Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

Seminarium

Projektu pt. Opracowanie przełomowego procesu i urządzenia do automatycznego prostowania smukłych wyrobów drążonych o szerokiej zmienności przekroju poprzecznego i dużego zakresu długości.
Poddziałanie 4.1.4 „Projekty aplikacyjne” POIR 2014-2020

Badania materiałowe smukłych wyrobów drążonych o średnicach wewnętrznych 7,62 i 23,0 mm

dr inż. Beata Pachutko

Poznań, 11.05.2017

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

PGZ

Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

METODYKA BADAŃ

- Statyczna próba rozciągania wg normy PN-EN ISO 6892-1:2010 B – *Metale -- Próba rozciągania – Część 1: Metoda badania w temperaturze pokojowej*, maszyna wytrzymałościowa Instron 4483 seria H1907, głowica pomiarowa siły o udźwigu 150 kN, typ 2525-112 (Instron).
- Analiza składu chemicznego wg instrukcji badawczejnr Z-IB/3-06 - *Oznaczenie składu chemicznego stali metodą optycznej spektometrii emisyjnej*, wydanie III, data wydania 22.06.2012, optyczny spektrometr emisyjny o wzbudzeniu jarzeniowym GDS 500A (Leco).
- Badania mikroskopowe wg instrukcji badawczej nr Z-IB/3-05 – *Obserwacje struktury metali i stopów*, wydanie VI, data wydania 4.05.2015, mikroskop świetlny Eclipse L150 (Nikon) wyposażony w oprogramowanie do analizy i archiwizowania obrazu NIS Elements oraz instrukcji nr Z-IB/3-08 – *Badania morfologii powierzchni tworzyw metalicznych i niemetalicznych*, wydanie II, data wydania 18.11.2013, skaningowy mikroskop elektronowy Inspect S (FEI).
- Pomiary twardości metodą Vickersa wg normy PN-EN ISO 6507-1:2007 – *Metale -- Pomiar twardości sposobem Vickersa -- Część 1: Metoda badań,* twardościomierz FM-800 (Future Tech Corp.).
- Pomiary twardości metodą Rockwella wg normy PN-EN ISO 6508-1:2015-04 – *Metale -- Pomiar twardości sposobem Rockwella -- Część 1: Metoda badań,* twardościomierz FR-3ATL (Future Tech Corp.).

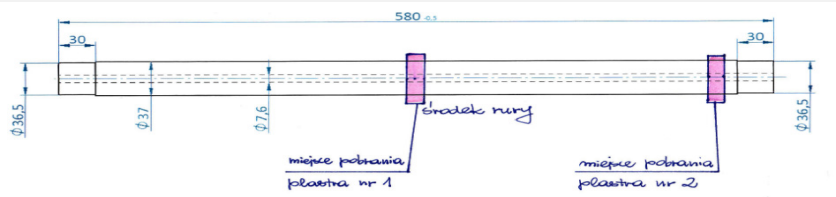
INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

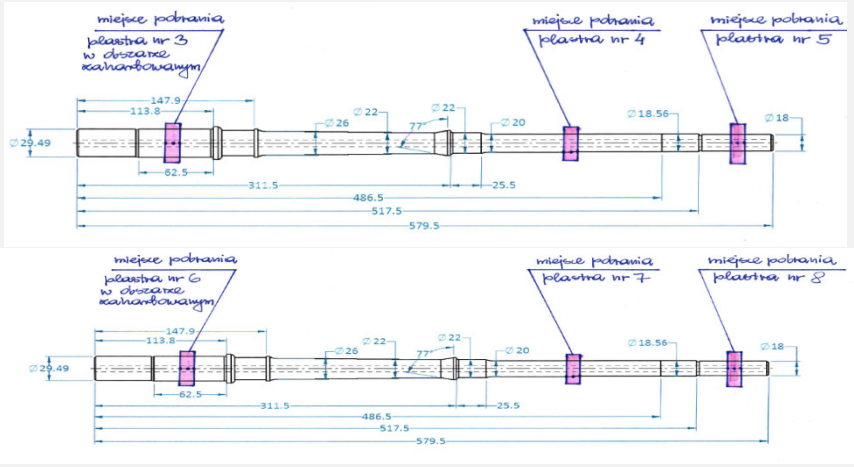
PGZ

Wyroby ϕ 7,62 mm

Pierwszy komplet wyrobów – oznaczenie: A1					
Nr lufy	Oznaczenie operacji technologicznej	Nr operacji technologicznej	Nr plastra		
S371	I	510	1.1	2.1	-
S112	II	548	3.1	4.1	5.1
DO33	III	730	6.1	7.1	8.1
Drugi komplet wyrobów – oznaczenie: A2					
Nr lufy	Oznaczenie operacji technologicznej	Nr operacji technologicznej	Nr plastra		
S372	I	510	1.2	2.2	
S131	II	548	3.2	4.2	5.2
S225	III	730	6.2	7.2	8.2

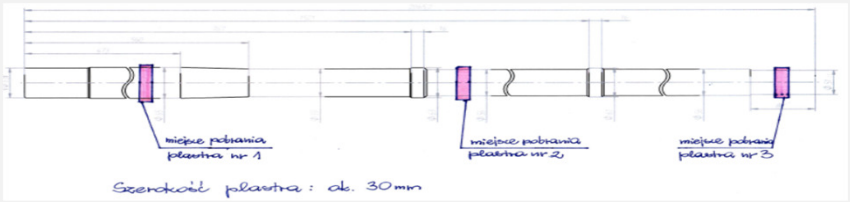


- **Operacja nr 510** – ulepszanie cieplne (UC) – austenityzowanie: 850±10°C, 1,5 h; chłodzenie: woda 20-40°C, odpuszczanie: 620±10°C, 4 h, powietrze; sezonowanie (S**)** 450±10°C, 4 h, powietrze; wiercenie otworu (W); odpuszczanie stabilizacyjne (OS): 620±10°C, 3 h, powietrze.
- **Operacja nr 548** – hartowanie indukcyjne komory (Hkn)– austenityzowanie: 850±10°C, ~30 sek., chłodzenie olej 30-80°C; odpuszczanie 560±10°C, 1,5 h, powietrze.
- **Operacja nr 730** – odwodorowanie po chromowaniu – 390±10°C, 8,5 h (próżnia), chłodzenie z piecem do 100°C.

