

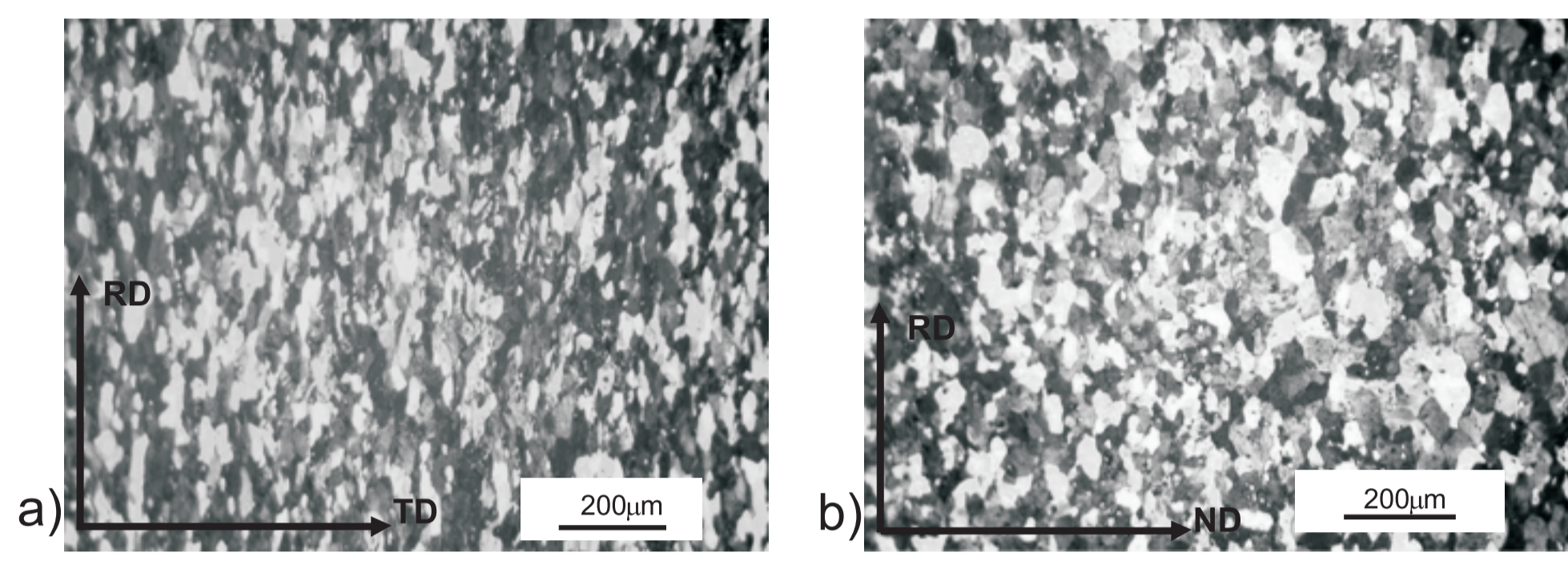
## Plastyczne kształtowanie lotniczych stopów Al ( w tym Al-Li ) oraz Ti

Politechnika Śląska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Warszawska, Politechnika Częstochowska

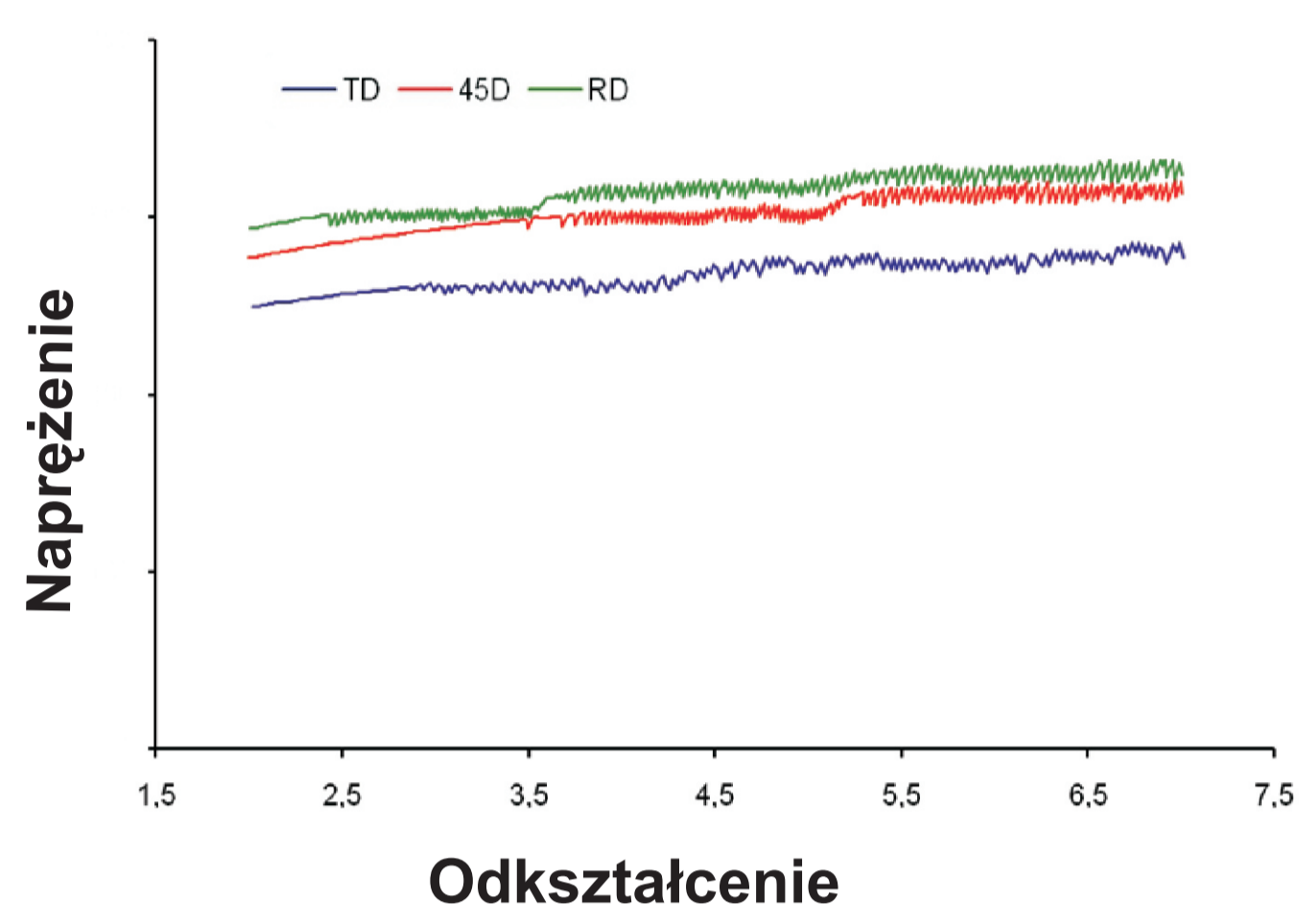
### Wyniki badań

Kształtowanie plastyczne z dużymi szybkościami odkształcenia lotniczych stopów aluminium i tytanu

