuje również przygotowanie brzegów elementów przed spawaniem (ukosowanie), wykonywane w celu uzyskania odpowiedniej geometrii rowka spawalniczego. Z punktu widzenia praktycznego zastosowania danej metody cięcia istotne jest jednak zweryfikowanie jej przydatności do konkretnego zadania pod kątem spełnienia określonych wymagań. Jednym z bardziej rozpowszechnionych procesów cięcia jest cięcie plazmowe, zwłaszcza w mikro i małych przedsiębiorstwach, ze względu na jego wysoką wydajność zarówno w przypadku różnych gatunków stali, jak i metali nieżelaznych. Ponadto, jakość ciętych krawędzi przy zastosowaniu najnowszych urządzeń do cięcia plazmowego można porównać do jakości technologii cięcia laserowego.

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu wybranych parametrów cięcia plazmowego (prędkości cięcia, natężenie prądu) na jakość powierzchni tj.: tolerancję prostokątności, tolerancję wymiarową, chropowatość ciętych krawędzi oraz wpływ oddziałującego ciepła na twardość powierzchni po cięciu.

## Metodyka badań

Badania eksperymentalne przeprowadzono na płytach próbnych o grubości 8 mm ze stali w gatunku S235JR. Proces cięcia plazmowego przeprowadzono w firmie AK ANATOL z siedzibą w Żarach na przecinarce plazmowej WPA 6000 Kompakt ze źródłem plazmy CUT 133 WDM. Zgodnie z normą PN EN ISO 9013:2017 w celu określenia jakości, wykonano badania prostokątności ciętych krawędzi, tolerancji wymiarowej, szerokości szczeliny oraz wielkości wypływek ciekłego metalu w dolnej krawędzi próbek (rys. 1). Badania płyt próbnych wykonano w Regionalnym Centrum Badań i Rozwoju Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Wałcu, przy użyciu skanera firmy GOM Optical Measuring Technoloques ATOS ZM. Pomiary chropowatości wykonano na stacjonarnym przyrządzie HOMMEL ETAMIC T8000, natomiast do pomiarów twardości użyto twardościomierza Zwick ZHV10. Na rysunku 1 przedstawiono płytę próbną w układzie przestrzennym z zaznaczonymi miejscami wykonywania pomiarów. Płyty próbne wycinano przy zastosowaniu następujących parametrów technologicznych: natężenie prądu 80 i 130 A, ciśnienie gazu 5,8 i 6,4 bar, napięcie łuku 146 V, odległość palnika podczas cięcia 3 mm, prędkości cięcia od 1610 – 4320 mm/min.



Rysunek 1. Zwymiarowana płyta próbna pod kątem prostokątności krawędzi, tolerancji wymiarowej, szerokości ciętego rowka oraz wielkości wypływek. A1-A2, B1-B2 – punkty pomiaru prostokątności, AZ, BZ, EZ, FZ – średnia wszystkich wymiarów kąta zewnętrznego, Cz i Dz – Pomiar kąta wewnętrznego szczeliny, e – największa wysokość przyklejonego żużla, X – górna szerokość szczeliny, G – dolna szerokość szczeliny

## Wyniki badań i dyskusja

Przeprowadzone badania wykazały, że prędkość cięcia 2990 mm/min (przy natężeniu prądu 80 A) jest za wysoka dla grubości materiału 8 mm. Największe skosy krawędzi zewnętrznych i wewnętrznych 92,47° oraz największą różnicę szerokości ciętego rowka 1,55 mm uzyskano dla płyty próbnej wycinanej z prędkością 4320 mm/min, natomiast najmniejsze odchyłki uzyskano w płytach próbnych wycinanych z prędkością od 1610 mm/min do 2070 mm/min od 91,17° do 91,24°. Największe wypływyki wystąpiły w płycie próbnej wycinanej z najmniejszą prędkością cięcia i wyniosły średnio 2,39 mm, a najmniejsze wycinane z prędkością 3600 mm/min i wynoszą średnio 0,93 mm. Najmniejsze odchylenie od prostokątności oraz zakres tolerancji wymiarowej uzyskano dla płyty próbnej wycinanej z prędkością 2520 mm/min. Natomiast największe odchylenie prostokątności oraz tolerancję wymiarową uzyskano dla płyty próbnej wycinanej z prędkością 4320 mm/min. Przy zwiększeniu natężenia prądu do 130 A, najmniejsze skosy uzyskano dla płyty próbnej wycinanej z najmniejszą prędkością (2520 mm/min) – średnio 90,47°. Największe skosy uzyskano dla płyt próbnych wycinanych z prędkościami 3960 i 4320 mm/min – średnio 93,18°. Różnice pomiędzy górnym a dolnym wymiarem szczeliny uwidoczniono na płytach próbnych wycinanych z prędkościami 3240 i 3960 mm/min – średnio 1,64 mm. Największą średnią wypływkę zmierzono w płycie próbnej wycinanej z najniższą prędkością (2520 mm/min), a najmniejszą przy prędkości 3630 mm/min. Prędkość 4290 mm/min przy natężeniu 130 A uniemożliwia przecięcie materiału o grubości 8 mm. Najmniejsze odchylenie od prostokątności ciętych krawędzi uzyskano dla płyty próbnej wycinanej z prędkością 3600 mm/min, natomiast największą tolerancję wymiarową uzyskano dla płyty próbnej wycinanej z prędkością 2520 mm/min. Dla płyty próbnej wycinanej z prędkością 3240 mm/min odchylenie prostokątności znajduje się poza klasą, natomiast płyty próbne wycinane z prędkościami 3240 i 4320 mm/min są poza klasą tolerancji wymiarowej. W tabelach 1 i 2 przedstawiono klasy tolerancji wymiarowych dla płyt próbnych wycinanych przy natężeniu prądu 80 i 130 A.