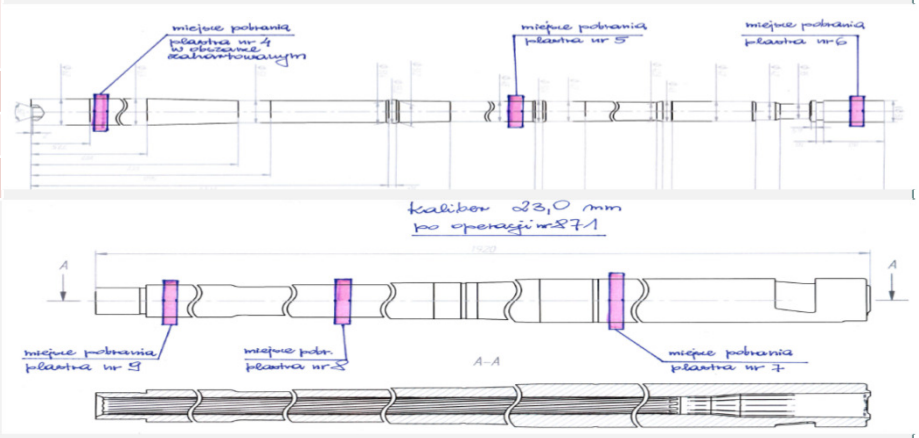


Wyroby ϕ 23,0 mm

Pierwszy komplet wyrobów – oznaczenie: B1					
Nr lufy	Oznaczenie operacji technologicznej	Nr operacji technologicznej	Nr plastra		
C031	I	520	1.1s	2.1s	3.1s
A283	II	531	4.1	5.1	6.1
A337	III	871	7.1	8.1	9.1
Drugi komplet wyrobów – oznaczenie: B2					
Nr lufy	Oznaczenie operacji technologicznej	Nr operacji technologicznej	Nr plastra		
C032	I	520	1.2s	2.2s	3.2s
A286	II	531	4.2	5.2	6.2
A372	III	871	7.2	8.2	9.2



- **Operacja nr 520** – ulepszanie cieplne (UC) i sezonowanie (S)
- UC – austenityzowanie: 840±10°C, 3 h, chłodzenie: woda 20-40°C, odpuszczanie: 600±10°C, 3,5 h, woda 20-40°C, wiercenie otworu (W),
- S - 400±10°C, 4 h, powietrze.
- **Operacja nr 531** – hartowanie komory (Hkn) – austenityzowanie: 860±10°C,18 min, chłodzenie olej 30-80°C; odpuszczanie 380±10°C, 1,5 h, powietrze.
- **Operacja nr 871** – odwodorowanie po chromowaniu: strefa I – 200±10°C, strefa II - 540±10°C, strefa III - 520±10°C, 9,5 h (próżnia), chłodzenie z piecem do 100°C.



Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH

Tabela 1. Wyniki statycznej próby rozciągania próbek pobranych z prętów ze stali 30HN2MFA-Ż

Oznaczenie próbki/ średnica pręta	d_o	R_{eL}/ $R_{p0,2}$*	R_m	A_5	Z
	mm	MPa	MPa	%	%
171/2-1/ 37 mm	9,99	847	922	20,4	66,9
171/2-2/ 37 mm	10,01	836	914	20,1	67,5
Co32/46924-1/ 75 mm	9,94	796*	912	20,0	65,1
Co32/46924-2/ 75 mm	10,01	825*	928	20,1	67,1
Co32/46924-3/ 75 mm	10,01	792*	907	20,0	65,0
*** - wyznaczona umowna granica plastyczności oraz siła odpowiadająca umownej granicy plastyczności są poza zakresem akredytacji PCA nr AB 105**					

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

PGZ

Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

BADANIA SKŁADU CHEMICZNEGO

Tabela 2. Wyniki analizy składu chemicznego badanych prętów

Nr próbki	Zawartość pierwiastków w % wagowych					
171/2-3 pręt ϕ 37 mm	C	Mn	Si	P	S	Cr
	0,288	0,417	0,267	0,008	0,002	**0,714**
	Ni	Mo	Cu	W	V	Al
	2,07	**0,222**	0,234	0,0158	**0,137**	0,0107
Nr próbki	Zawartość pierwiastków w % wagowych					
C032/46924-4 pręt ϕ 75 mm	C	Mn	Si	P	S	Cr
	0,286	0,361	0,245	0,007	0,005	**0,726**
	Ni	Mo	Cu	W	V	Al
	2,03	**0,205**	0,218	0,014*	**0,138**	0,0091