Opis anizotropii efektu Portevin – Le Chatelier w stopie Al – Mg – Mn metodą Emisji Akustycznej

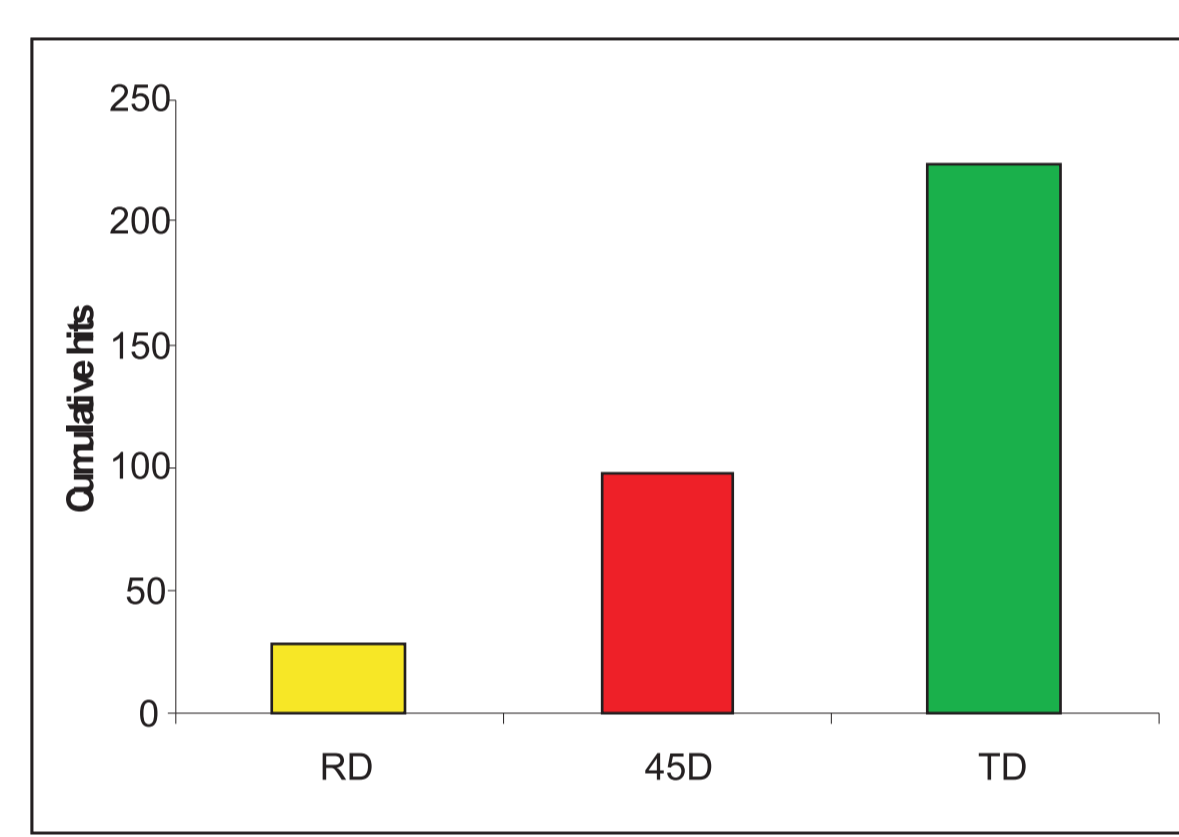


Rys.1. Mikrostruktura stopu 5182 walcowanego do odkształcenia =6.6; przekrój wzdłużny (a), przekrój poprzeczny (b)

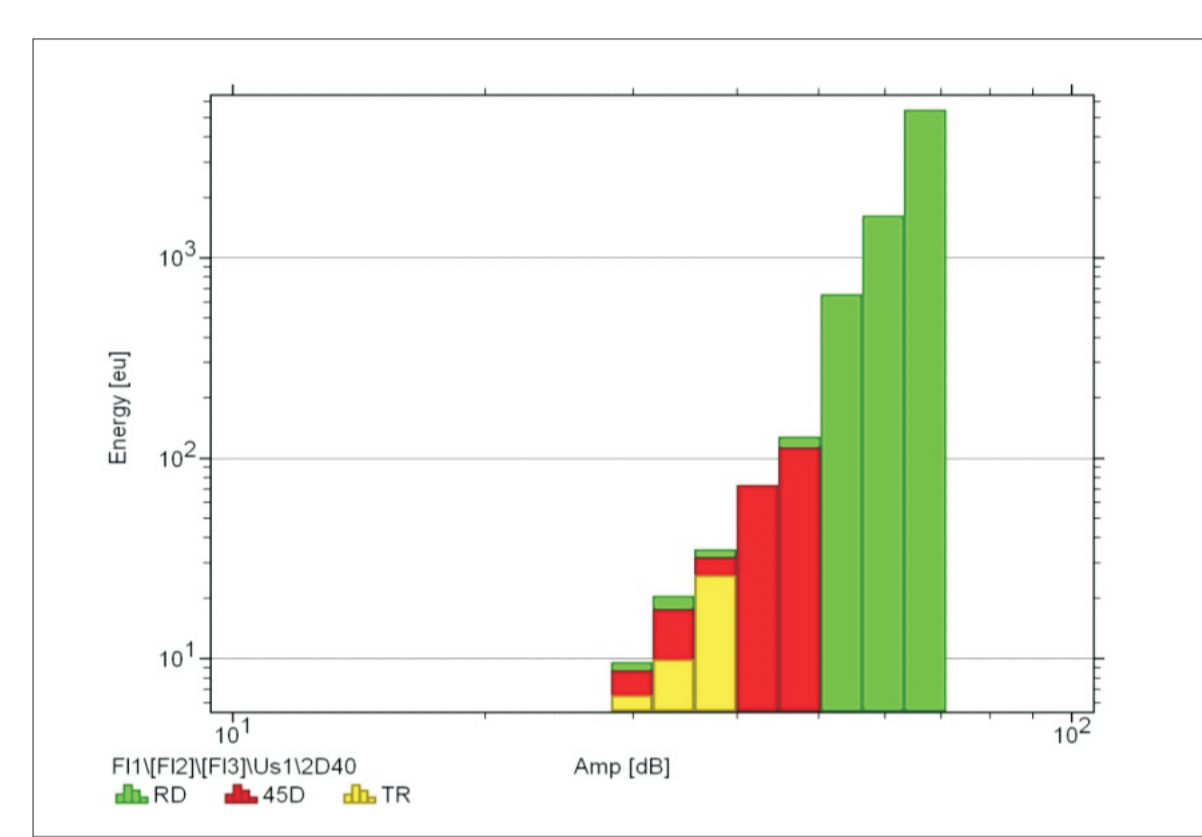


RD – kierunek walcowania  
TD – kierunek prostopadły do RD  
45D – kierunek 45° między RD a TD

