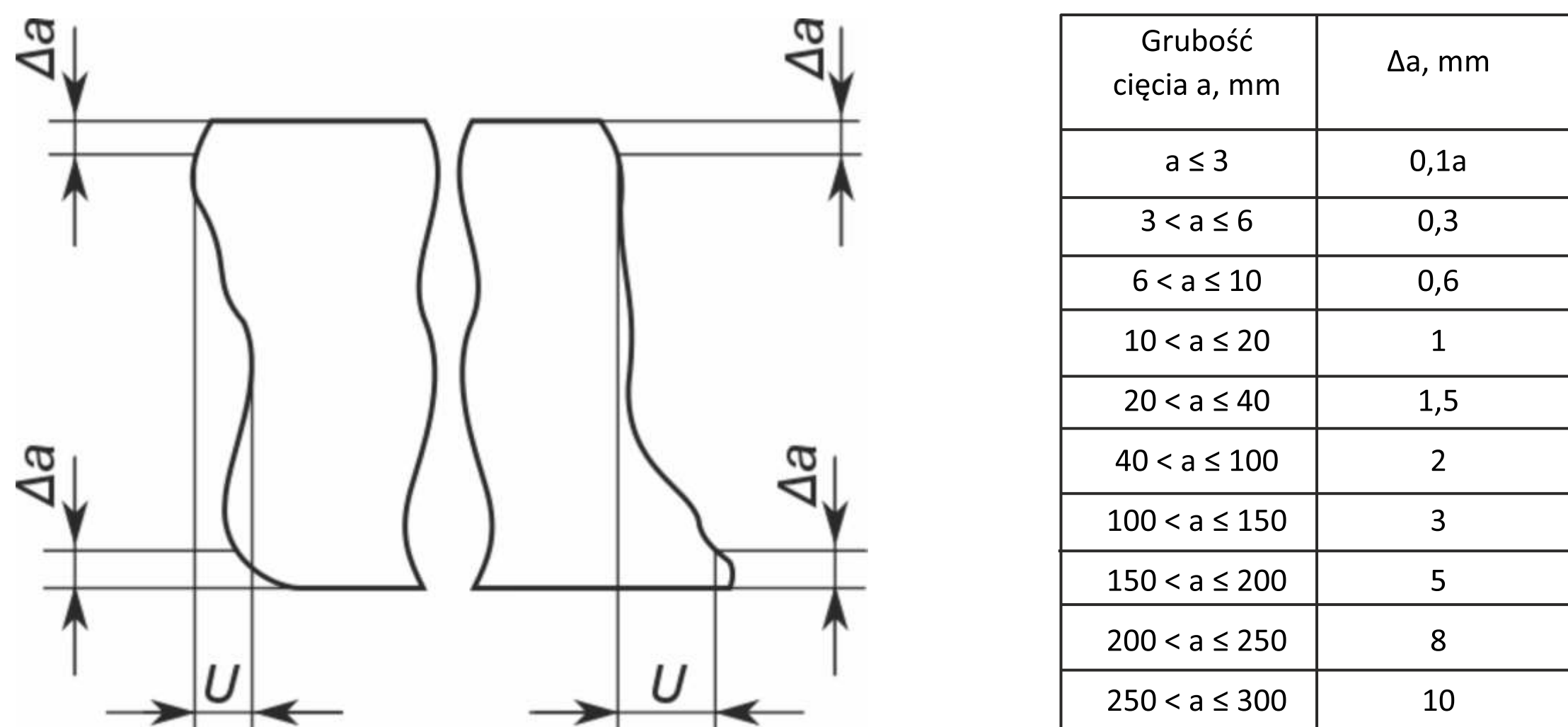


Norma PN-EN 1090-2 „Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych – Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych” wskazuje, iż cięcie należy wykonywać w sposób zgodny z wymaganiami Norm Europejskich dotyczących tolerancji geometrycznych, maksymalnej twardości i gładkości brzegów. W przypadku cięcia termicznego, okresowo powinno się odbywać sprawdzenie przydatności cięcia. Sprawdzenie to polega na pobraniu z wyrobu konstrukcyjnego czterech próbek, które poddaje się procesowi cięcia prostego części o największej i najmniejszej grubości oraz wycięcia ostrego naroża i łuku w części o grubości reprezentatywnej. Jakość powierzchni po cięciu termicznym, określona zgodnie z PN-EN ISO 9013, powinna spełniać wymagania uzależnione od klasy wykonania. Zakresy dla tolerancji prostokątności lub nachylenia i średniej wysokości profilu wg PN-EN ISO 9013 pokazano w tabeli 1, a sposób pomiaru na rys. 1.