*- wartość poza zakresem akredytacji PCA nr AB 105

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

PGZ

Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

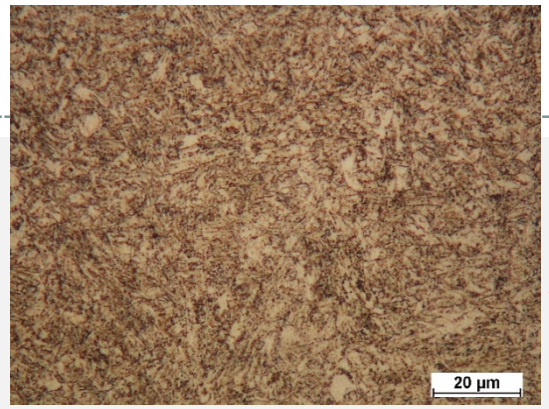
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

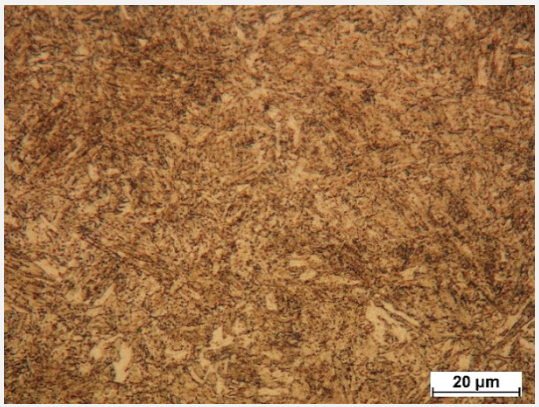
BADANIA STRUKTURY

Wyroby ϕ *7,62 mm*

LM

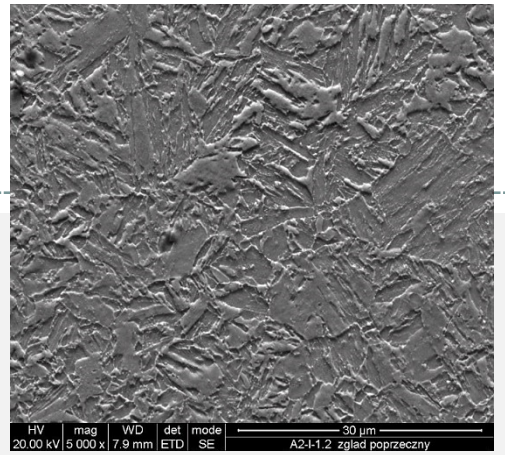


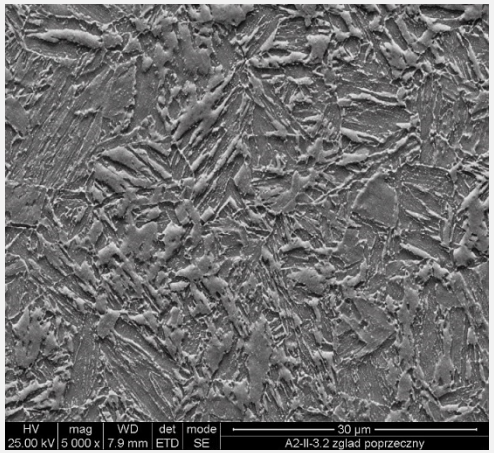
Próbka nr **A2-I-1.2** na przekroju wzdłużnym. Wyrób nr S372. Operacja nr 510 - próbka po zabiegach: UC, S, W i OS



Próbka nr **A2-II-3.2** na przekroju wzdłużnym. Wyrób nr S372. Operacja nr 548 - próbka po zabiegach: UC, S, W, OS i Hkn

SEM





INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

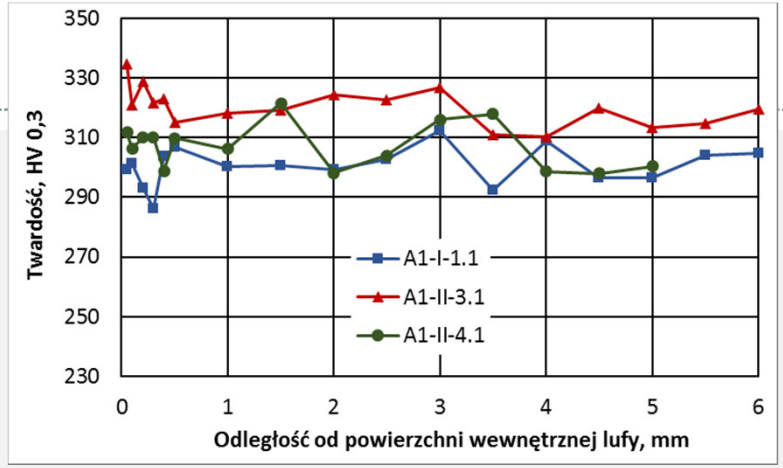
PGZ

Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

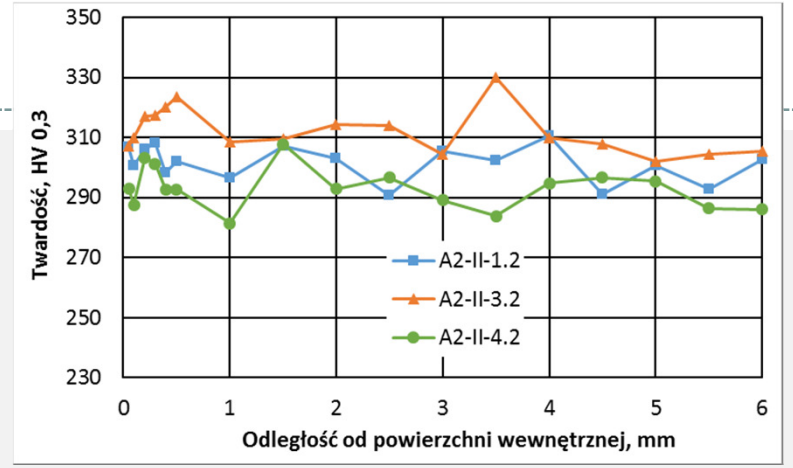
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