Rys.2. Krzywe naprężenie – odkształcenie stopu 5182 rozciągane w kierunku walcowania, poprzecznie do kierunku walcowania oraz 45° między nimi



Rys.3. Sumaryczna liczba zliczeń sygnałów emisji akustycznej rejestrowana podczas rozciągania próbek wyciętych w kierunku rozciągania, poprzecznie do kierunku rozciągania oraz 45° między nimi



Rys.4. Energia sygnałów emisji akustycznej w funkcji jej amplitudy rejestrowana dla próbek wyciętych w kierunku rozciągania, poprzecznie do kierunku rozciągania oraz 45° między nimi

### Wnioski

- charakter niestabilności odkształcenia plastycznego PLC zależy jest od kierunku;
- krytyczne odkształcenie, przy którym pojawia się efekt PLC wynosi od 2.45% dla kierunku walcowania do 3.7% dla kierunku 45° między RD a TD;
- badania emisji akustycznej wskazują najniższą sumaryczną liczbę zliczeń sygnałów EA rejestrowaną podczas rozciągania próbek w kierunku walcowania, natomiast najwyższą dla kierunku poprzecznego do walcowania;
- analiza energii sygnałów emisji akustycznej w funkcji jej amplitudy wykazała natomiast najwyższą energię sygnałów i/lub największą ich amplitudę dla kierunku walcowania, a najniższą dla kierunku do niego prostopadłego;
- na zjawisko niestabilności odkształcenia plastycznego PLC ma wpływ zarówno tekstura morfologiczna jak i krystaliczna – potwierdzeniem jest różnica w zakresach występowania efektu w funkcji kierunku badania oraz wyniki emisji akustycznej;
- wskazane jest zbadanie łącznego i rozdzielnego wpływu tekstury morfologicznej i krystalicznej na niestabilność odkształcenia plastycznego PLC.

### Wyniki badań

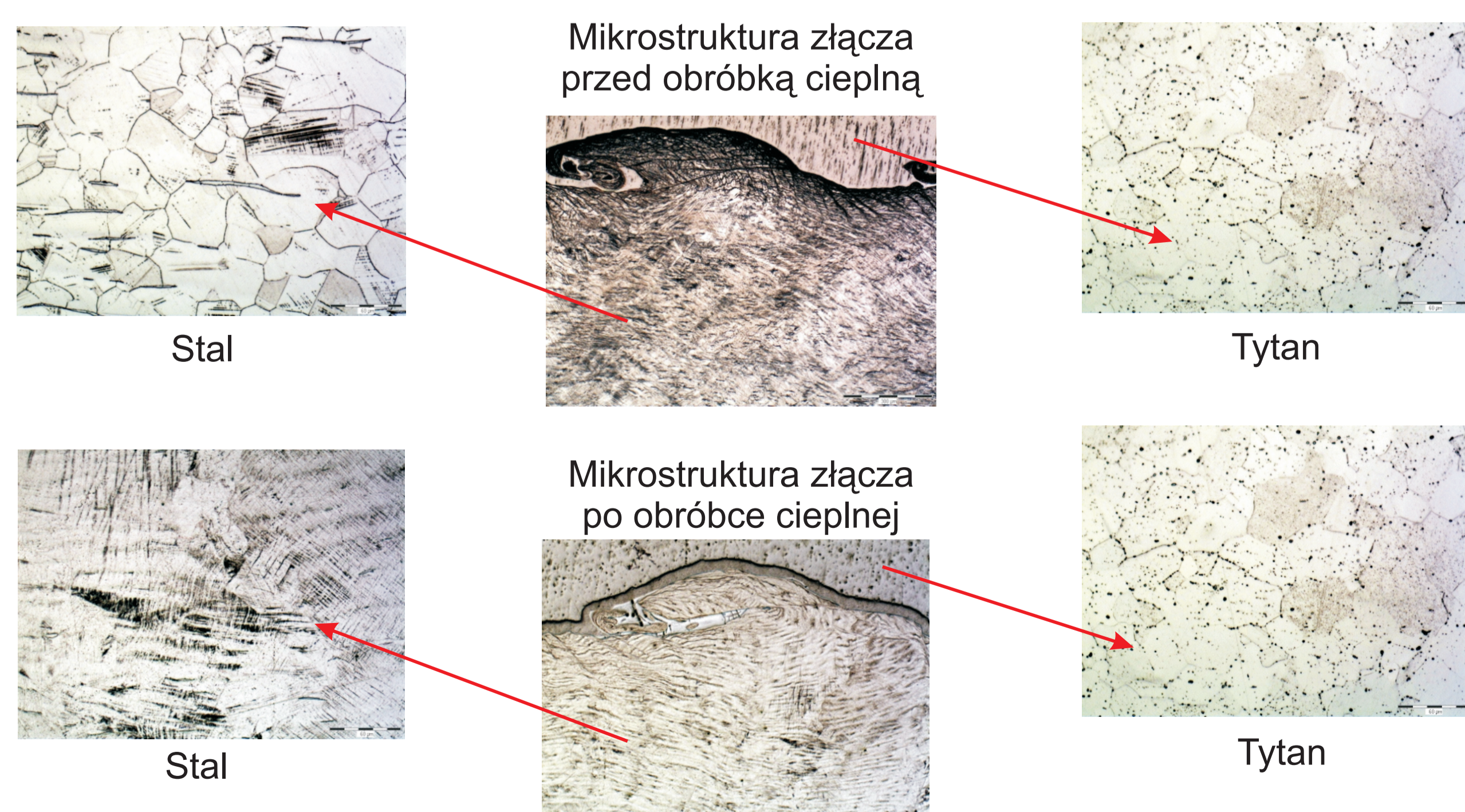
**Technologia wytwarzania złącza:**  
łączenie wybuchowe

