

# BADANIE STRUKTURY I WŁASNOŚCI WARSTW WIERZCHNIICH TYTANU STOPOWANYCH LASEROWO I ELEKTRONOWO ZWIĄZKAMI BORU

Piotr Śliwiński  
Łukasiewicz - Instytut Spawalnictwa, Gliwice

## Wprowadzenie

Jedną z metod wytwarzania warstw wierzchnich o specjalnych własnościach jest stopowanie, które polega na jednoczesnym topieniu materiału stopującego i podłoża przy intensywnym mieszaniu ich w ciekłym jezioru. W procesie stopowania używa się m.in. boru jako pierwiastka stopującego, jego dodatek podnosi własności wytrzymałościowe metali i ich stopów. Pierwiastek ten tworzy z metalami związki ceramiczne, występujące w strukturze w postaci wydzielań. Metalem, który dobrze poddaje się obróbce stopowania przy użyciu boru lub jego związków, jest tytan. Dotychczas najlepiej poznanym oraz cechującym się najlepszymi własnościami spośród związków boru z tytanem jest diborek tytanu  $TiB_2$ . Największymi atutem  $TiB_2$  jest zachowywanie wysokiej twardości oraz odporności chemicznej nawet w bardzo wysokich temperaturach oraz niska gęstość, natomiast największą jego wadą jest wysoka cena.

Warstwy wierzchnie oraz powłoki z dodatkiem  $TiB_2$  wykorzystywane są wszędzie tam, gdzie wymagana jest podwyższona odporność na zużycie ścierne, korozję lub dobra przewodność elektryczna w bardzo wysokich temperaturach sięgających nawet powyżej  $1000^\circ C$ . Używany jest on zatem m.in. przy produkcji osłon i opancerzeń, narzędzi tnących, narażonych na ścieranie elementów sprzętu sportowego i wojskowego, do produkcji tygli odpornych chemicznie oraz elektrod.

## Próby technologiczne

Do przeprowadzenia prób stopowania użyto próbek wykonanych ze stopu tytanu Ti-6Al-4V o wymiarach  $50 \times 150 \times 4,5$  mm. Do stopowania użyto gotowego proszku diborku tytanu. Proszek diborku tytanu  $TiB_2$  nanoszono w postaci zawiesiny w alkoholu metylowym, po odparowaniu rozpuszczalnika proszek przylegał ściśle do powierzchni blachy.

Proces stopowania wiązką elektronów przeprowadzono w Sieci Badawczej Łukasiewicz - Instytucie Spawalnictwa w Gliwicach, wykorzystując urządzenie CVE EB 756 firmy Cambridge Vacuum Engineering (rys. 1a). Proces stopowania wiązką laserową również przeprowadzono w Sieci Badawczej Łukasiewicz - Instytucie Spawalnictwa w Gliwicach przy użyciu zrobotyzowanego stanowiska do spawania i napawania laserowego (rys. 1b) wyposażonego w laser dyskowy TruDisk 12002 o mocy maksymalnej 12 kW.



Rys. 1 a) Spawarka elektronowa CVE EB 756, b) Zrobotyzowane stanowisko do spawania laserowego