POMIARY TWARDOŚCI METODĄ VICKERSA HV 0,3 po operacjach nr 510 i 548 - wyroby ϕ *7,62 mm*



Rozkłady twardości HV 0,3 na przekrojach wzdłużnych próbek pobranych z kompletu A1 wyrobów. Próbka nr **A1-I-1.1** – wyrób nr S371, po operacji nr 510, próbka nr **A1-II-3.1** – wyrób nr S112 po operacji nr 548, obszar komory, próbka nr **A1-II-4.1** – wyrób nr S112 po operacji nr 548, obszar poza komorą



Rozkłady twardości HV 0,3 na przekrojach wzdłużnych próbek pobranych z kompletu A2 wyrobów. Próbka nr **A2-I-1.2** – wyrób nr S372, po operacji nr 510, próbka nr **A2-II-3.2** – wyrób nr S131 po operacji nr 548, obszar komory, próbka nr **A2-II-4.2** – wyrób nr S131 po operacji nr 548, obszar poza komorą

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

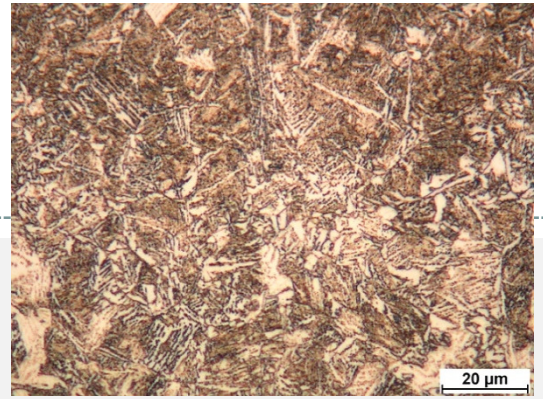
PGZ

Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

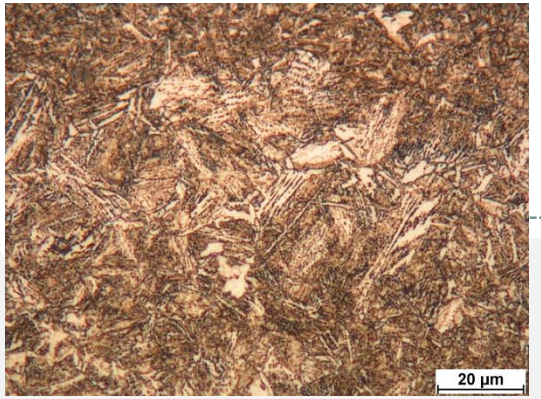
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

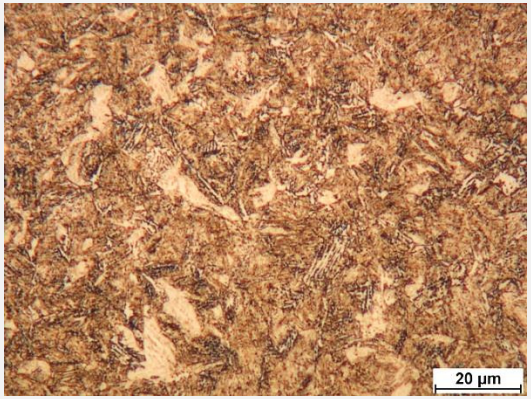
BADANIA STRUKTURY (LM) – wyroby ϕ *23,0 mm*



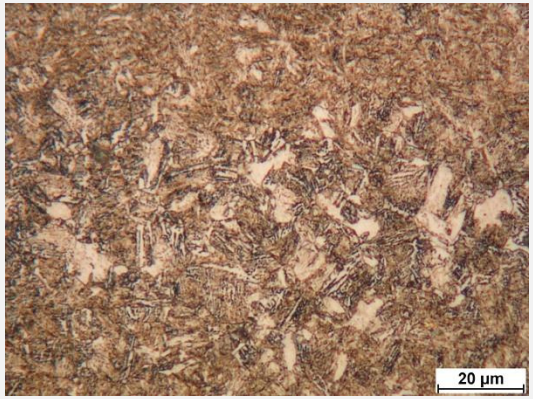
Próbka nr **B1-I-1.1s** na przekroju wzdłużnym. Wyrób nr C031. Operacja nr 520 - próbka po zabiegach: UC, W i S



Próbka nr **B2-I-1.2s** na przekroju wzdłużnym. Wyrób nr C032. Operacja nr 520 - próbka po zabiegach: UC, W i S



Próbka nr **B1-II-4.1** na przekroju wzdłużnym. Wyrób nr A283. Operacja nr 531 - próbka po zabiegach: UC, W, S i Hkn



Próbka nr **B2-II-4.2** na przekroju wzdłużnym. Wyrób nr A286. Operacja nr 531 - próbka po zabiegach: UC, W, S i Hkn