Klasa wykonania wg PN-EN 1090-2	Tolerancja prostokątności lub nachylenia u, mm	Średnia wysokość profilu chropowatości Rz5, um
EXC4	Zakres 3: 0,4 + 0,01a	Zakres 5: 1,2 + 0,035a
EXC3	Zakres 4: 0,8 + 0,02a	Zakres 4: 110 + (1,8a, mm)
EXC2	Zakres 4: 0,8 + 0,02a	Zakres 4: 110 + (1,8a, mm)
EXC1*	Zakres 5: 1,2 + 0,035a	-

* akceptowalne są brzozy po cięciu wolne od znacznych nieregularności pod warunkiem usunięcia wszystkich zanieczyszczeń; a - grubość cięcia

Tabela 1. Jakość powierzchni po cięciu termicznym



Rys. 1. Schemat sposobu pomiaru tolerancji prostokątności lub nachylenia U

Twardość, jeśli jest wymagana, przy powierzchni brzegów stali po cięciu nie może przekraczać wartości zawartej w tabeli 2:

Gatunek stali*	Norma wyrobu	HV _{max}
S235 - S460	EN 10025-2, EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10025-5, EN 10210-1, EN 10219-1	380 HV10
S260 - S700	EN 10025-6, EN 10142-9, EN 10149-3	450 HV10

* razem z odpowiednikami, zamieszczonymi w ISO/TR 20172

Tabela 2. Twardość stali w pobliżu powierzchni ciętych

Materiał do badań

Badanie przydatności cięcia gazowego sprawdzono dla stali S690QL i S960QL. Skład chemiczny i właściwości mechaniczne zestawiono w tabeli 3. Materiałem do badań były płaskowniki o grubości 11 mm (S690QL) i 10 mm (S960QL). Proces cięcia wykonywano z prędkością 4 m/min z użyciem płomienia podgrzewającego. Ciśnienie tlenu wynosiło 0,4 MPa, a acetylenu 0,025 MPa.

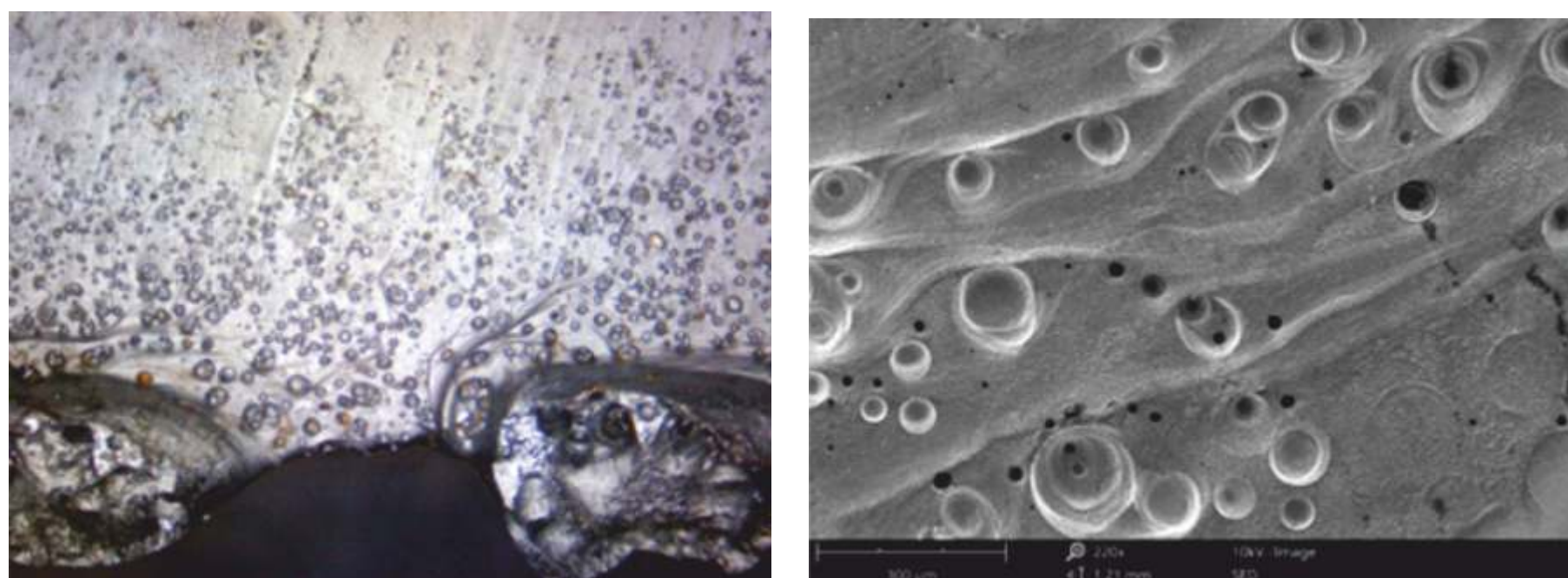
Stal	Maksymalna zawartość pierwiastków, % mas.														
	0,20	0,80	1,70	0,02	0,01	1,50	0,70	2,00	0,05	0,12	0,06	0,15	0,30	0,015	0,005
S690QL															
S960QL															