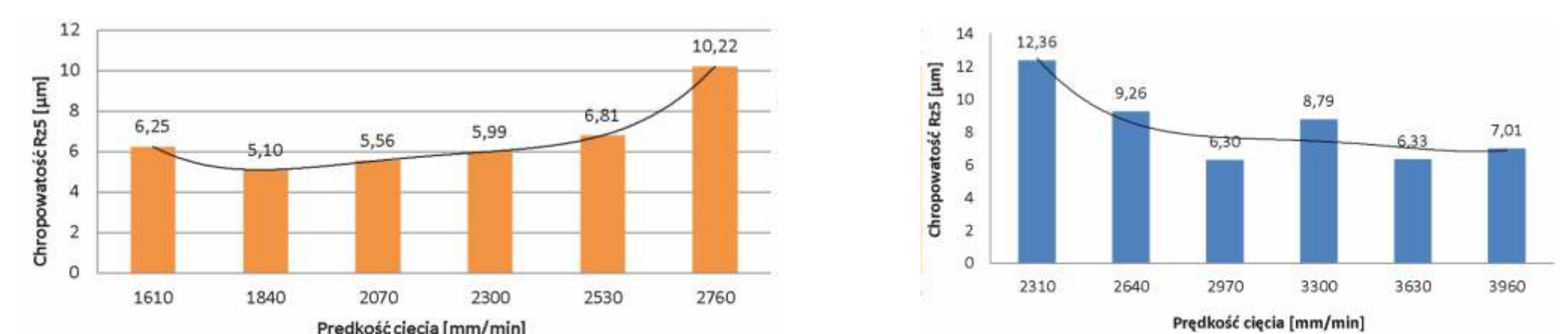
Prędkość cięcia	Odchyłka kąta Az w mm	Odchyłka kąta Bz w mm	Suma odchyłek Az i Bz w mm	Średnia z zakresu tolerancji wymiarowej dla Az-Bz wg normy PN EN ISO 9013:2017	Odchyłka kąta Ez w mm	Odchyłka kąta Fz w mm	Suma odchyłek Ez i Fz w mm	Średnia z zakresu tolerancji wymiarowej dla Ez-Fz wg normy PN EN ISO 9013:2017	Zakres dla krawędzi zewnętrznych Az-Bz, Ez-Fz	Średnia dla krawędzi zewnętrznych Az-Bz, Ez-Fz	Zakres dla średniej z każdej prędkości Az-Fz
2520	-0,33	0,13	-0,20	KT1	0,05	0,09	0,14	KT1	KT1	KT2	KT2
2880	-0,38	0,00	-0,40	KT2	0,16	0,17	0,33	KT1	KT2	KT2	KT2
3240	-0,46	-0,18	-0,64	KT2	0,25	0,21	0,46	KT1	KT2	KT2	KT2
3600	-0,3	-0,19	-0,49	KT2	0,39	0,20	0,59	KT2	KT2	KT2	KT2
3960	-0,48	-0,13	-0,61	KT2	0,31	0,54	0,85	KT2	KT2	KT2	KT2
4320	-0,39	-0,10	-0,49	KT2	0,42	0,60	1,02	KT2	KT2	KT2	KT2

Tabela 1. Klasa tolerancji wymiarowych z podziałem na klasy, dla blachy o gr. 8 mm ciętej przy natężeniu prądu 80 A