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

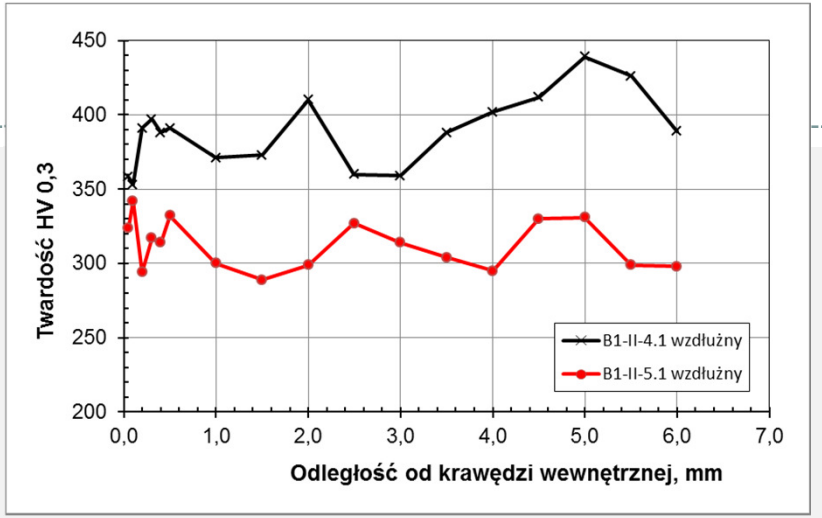
PGZ

Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

POMIARY TWARDOŚCI METODĄ VICKERSA HV 0,3 po operacji nr 531 – *wyrób ϕ 23,0 mm*



Rozkłady twardości HV 0,3 na przekrojach wzdłużnych próbek nr **B1-II-4.1 i B1-II-5.1** pobranych z wyrobu nr A283 po operacji nr 531. Próbka nr **B1-I-4.1** – obszar komory, próbka nr **B1-II-5.1** – obszar poza komorą

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

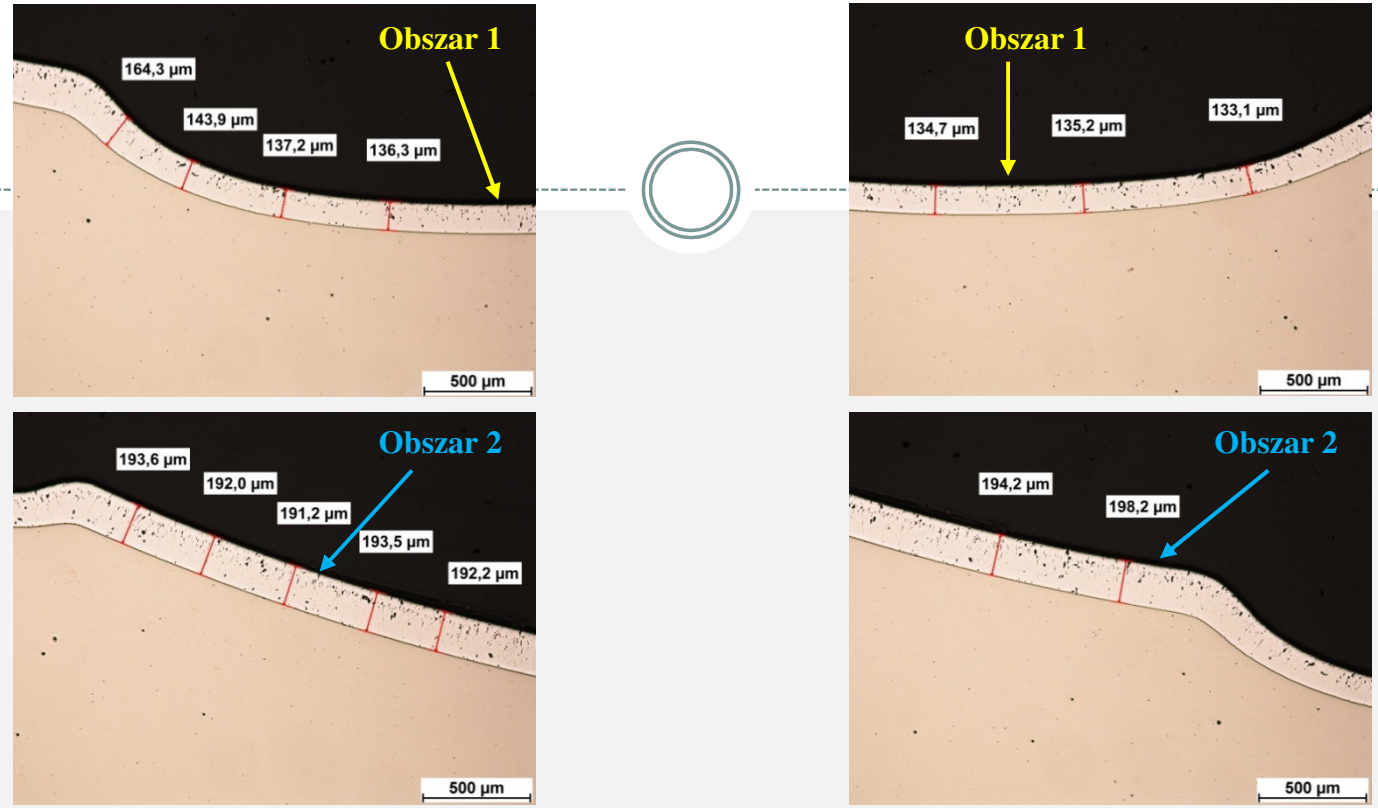
PGZ

Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

POMIARY GRUBOŚCI WARSTWY CHROMU – wyroby ϕ *23,0 mm*



Grubość warstwy chromu na przekroju poprzecznym próbki nr **B1-III-7.1**.
Wyrób nr A337. Operacja nr 871. Obszar 1 – rowek, obszar 2 – między rowkami