Stal	Minimalna granica plastyczności R _{eH} , MPa			Wytrzymałość na rozciąganie R _m , MPa		Minimalne wydłużenie A ₅ , %
	690	670	630	770+940	720+900	
S690QL						14
S960QL	960	-	-	980+1150	-	10

Tabela 3. Skład chemiczny i własności mechaniczne stali S690QL i S960QL wg PN-EN 10028-6

Wyniki badań

Rysunki 2 i 3a przedstawiają powierzchnię w stanie bezpośrednio po cięciu. Widoczna jest duża ilość porów oraz miejscowy nawis metalu. Ze względu na to, iż cięcie gazowe polega na wypalaniu szczeliny strumieniem tlenu, około 85% metalu spala się tworząc tlenki żelaza, a pozostała część przechodzi do żużla w stanie ciekłym. Część stopionego metalu oraz ciekły tlenek FeO zostają wyparte przez strumień tlenu do tyłu, osadzając się na powierzchni cięcia i czyniąc ją porowatą.

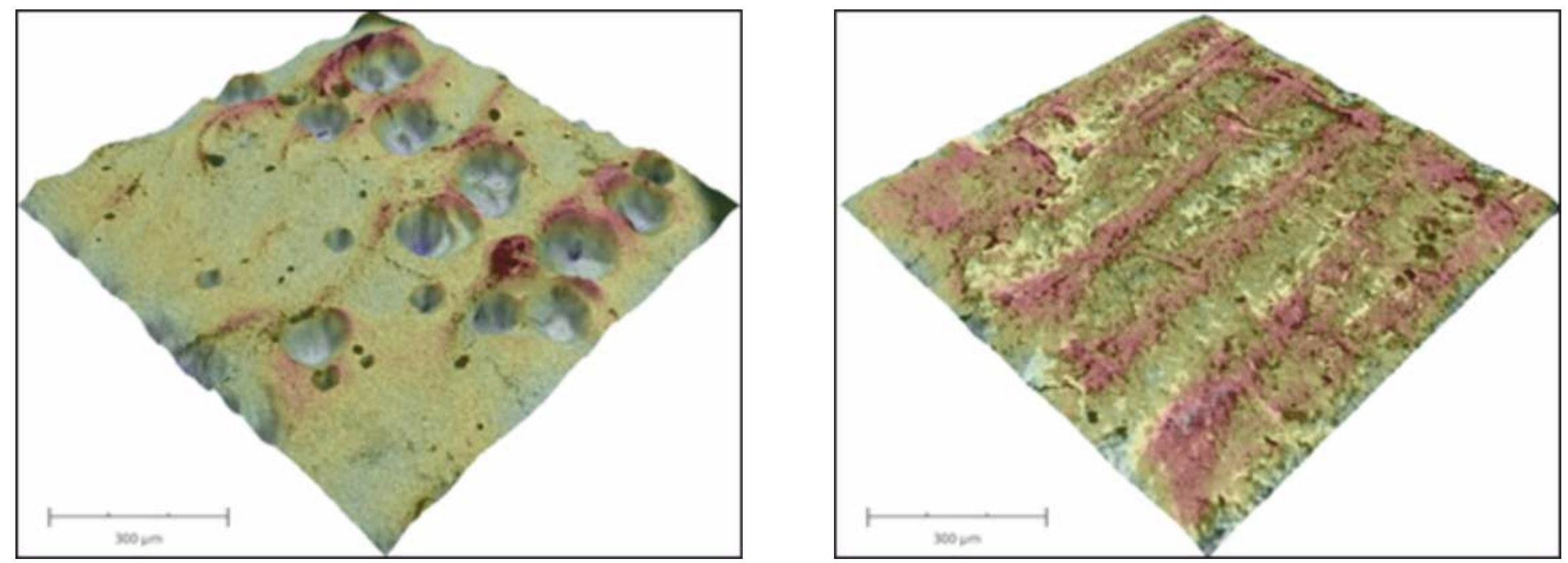


Rys. 2. Powierzchnia w stanie bezpośrednio po cięciu gazowym

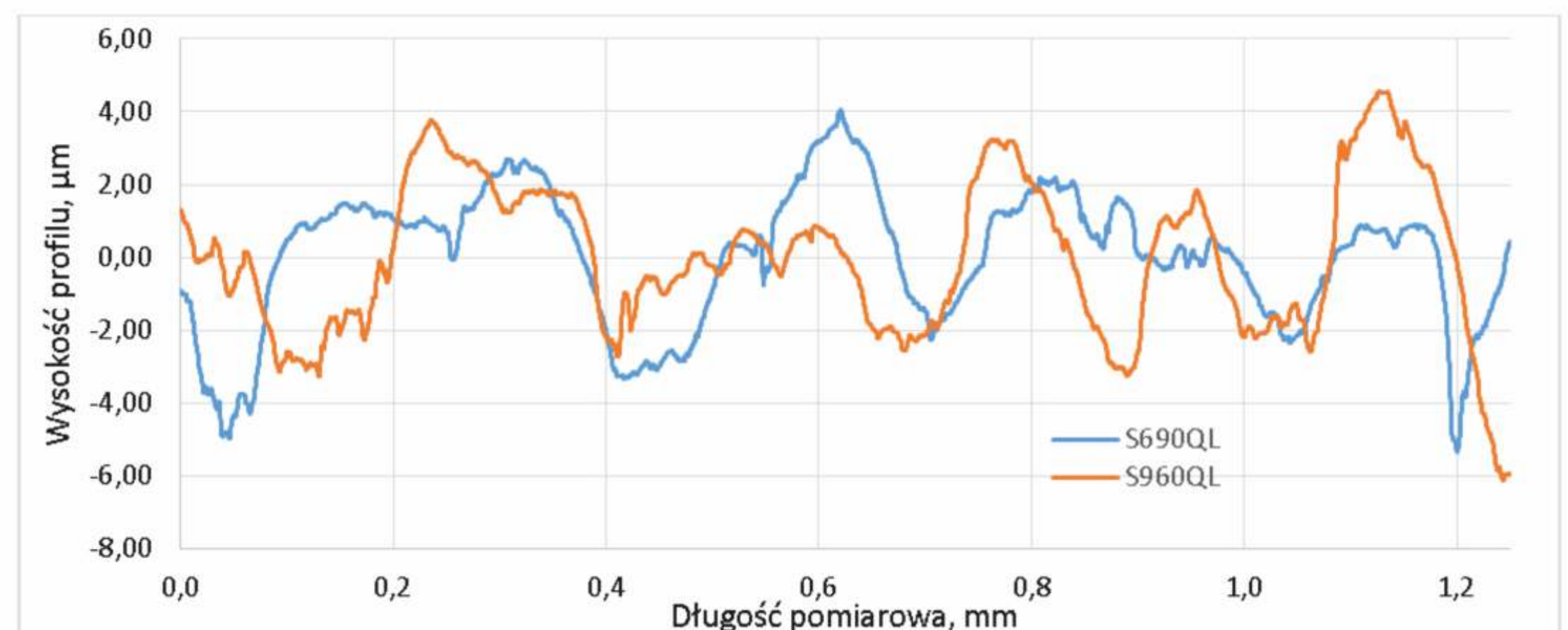
Możliwości oceny spełniania wymagań PN-EN 1090-2 w zakresie jakości powierzchni po cięciu termicznym