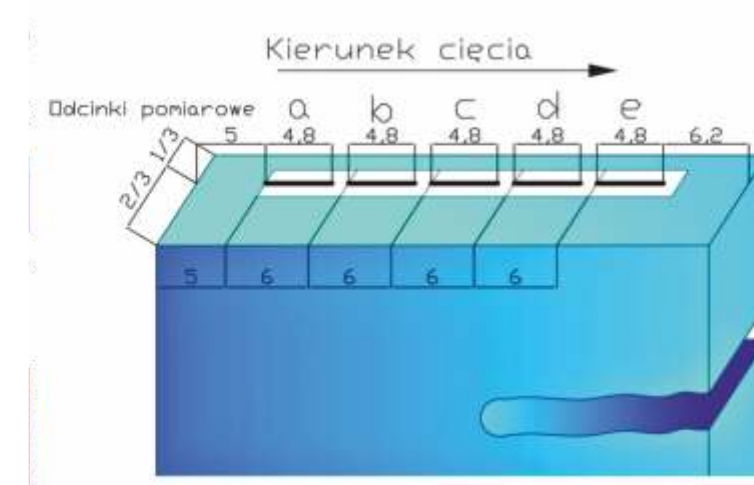
Prędkość cięcia	Odchyłka kąta Az w mm	Odchyłka kąta Bz w mm	Suma odchyłek Az i Bz w mm	Średnia z zakresu tolerancji wymiarowej dla Az-Bz wg normy DIN EN ISO 9013:2017	Odchyłka kąta Ez w mm	Odchyłka kąta Fz w mm	Suma odchyłek Ez i Fz w mm	Średnia z zakresu tolerancji wymiarowej dla Ez-Fz wg normy DIN EN ISO 9013:2017	Zakres dla krawędzi zewnętrznych Az-Bz, Ez-Fz	Średnia dla krawędzi zewnętrznych Az-Bz, Ez-Fz	Zakres dla średniej z każdej prędkości Az-Fz
2520	-0,64	0,55	-0,09	KT1	0,71	0,11	0,82	KT2	KT1	KT2	KT2
2880	-0,61	0,45	-0,16	KT2	-0,26	0,31	0,05	KT1	KT2	KT2	KT2
3240	-0,23	0,39	0,16	KT1	-0,07	0,44	0,37	KT1	KT1	KT2	KT2
3600	-0,32	0,67	0,35	KT1	-0,09	0,47	0,38	KT1	KT1	KT2	KT2
3960	0,21	-0,18	0,03	KT1	0,29	0,54	0,83	KT2	KT2	KT2	KT2
4320	-0,1	0,18	0,17	KT1	0,47	0,39	0,86	KT2	KT2	KT2	KT2

Tabela 2. Klasa tolerancji wymiarowych z podziałem na klasy, dla blachy o gr. 8 mm ciętej przy natężeniu prądu 130 A

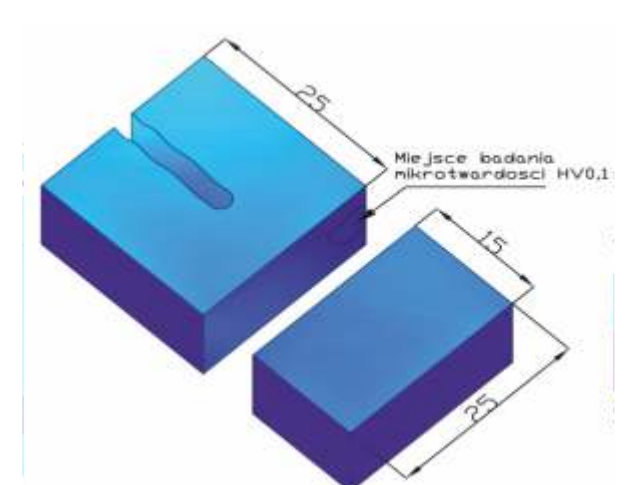
Istotnym parametrem z punktu widzenia poprawności prowadzenia procesu cięcia jest wysokość profilu Rz5, która świadczy o chropowatości powierzchni cięcia. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 2. Pomiary wykonano na płytach próbnych w 5 punktach (rys. 3). Na podstawie wyników można stwierdzić, że największą chropowatość osiągnięto dla elementu ciętego przy dużej prędkości cięcia (2760 mm/min), a najniższą dla elementu wycinanego przy prędkości cięcia 1840 mm/min dla natężenia prądu 80A. Przy stosowaniu wyższego natężenia prądu (130 A), zaobserwowano, iż najwyższą chropowatość uzyskano dla prędkości cięcia 2310 mm/min, a najniższą dla prędkości cięcia 2970 mm/min.