**Materiały łączone:**  
stal 304L - materiał bazowy (podłoże)  
tytan Grade 1 - materiał nakładany

**Obróbka cieplna złączy:**  
wyżarzanie w temperaturze 600°C w czasie 1,5 h

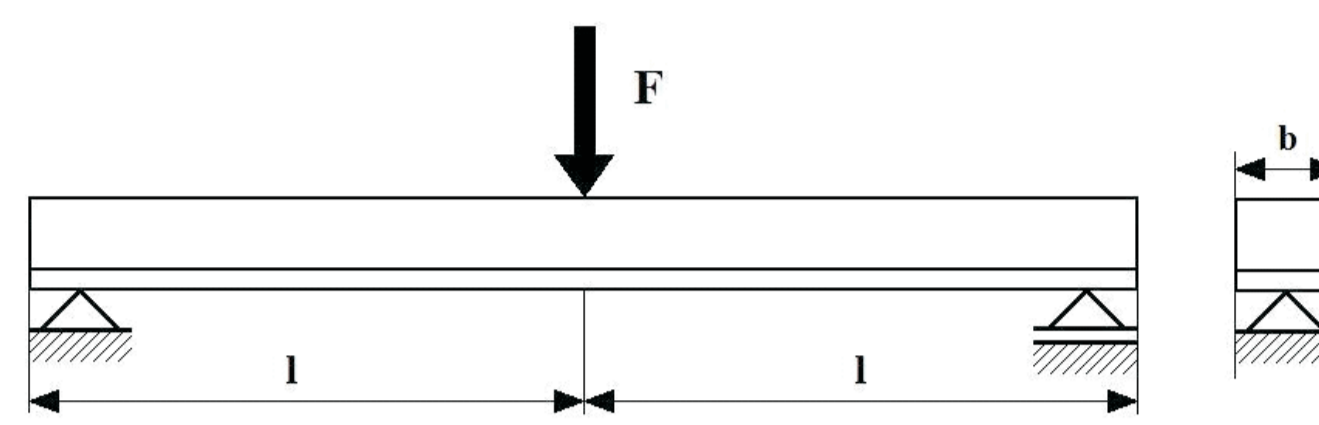
**Zakres badań:**  
metalografia złącza tytan-stal  
skaningowa mikroskopia elektronowa  
mikroanaliza RTG  
właściwości mechaniczne:  
- badania zmęczeniowe (trójpunktowe zginanie)  
- pomiary twardości oraz mikrotwardości  
fraktografia przełomów

Mikrostruktura złącza bimetalicznego stal - tytan



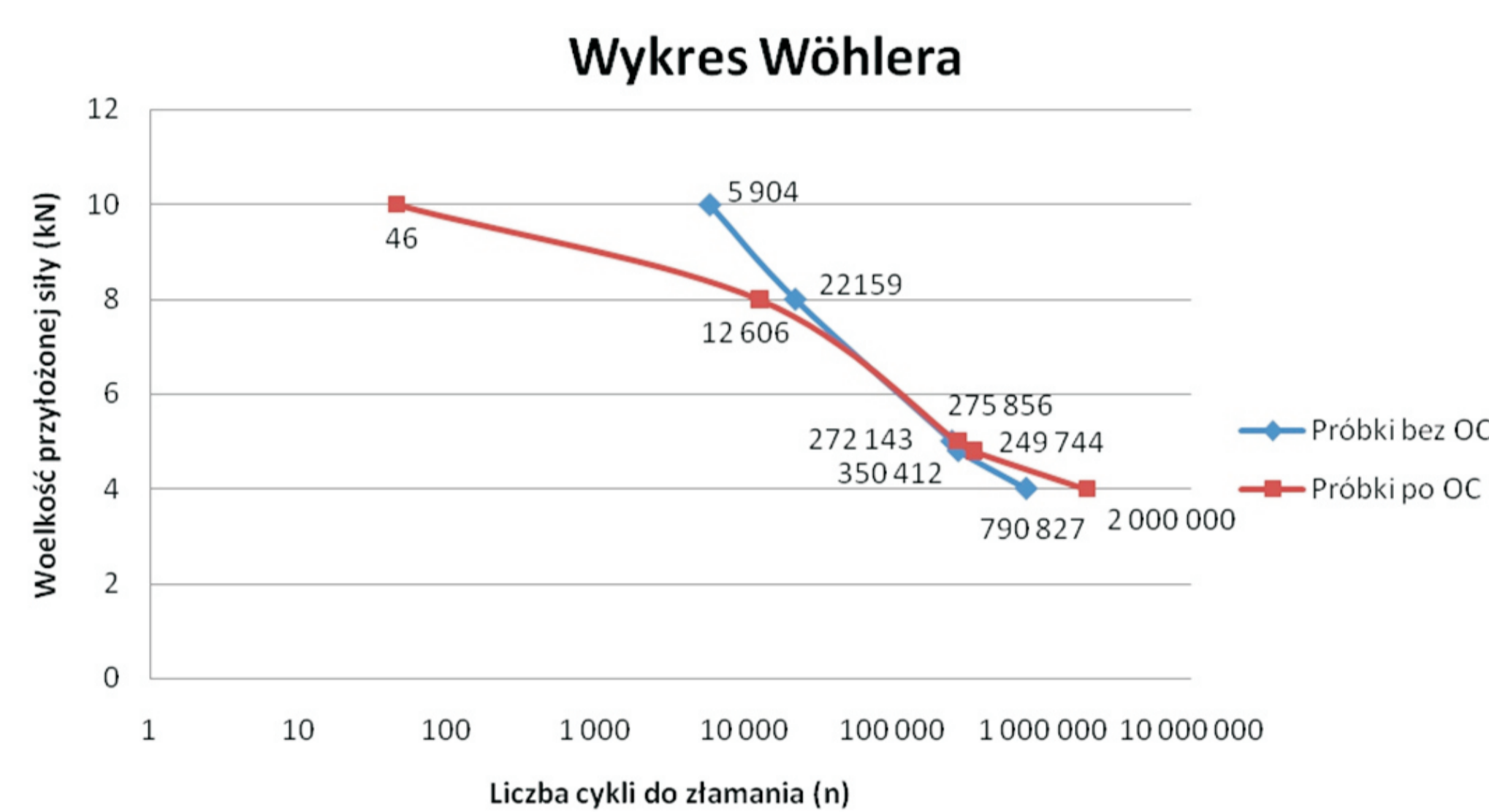
Rys.5. Mikrostruktura złącza bimetalicznego tytan-stal przed oraz po obróbce cieplnej