Autorzy:
mgr inż. Krzysztof Pańcikiewicz, dr inż. Lechosław Tuz,
mgr inż. Zbigniew Żurek, mgr inż. Łukasz Rakoczy

Szczegółowe badania powierzchni cięcia wymagają usunięcia warstwy tlenków i odsłonięcia powierzchni metalu (rys. 3). Wykonane pomiary profilu powierzchni wykazały, iż w obu przypadkach średnia wysokość profilu chropowatości Rz5 zawierała się w zakresie 3 (rys. 4).

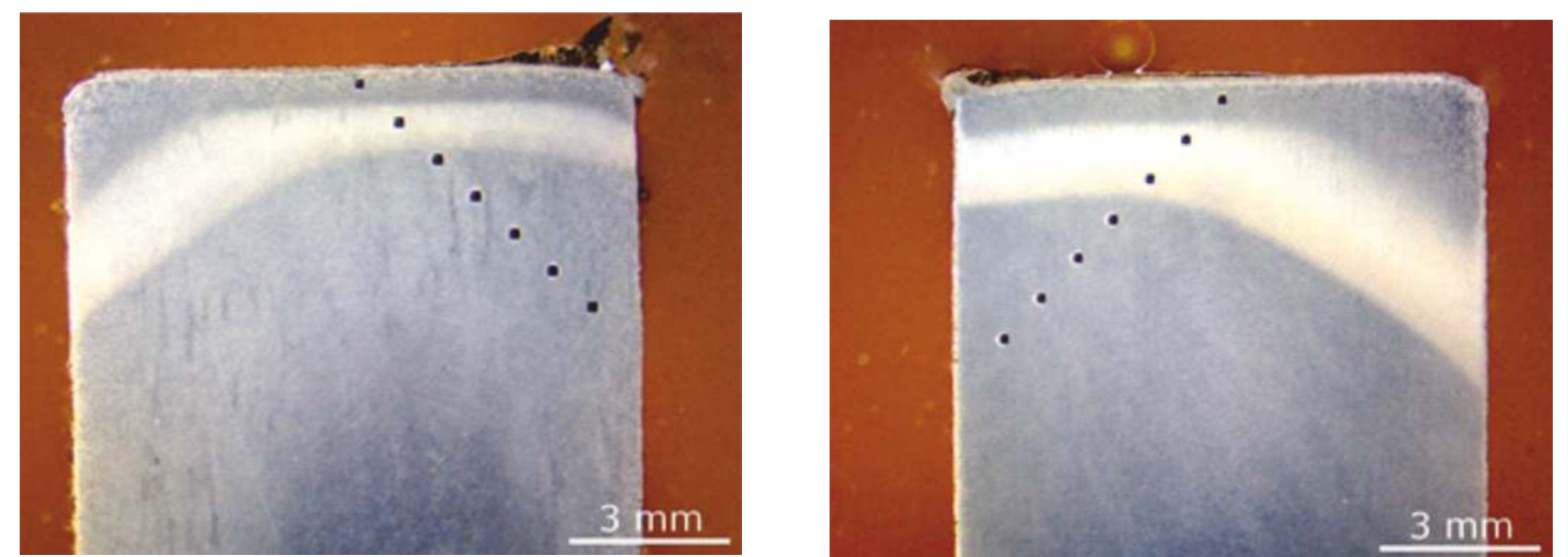


Rys. 3. Profil powierzchni w stanie: a) bezpośrednio po cięciu gazowym, b) po usunięciu warstwy tlenków