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

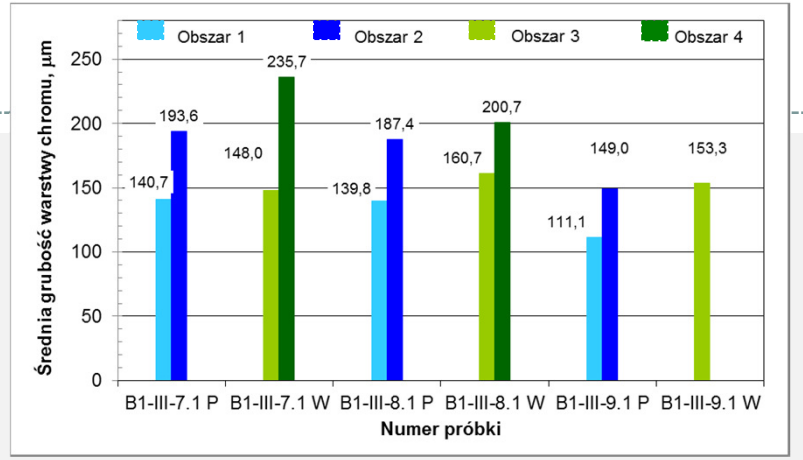
PGZ

Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

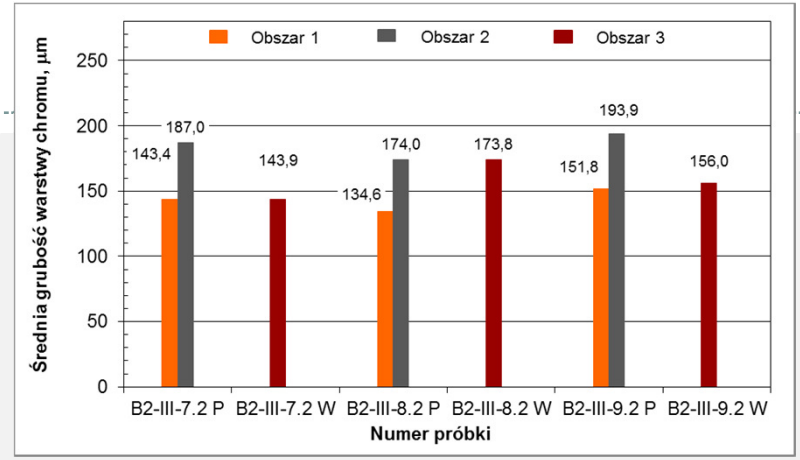
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

POMIARY GRUBOŚCI WARSTWY CHROMU –wyroby ϕ *23,0 mm*



Średnia grubość warstwy chromu na przekrojach poprzecznych (P) i wzdłużnych (W). Wyrób nr A337. Obszar 1 – rowek, próbka P, obszar 2 – między rowkami, próbka P, obszar 3 – rowek, próbka W, obszar 4 – między rowkami, próbka W



Średnia grubość warstwy chromu na przekrojach poprzecznych (P) i wzdłużnych (W). Wyrób nr A372. Obszar 1 – rowek, próbka P, obszar 2 – między rowkami, próbka P, obszar 3 – rowek/ międzyrowkami, próbka W

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

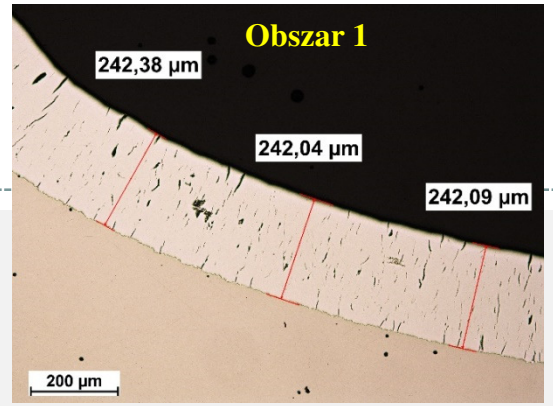
PGZ

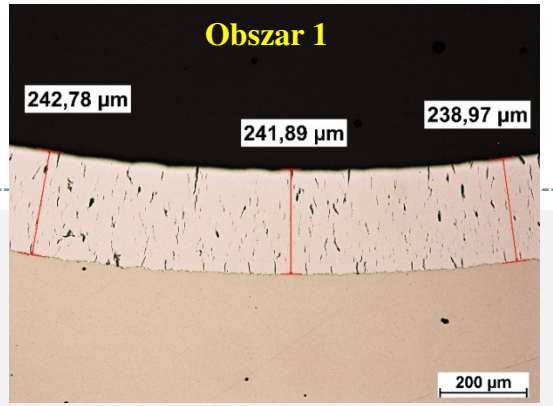
Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

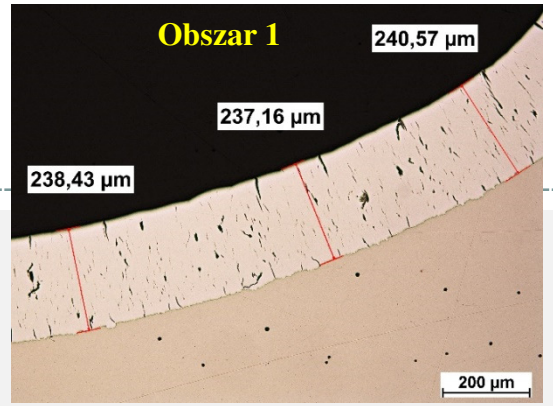
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

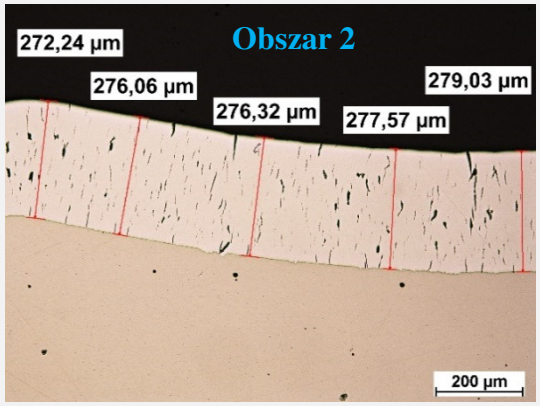
Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