Próba cyklicznego zginania



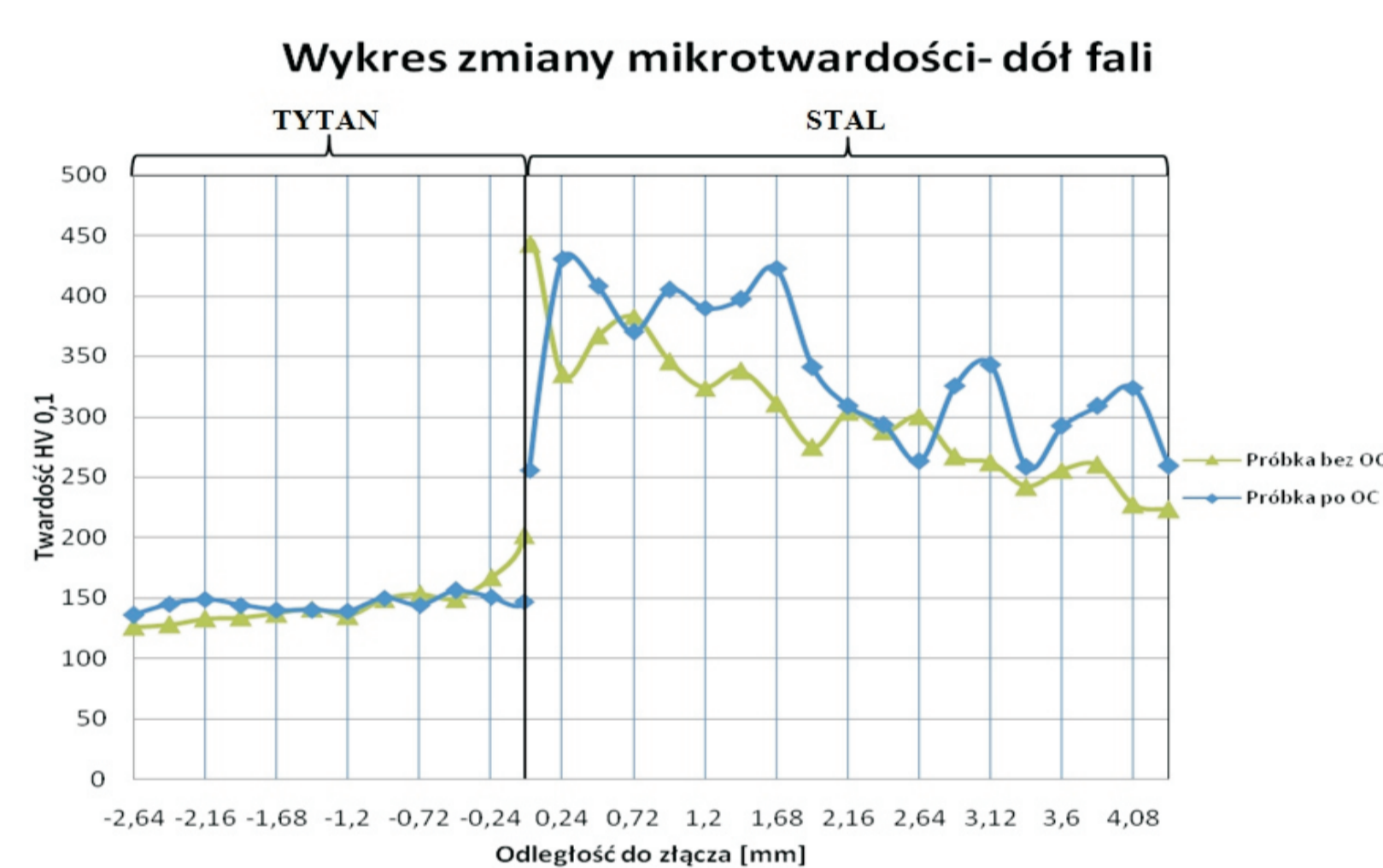
Rys.6. Schemat układu do badań zmęczeniowych

Bez obróbki cieplnej		Z obróbką cieplną	
Siła (kN)	Liczba cykli do zniszczenia (n)	Siła (kN)	Liczba cykli do zniszczenia (n)
10	5 904	10,0	46
8,0	22 159	8,0	12 606
5,0	249 744	5,0	272 143
4,8	275 856	4,8	350 412
4,0	790 827	4,0	2 000 000