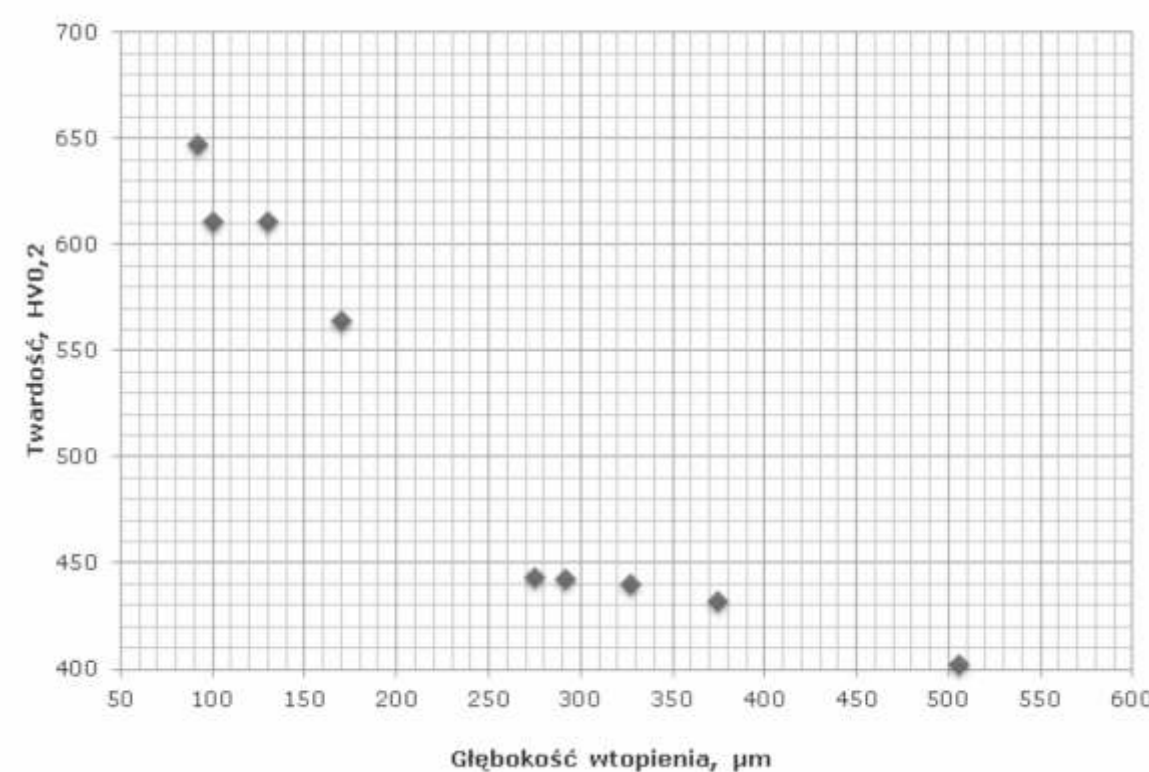
## Pomiar twardości

Pomiar twardości metodą Vickersa przeprowadzono w przekroju poprzecznym w warstwie stopowanej pod obciążeniem 200g (HV0,2). Wyniki pomiaru dla materiału rodzimego (MR), strefy wpływu ciepła (SWC) oraz materiału przetopionego (MP) bez dodatku proszku  $TiB_2$  ujęto w tabeli 1.

Wyniki pomiarów twardości dla każdego ściegu uśredniono. W przypadku prób przeprowadzonych w jednokrotnym przejściu wyniki pomiaru skorelowano z głębokością wtopienia zmierzoną podczas badań na mikroskopie świetlnym (rys. 2).

Nr pomiaru	MR	SWC	MP
1	320	341	389
2	318	364	386
3	321	361	384
<b>ŚREDNIA</b>	320	355	386

Tab. 1 Wyniki pomiarów dla MR, SWC oraz przetopienia bez dodatku materiału stopującego