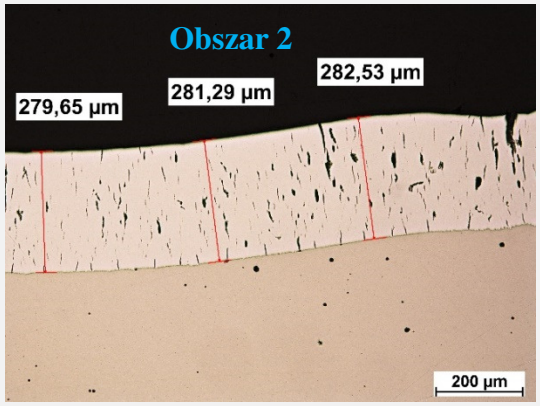
POMIARY GRUBOŚCI WARSTWY CHROMU –wyroby ϕ *7,62 mm*











Grubość warstwy chromu na przekroju poprzecznym próbki nr **A1-III-8.1**.
Wyrób nr S225. Operacja nr 730. Obszar 1 – rowek, obszar 2 – między rowkami

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

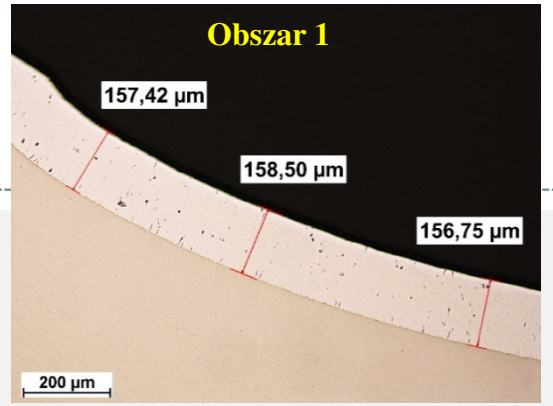
PGZ

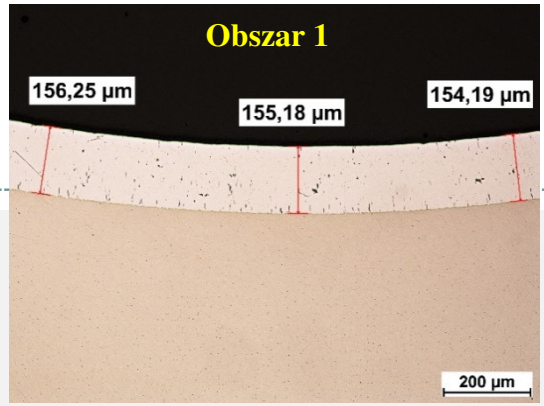
Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

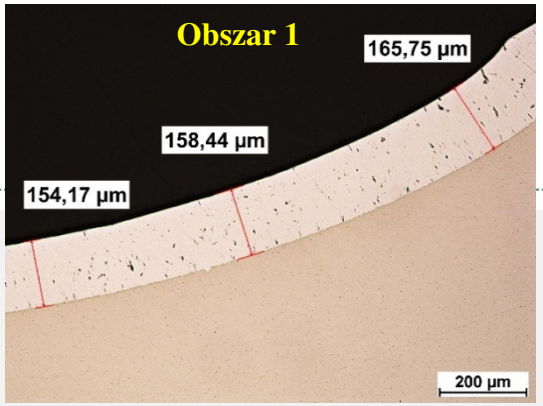
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

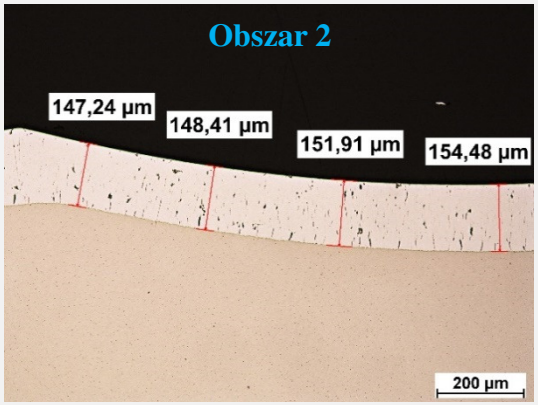
Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

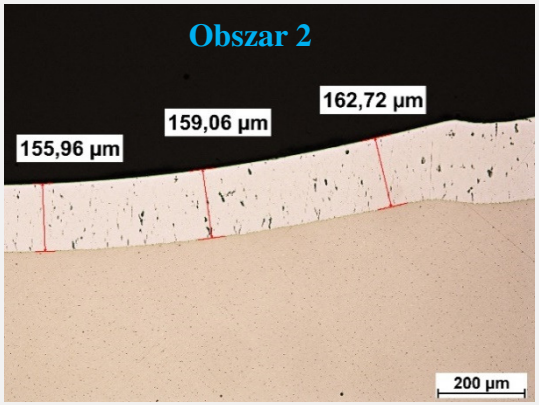
POMIARY GRUBOŚCI WARSTWY CHROMU – wyroby ϕ *7,62 mm*