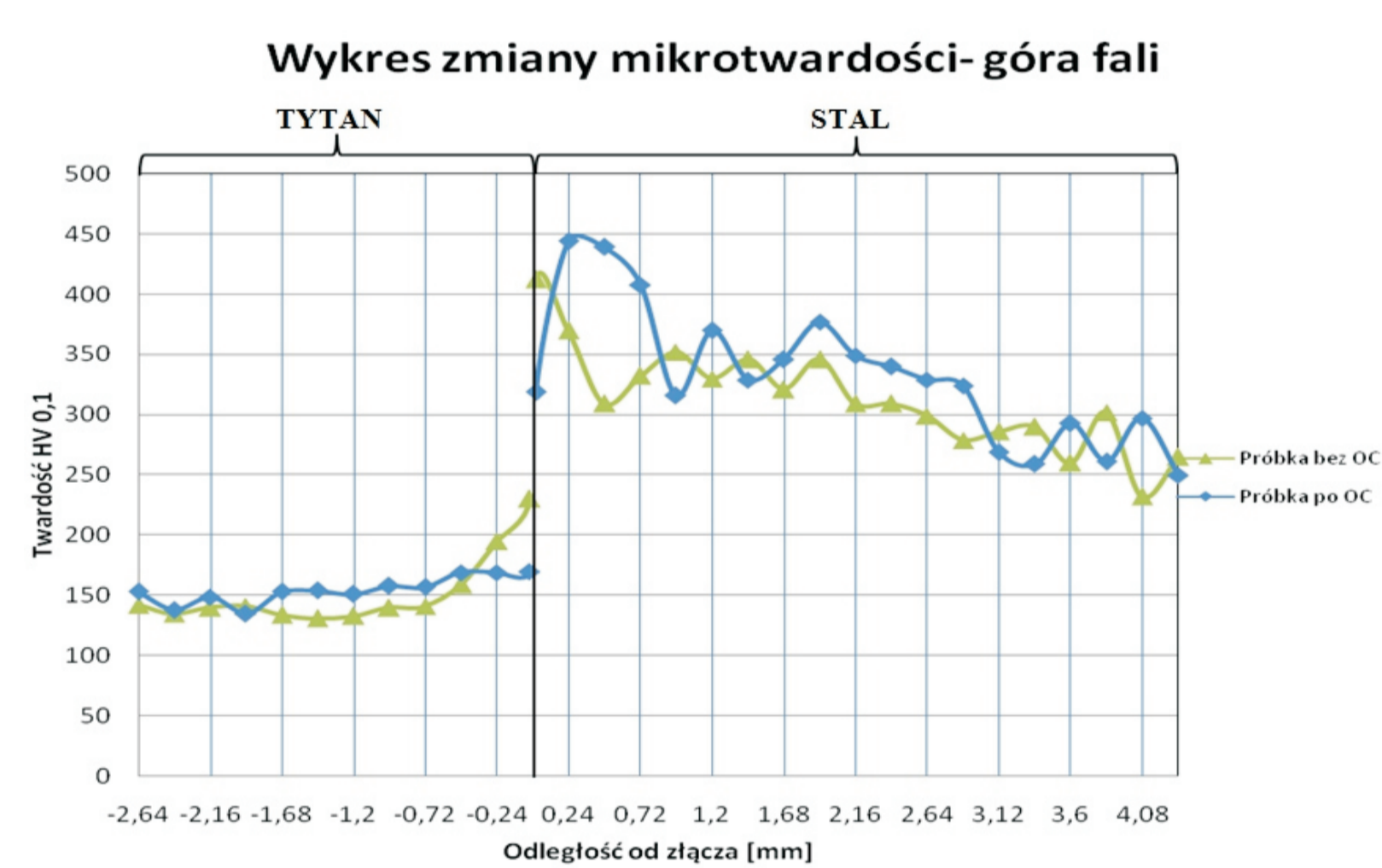


Rys.7. Wykres Wyöhlera dla próbek przed i po obróbce cieplnej

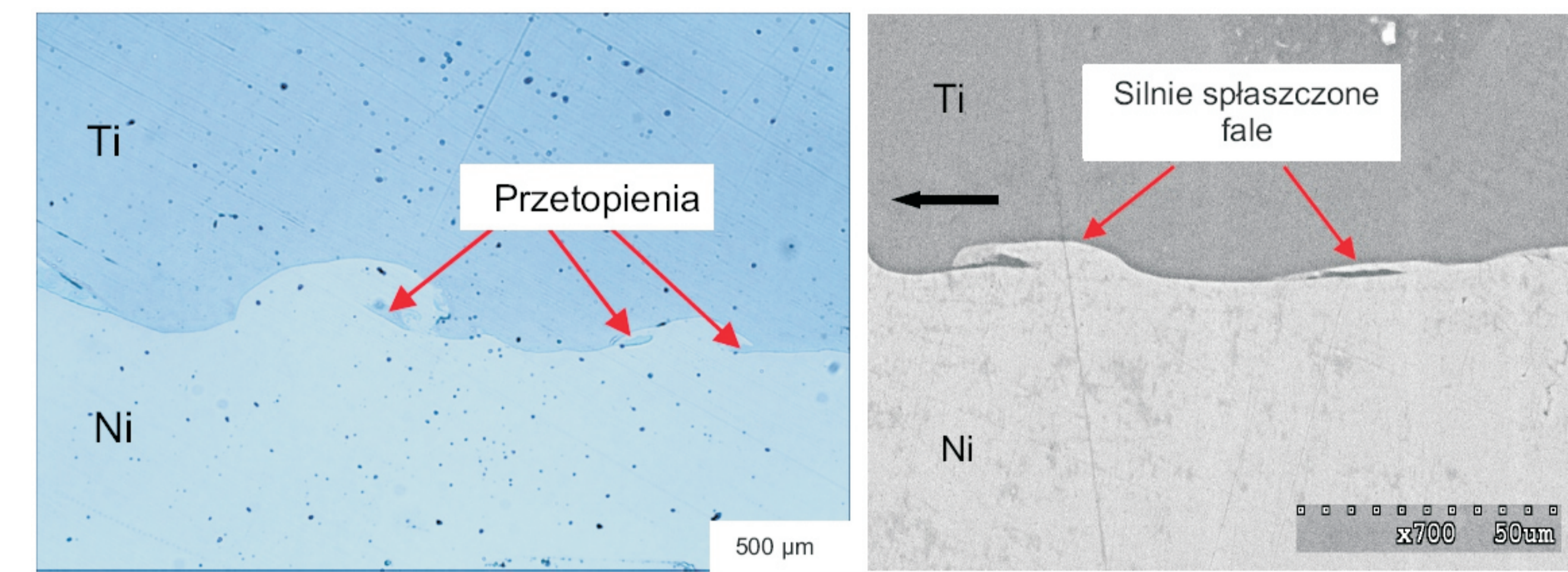
### Pomiary twardości



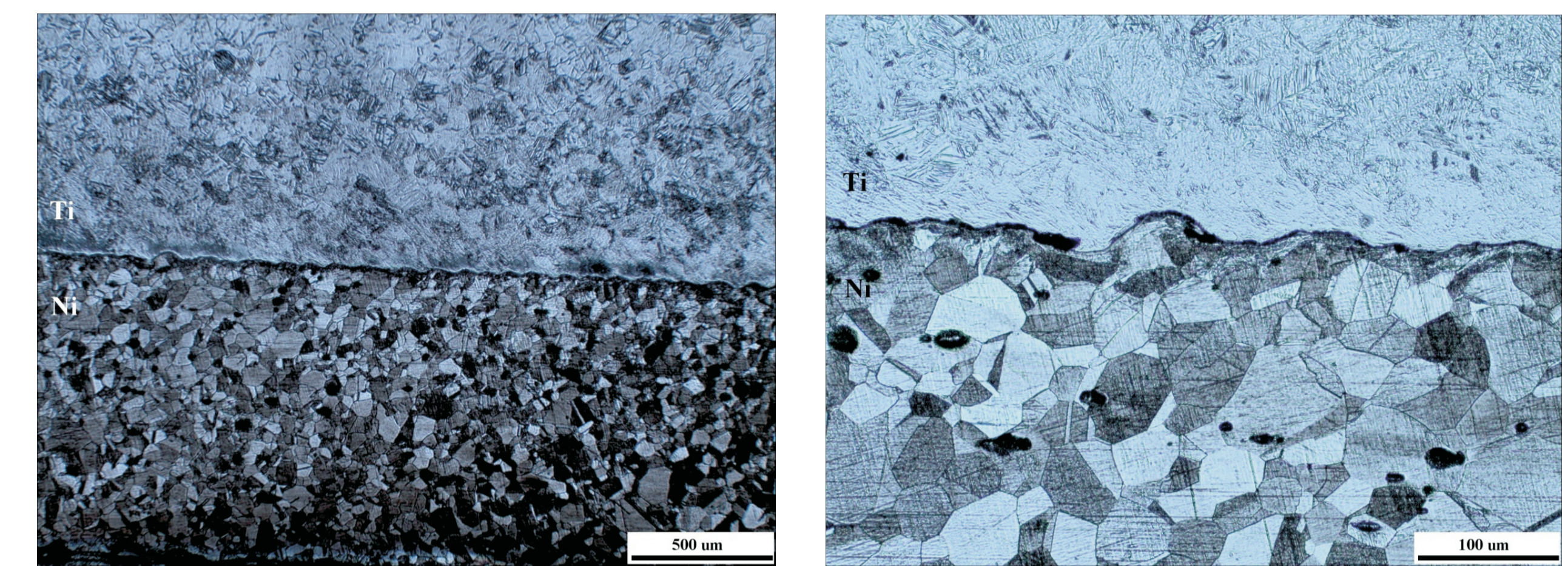
Rys.8. Wykres mikrotwardości dla próbek przed i po obróbce cieplnej w dół fali