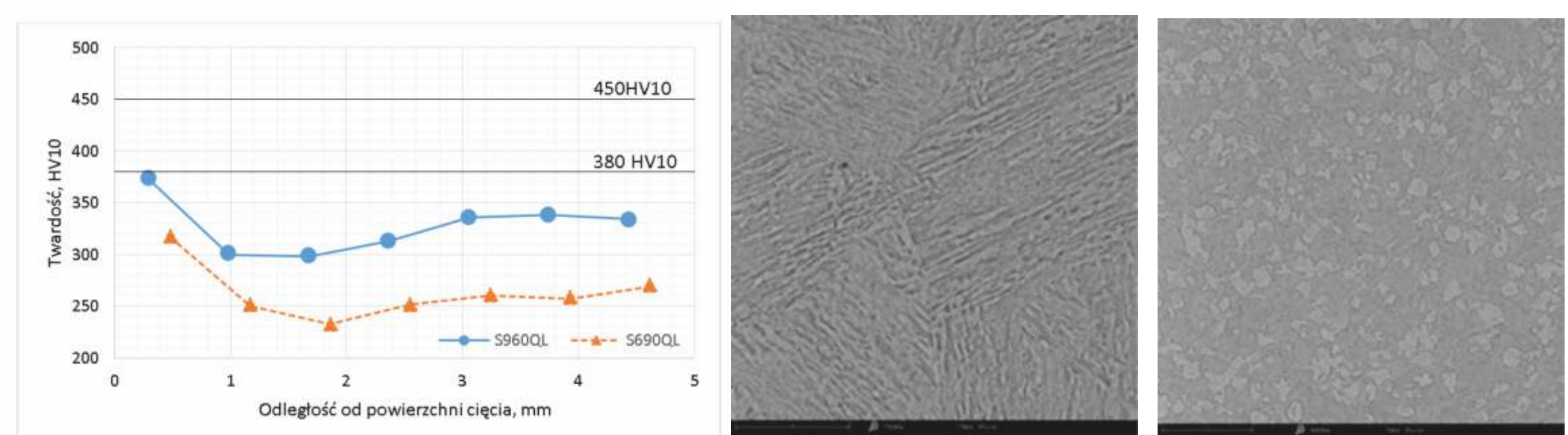


Rys. 4. Profil powierzchni stali S690QL i S960QL po cięciu gazowym i usunięciu warstwy tlenków

Rysunek 5 przedstawia makrostrukturę po cięciu z widocznymi odciskami po pomiarach twardości. Wykazały one, iż twardość przy powierzchni cięcia nie przekracza wymaganych przez normę wartości (rys. 6). Wysoka twardość w gruboziarnistej strefie wpływu ciepła spowodowana jest występowaniem struktury martenzytycznej (rys. 7a). Niewielki spadek twardości, odnotowany w niskotemperaturowym obszarze strefy wpływu ciepła w zakresie temperatur A₁-A₃, spowodowany jest wysokim odpuszczeniem struktury, która nie uległa przemianie po przekroczeniu temperatury A_c (rys. 7b).



Rys. 5. Makrostruktura płaskownika ze stali: a) S690QL, b) S960QL, po cięciu gazowym z widocznymi odciskami po pomiarach twardości



Rys. 6. Wyniki pomiarów twardości stali S690QL i S960QL po cięciu gazowym

Rys. 7. Mikrostruktura SWC: a) strefy gruboziarnistej, b) strefy niepełnego przekształcenia

Podsumowanie

W ramach badań przeprowadzono ocenę przydatności cięcia termicznego stali S690QL i S960QL wg wymagań normy PN-EN 1090-2. Wykazały one, iż zastosowanie płomienia podgrzewającego oraz prędkości cięcia 4 m/min umożliwia uzyskanie wyników mieszczących się w zakresie 3 wg PN-EN ISO 9013 zarówno w zakresie tolerancji prostokątności, nachylenia oraz średniej wysokości profilu Rz5, wymaganym dla klasy wykonania EXC4 wg PN-EN 1090-2. Uzyskane wyniki pomiaru twardości nie przekraczają 380 HV10, dzięki czemu spełniają kryterium maksymalnej twardości. Obserwacje mikroskopowe wykazały w obszarze wykrywanej warstwy stopionego metalu przy powierzchni cięcia występowanie iglastej struktury hartowniczej. Wymaganie normy PN-EN 1090-2, mówiące o tym, iż dla gatunków wyższych niż S460 zaleca się usunięcie strefy cięcia przez szlifowanie, jest jak najbardziej zasadne.

Kontakt:
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie

Podziękowania

Badania wykonano w ramach pracy 5.72.110.420

Al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
(12) 617-26-21
www.agh.edu.pl
krzysztof.paniciewicz@agh.edu.pl