Rysunek 2. Wpływ prędkości cięcia na chropowatość (parametr Rz5), grubość płyty 8 mm, natężenie prądu 80 A

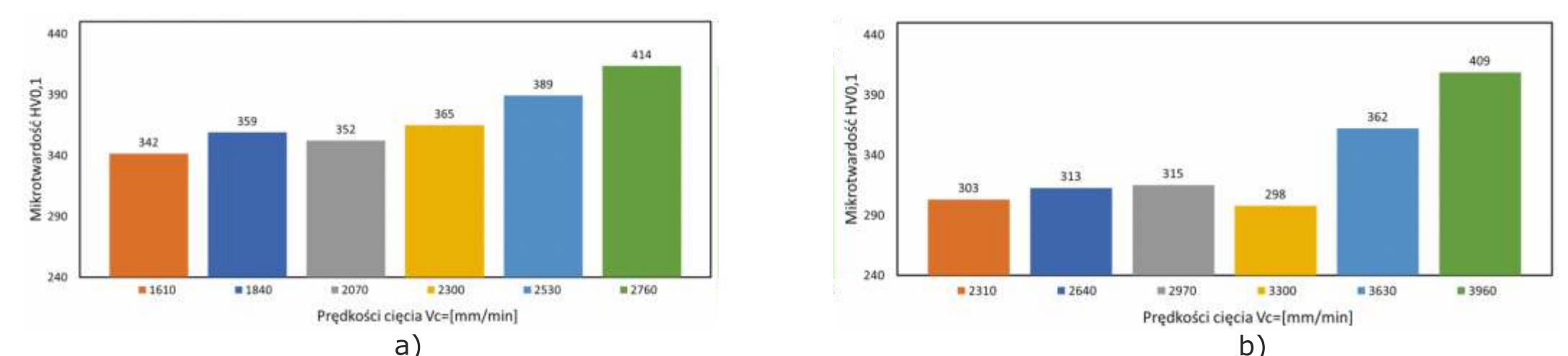


Rysunek 3. Miejsca wykonywania pomiarów chropowatości



Rysunek 4. Miejsca wykonywania pomiarów mikrotwardości HV0,1

Analizując wyniki mikrotwardości (rys. 4, 5) ciętych płyt próbnych o grubości 8 mm przy natężeniu prądu 80 A i 130 A można stwierdzić, że ze wzrostem prędkości cięcia zwiększa się mikrotwardość materiału. Najniższa średnia wartość występuje dla płyty próbnej wycinanej przy natężeniu prądu 80 A z prędkością 1610 mm/min - 342 HV0,1, natomiast przy zastosowaniu natężenia prądu 130 A dla prędkości 2310 mm/min - 303 HV0,1. Największą średnią twardość 414 HV0,1 zmierzono na płycie wycinanej (przy natężeniu 80 A) z prędkością 2760 mm/min. Jest to prędkość bliska krytycznej, umożliwiającą wykonanie procesu cięcia. Zastosowanie prędkości cięcia 3960 mm/min przy natężeniu prądu 130 A powoduje wzrost twardości do średniej wartości 409 HV0,1. W dwóch przypadkach największe twardości przekraczają dopuszczalną wartość 380 HV zgodnie z normą PN-EN ISO 1090-2. Zakres prędkości dla dopuszczalnej twardości płyt o gr. 8 mm ciętych przy natężeniu prądu 80 A wynosi od 1610 do 2300 mm/min i jest to zakres „bezpieczny”. Bezpieczny, ponieważ żadna wartość zmierzona nie przekroczyła 380 HV. Zakres prędkości dla płyt o gr. 8 mm ciętych przy natężeniu prądu 130 A wynosi od 2310 mm/min do 3630 mm/min i również w tym zakresie prędkości żaden z pomiarów nie przekroczył maksymalnej dopuszczalnej twardości 380 HV.



Rysunek 5. Maksymalna średnia mikrotwardość dla poszczególnych prędkości cięcia płyt próbnych o grubości 8 mm ciętych przy natężeniu prądu: a) 80 A, b) 130 A

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- wzrost prędkości cięcia przy stałej grubości blachy i stałym natężeniu prądu powoduje spadek jakości cięcia, poprzez zwiększenie odchyłki od prostokątności ciętych krawędzi,
- prędkość cięcia ma znaczący wpływ na powstawanie wypływek roztopionego metalu. Im jest większa, tym powstające wypływyki są mniejsze,
- wzrost prędkości cięcia przy stałej grubości blachy i natężeniu prądu 80A powoduje wzrost chropowatości powierzchni, natomiast dla natężenia prądu 130A powoduje obniżenie chropowatości,
- wzrost prędkości cięcia przy stałej grubości blachy i stałym natężeniu prądu powoduje wzrost twardości powierzchni po cięciu.



Anatol Kałasznikow Dr inż.  
AK ANATOL  
ul. Handlowa 4  
68-200 Żary  
anatol@zsanatol.com.pl



75 OD 1945  
INSTYTUT  
SPAWALNICTWA

**62.**

**MIĘDZYNARODOWA  
KONFERENCJA  
SPAWALNICZA**

Nowoczesne spawalnictwo  
- nowoczesna przyszłość



INTERNATIONAL CONGRESS

Konferencja towarzyszy  
Kongres Międzynarodowego  
Instytutu Spawalnictwa (IIW)