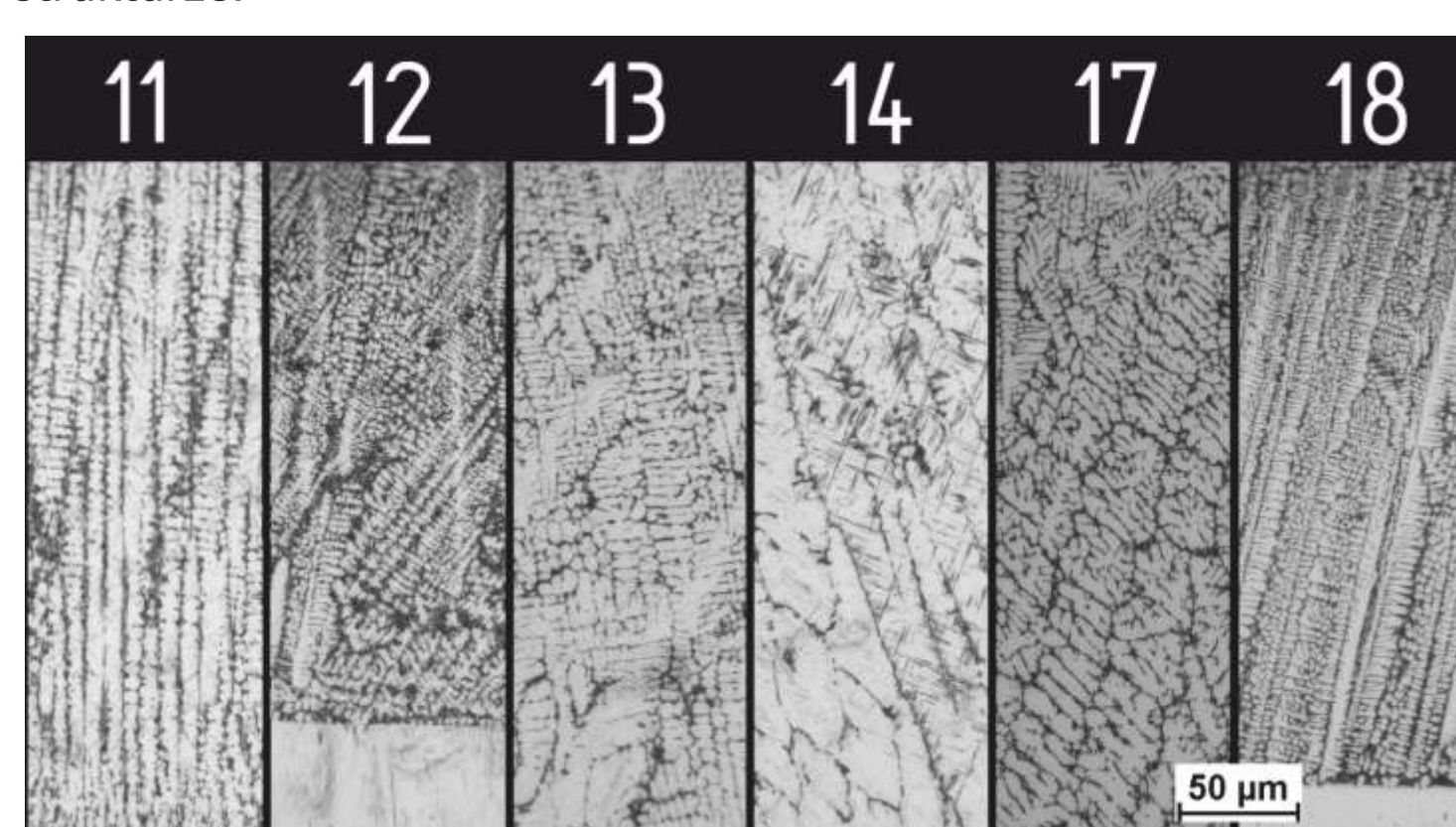
Rys. 2 Wykres zależności twardości od głębokości wtopienia

## Badania metalograficzne

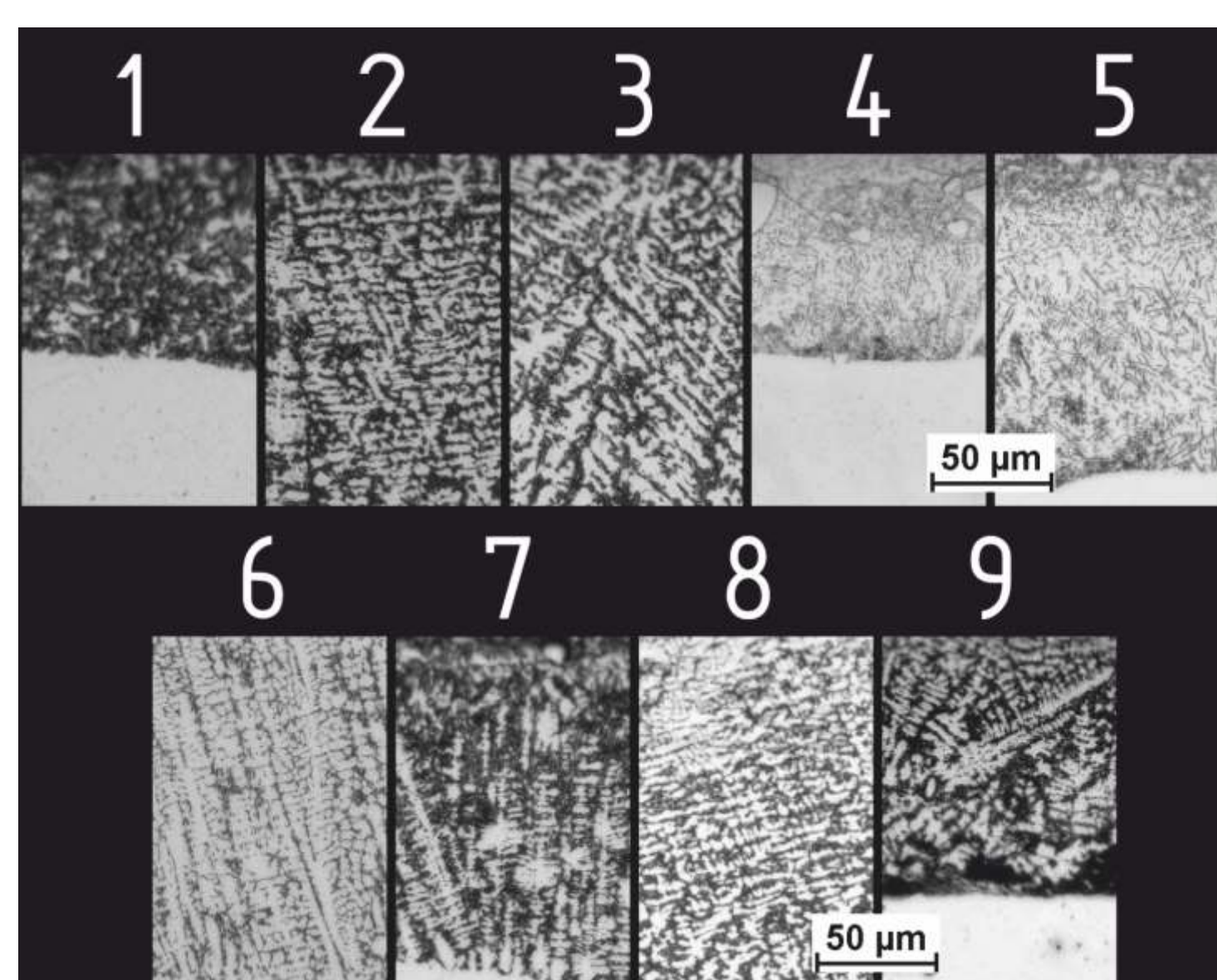
Na rysunku 3 przedstawiono porównanie mikrostruktur ściegów stopowanych wykonanych metodą laserową. W przypadku próbek, dla których zastosowano większe gęstości mocy i niższe prędkości prowadzenia procesu uzyskano znacznie większe głębokości wtopienia, przez co naniesiony proszek rozproszony został w znacznie większej objętości materiału. We wszystkich przypadkach występuje struktura dendrytów kolumnowych metalu, pomiędzy którymi rozmieszczone są cząstki wprowadzonej substancji.