Rys.9. Wykres mikrotwardości dla próbek przed i po obróbce cieplnej w górę fali

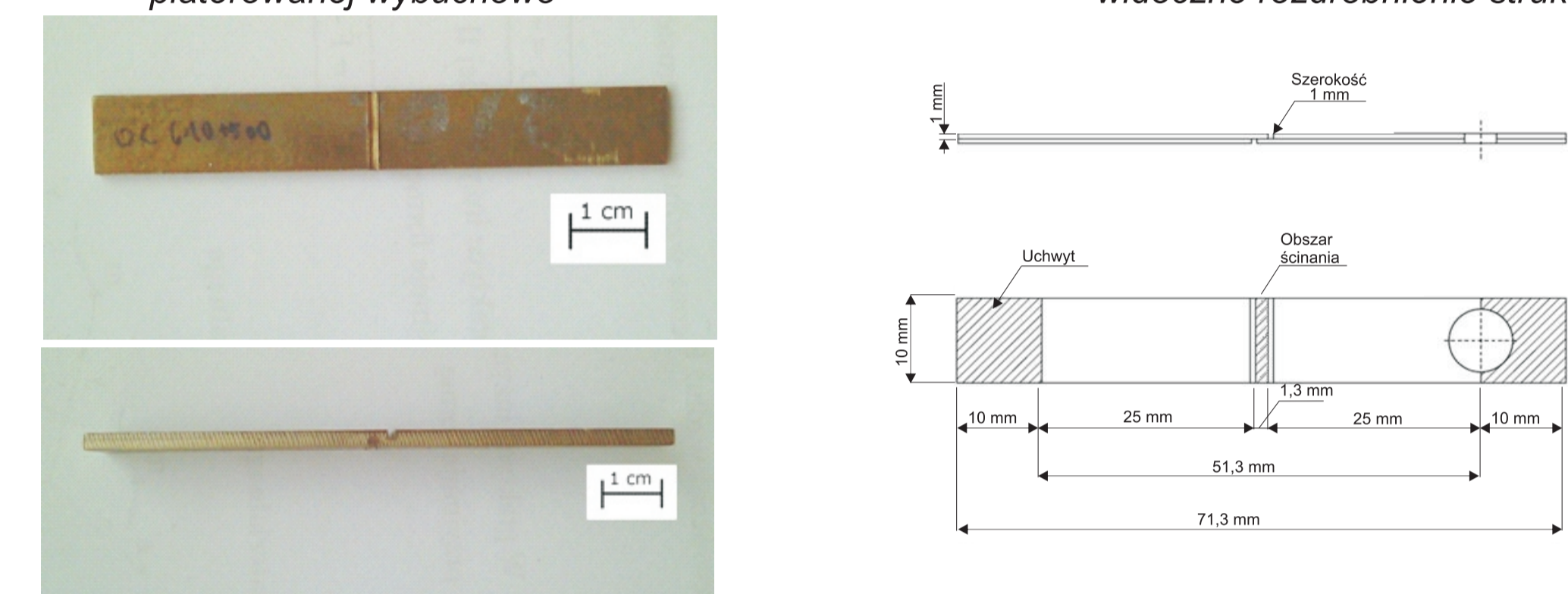


Rys.11. Obserwacje złącza (czarną strzałką oznaczono kierunek spajania)



Rys.12. Mikrostruktura blachy bimetalicznej Ti-Ni platerowanej wybuchowo

Rys.13. Mikrostruktura plateru Ti-Ni w okolicy złącza - widoczne rozdrobnienie struktury

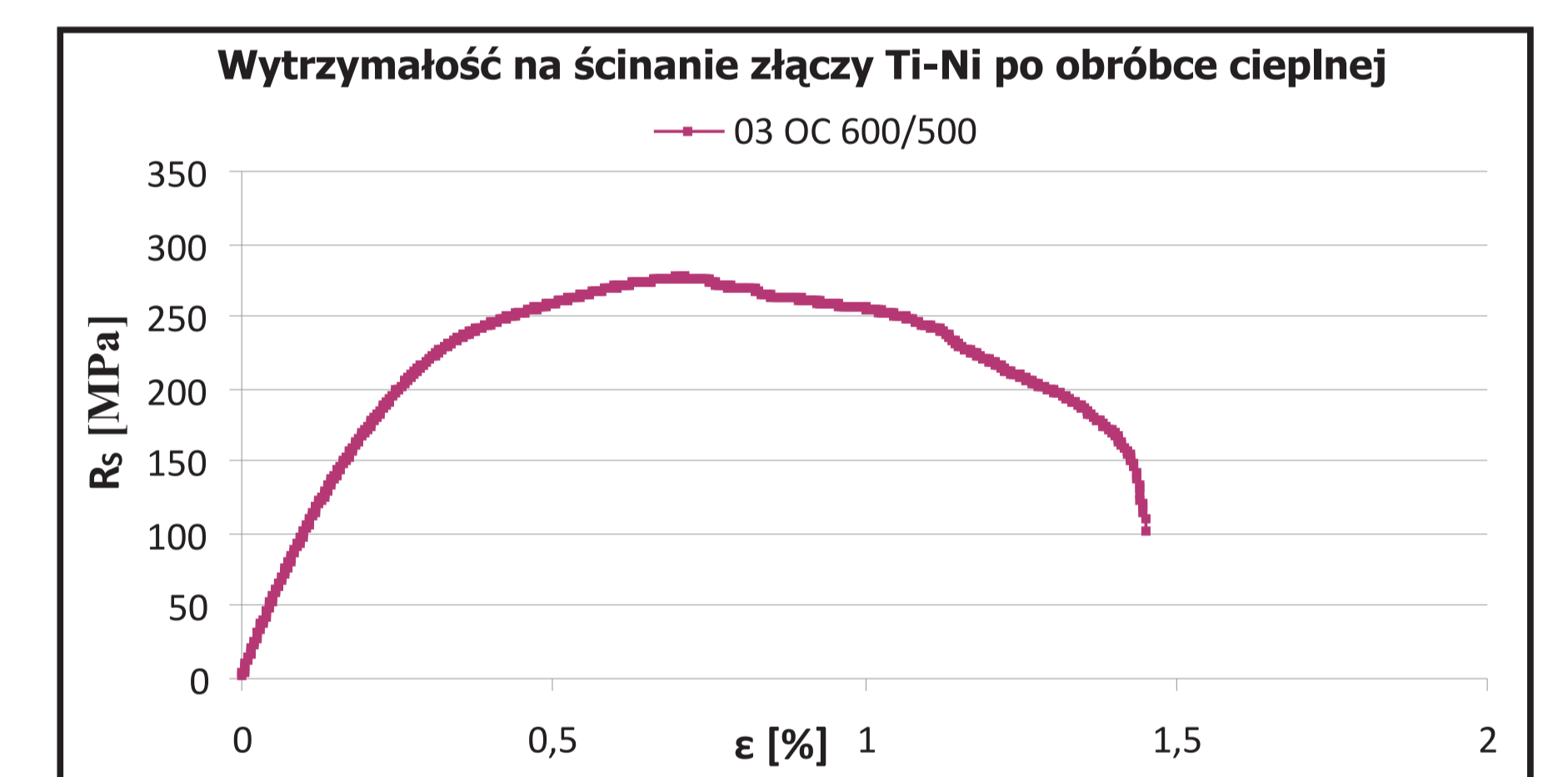


Rys.14. Schemat oraz rzeczywisty obraz próbek do badań złączy na ścinanie

Tabela 1. Wyniki badań złączy na ścinanie

Próbka	S [mm <sup>2</sup> ]	F <sub>max</sub> [kN]	R <sub>s</sub> [MPa]	Uwagi
01 BEZ OC	12,50	4,99	399	zerwanie poza złączeniem
02 BEZ OC	9,92	4,86	490	zerwanie poza złączeniem
03 BEZ OC	25,30	10,37	410	zerwanie poza złączeniem
01 OC 600/500	14,33	4,41	308	zerwanie częściowo w złączeniu częściowo w Ti
02 OC 600/500	11,10	3,72	335	zerwanie częściowo w złączeniu częściowo w Ti
03 OC 600/500	15,82	4,38	277	zerwanie częściowo w złączeniu częściowo w Ti

S [mm<sup>2</sup>] - pole powierzchni pracującego na ścinanie  
R<sub>s</sub> - wytrzymałość na ścinanie



Rys.15. Przykładowa krzywa R<sub>s</sub>=f(ε) uzyskana w próbach ścinania

### Wnioski

W wyniku łączenia wybuchowego stali austenitycznej oraz tytanu uzyskano trwałe i ciągłe połączenie o falistym przekroju. Połączone materiały zostały umocnione i w strefie złącza posiadają mikrostrukturę charakteryzującą się silnie odkształconymi ziarnami

Twardość materiału jest większa w strefie linii złącza. Obróbka cieplna powoduje spadek mikrotwardości przy złączeniu oraz w całej objętości materiału

Badania zmęczeniowe wykazały, że złącze jest głównym miejscem koncentracji naprężeń, przez co pęknięcie zawsze propaguje wzdłuż granicy rozdziału faz, zarówno przy niskich jak również przy wysokich obciążeniach. Obróbka cieplna nie ma wpływu na miejsce zapoczątkowania pęknięcia

Wytrzymałość zmęczeniową platerów stal 304L - tytan można modyfikować poprzez zastosowanie obróbki cieplnej

Wytrzymałość na ścinanie platerowanych złączy Ti-Ni we wszystkich analizowanych przypadkach przekracza wartość 270 MPa

### Wskaźniki realizacji celów projektu

#### Publikacje

- Zdunek, J. Płowiec, J. Mizera, W. Szychalski, K.J. Kurzydłowski: *Acoustic Emission investigations of the anisotropy of the PLC method in Al-Mg alloy*, Inżynieria Materiałowa Nr3 (175) 2010, s.577

#### Prace mgr, dr, hab.

#### Prace magisterskie obronione:

- Marcin Wachowski: *Badania właściwości i mikrostruktury złączy bimetalicznych tytan-stal austenityczna wytwarzanych metodą wybuchową*. Promotor: Prof. dr hab. inż. Krzysztof Jan Kurzydłowski, opiekun naukowy: Dr inż. Tomasz Płociński

#### Prace magisterskie planowane:

- Kamil Wasiliuk: *Mikrostruktura i właściwości bimetalu Ti-Ni otrzymanego metodą wybuchową*. Promotor: dr inż. Halina Garbacz

**Technologia wytwarzania złącza:** łączenie wybuchowe

**Materiały łączone:**  
nikiel - materiał bazowy (podłoże)  
tytan Grade 1 - materiał nakładany

**Produkt:**  
plater Ti-Ni w postaci blachy o grubości 2 mm (1 mm + 1 mm) walcowany w celu wyprostowania blachy

**Obróbka cieplna złączy:**  
wyżarzanie w 600°C w czasie 1h + w 500°C w czasie 13h

**Zakres badań:**  
metalografia złącza tytan-nikiel  
skaningowa mikroskopia elektronowa  
właściwości mechaniczne: - badanie wytrzymałości złącza na ścinanie na podstawie normy ASTM D 3165-00



Rys.10. Badany materiał

Badanym materiałem były blachy Ti-Ni o wymiarach (1+1)x494x1200 mm, platerowane wybuchowo. Płytę podstawową stanowił nikiel, natomiast tytan - płytę lotną