Widoczne na rysunku 3 ściegi wykonane metodą elektronową dały znacznie większe zróżnicowanie głębokości wtopienia, przez co uzyskano odmienną morfologię występujących mikrostruktur. Tutaj również doszło do rozmieszczenia cząstek  $TiB_2$ , które nie uległy stopieniu, na granicy ziaren.

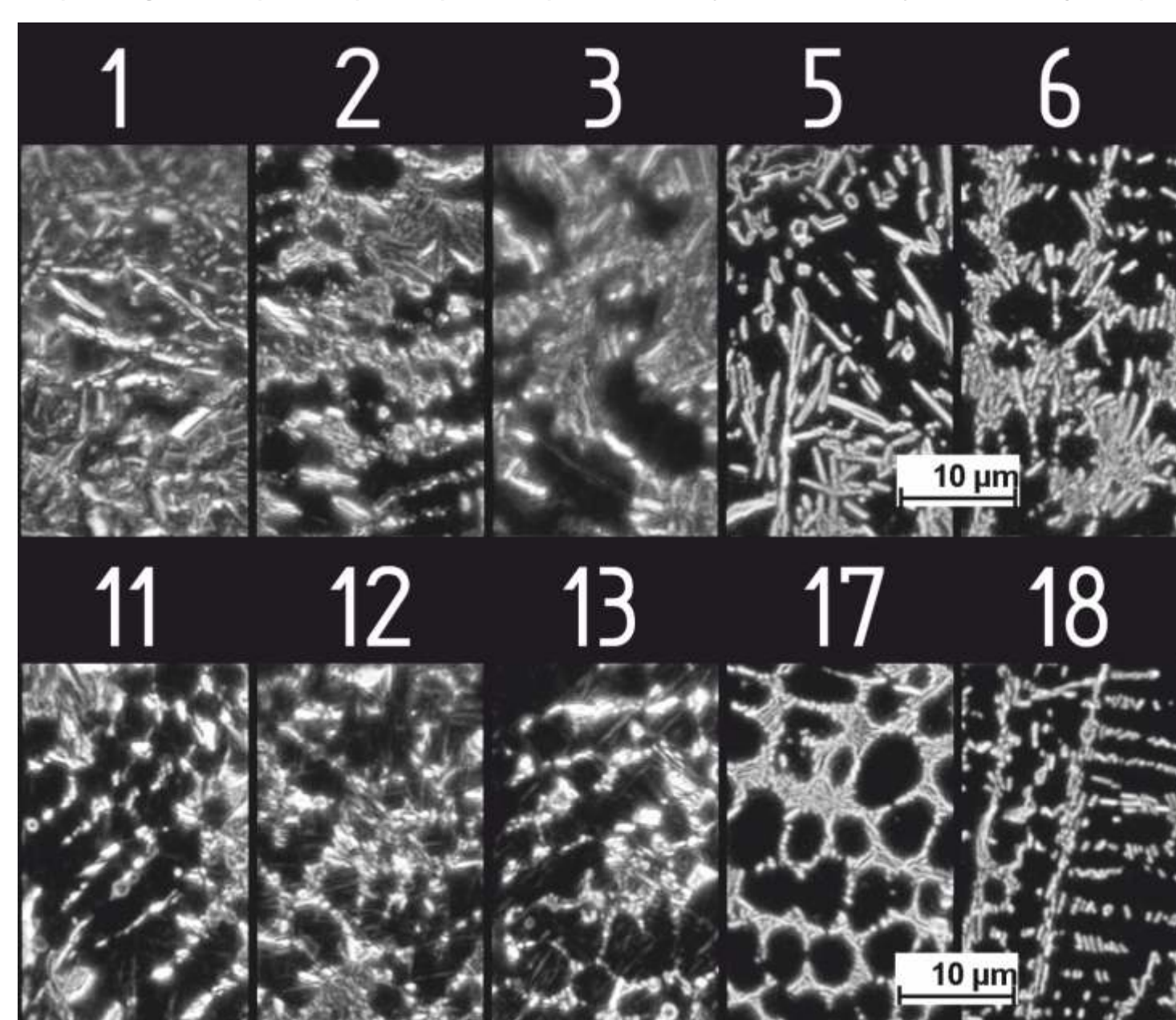
Na rysunku 6 przedstawione jest zróżnicowanie morfologii mikrostruktur występujących w ściegach stopowanych. Cząstki ceramiczne występują pojedynczo lub w postaci aglomeratów znajdujących się na granicach ziaren metalu. W przypadku próbki numer 1, ze względu na małą głębokość wtopienia, udało się uzyskać duże zagęszczenie cząstek ceramicznych, przez co w strukturze nie ma wyraźnie widocznej struktury dendrytycznej. W przypadku pozostałych prób wykonanych metodą elektronową, podobnie jak w przypadku przetopień laserowych występuje struktura pierwotna dendrytów kolumnowych z rozmieszczeniem cząstek diborku tytanu na granicy ziaren, jednakże w porównaniu z przetopieniami laserowymi widoczne jest większe ich zagęszczenie w strukturze.



Rys. 3 Struktury ściegów stopowanych wykonanych metodą laserową, obserwacja w polu jasnym



Rys. 4 Struktury ściegów stopowanych wykonanych metodą elektronową, obserwacja w polu jasnym



Rys. 5 Zróżnicowanie morfologii struktur w wybranych próbkach, obserwacja w polu ciemnym

## Wnioski

- Przeprowadzone badania potwierdzają zasadność przeprowadzania procesu stopowania proszkiem  $TiB_2$  w celu podniesienia twardości stopów tytanu.
- Zarówno metoda laserowa jak i metoda elektronowa pozwalają na uzyskanie odpowiedniej geometrii oraz głębokości wtopienia, jednakże metoda laserowa, ze względu na duży wpływ stanu powierzchni na absorpcję wiązki laserowej, stwarza większe problemy przy odpowiednim doborze parametrów, gdyż nawet najmniejsze różnice w absorpcji wiązki laserowej powodują duże zmiany głębokości wtopienia.
- W obu badanych procesach stopowania istnieje pole parametrów umożliwiające jednorodną dyspersję fazy umacniającej w strefie stopowanej.
- Badany proces stopowania z dodatkiem proszku  $TiB_2$  prowadzi do wyraźnego wzrostu twardości warstw powierzchniowych stopowanego podłoża - twardość warstw stopowanych sięga nawet 650HV, dając wzrost o ok. 330HV w porównaniu do twardości materiału rodzimego.



mgr inż. Piotr Śliwiński  
Łukasiewicz - Instytut Spawalnictwa  
Bł. Czesława Str. 16-18  
tel. +48 32 33 58 264  
44-100 Gliwice  
piotr.sliwinski@is.gliwice.pl



# 62.

**MIĘDZYNARODOWA  
KONFERENCJA  
SPAWALNICZA**

Nowoczesne spawalnictwo  
- nowoczesna przyszłość



INTERNATIONAL CONGRESS

Konferencji towarzyszy  
Kongres Międzynarodowego  
Instytutu Spawalnictwa (IIW)