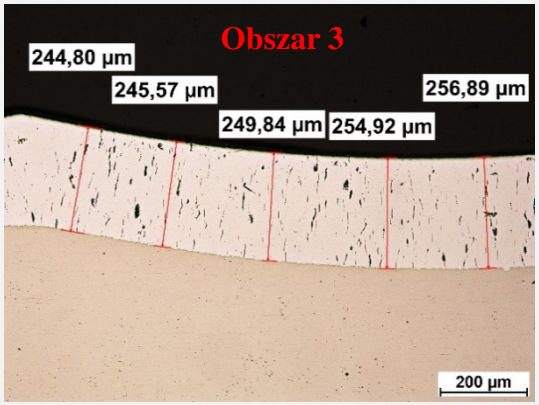












Grubość warstwy chromu na przekroju poprzecznym próbki nr **A2-III-6.2**.
Wyrób nr D033**. Operacja nr 730**. Obszar 1 – rowek, obszar 2 – między rowkami I, obszar 3 - między rowkami II

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

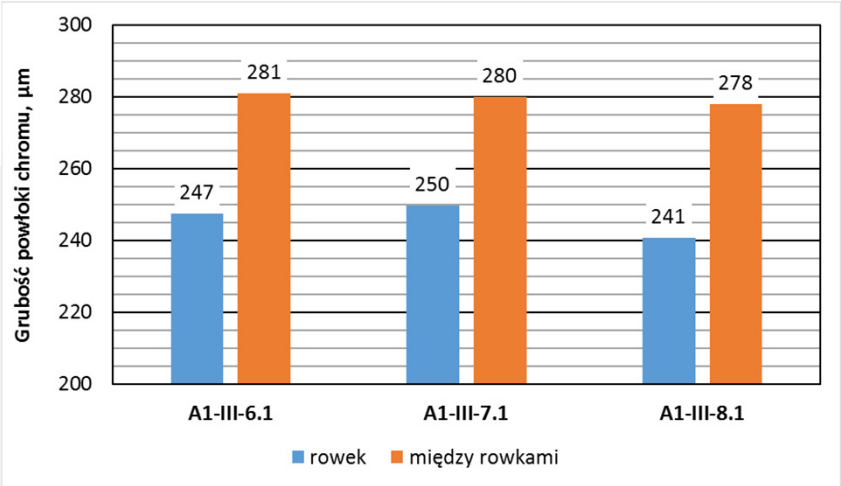
PGZ

Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

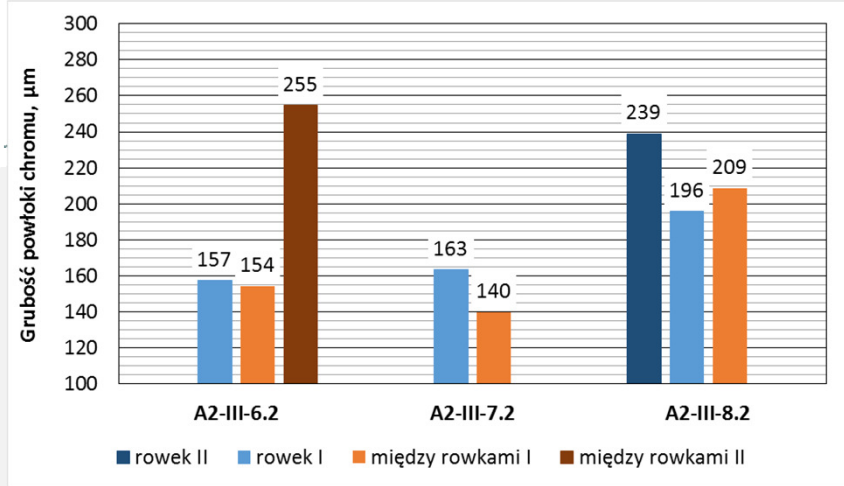
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

POMIARY GRUBOŚCI WARSTWY CHROMU –wyroby ϕ*7,62 mm*



Średnia grubość warstwy chromu na przekrojach poprzecznych (P). Wyrób nr D033. Operacja nr 730



Średnia grubość warstwy chromu na przekrojach poprzecznych (P). Wyrób nr S225. Operacja nr 730

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

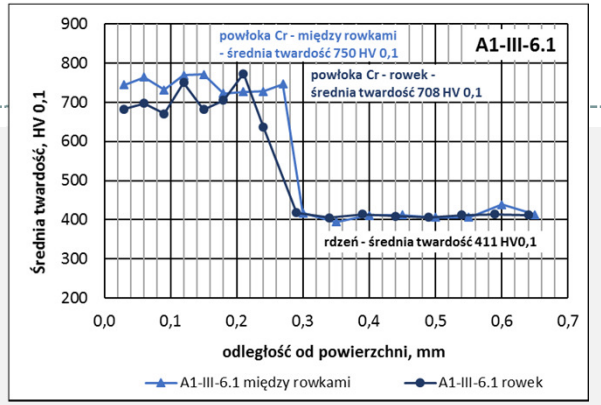
PGZ

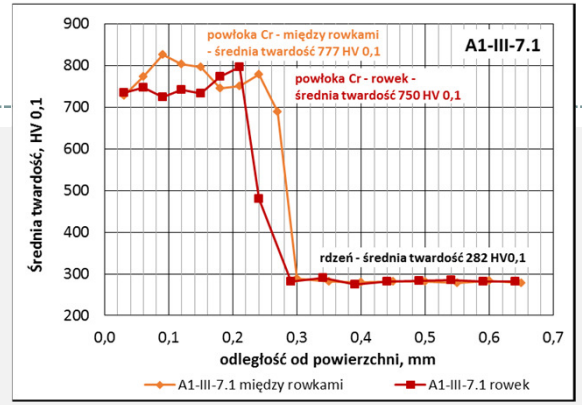
Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

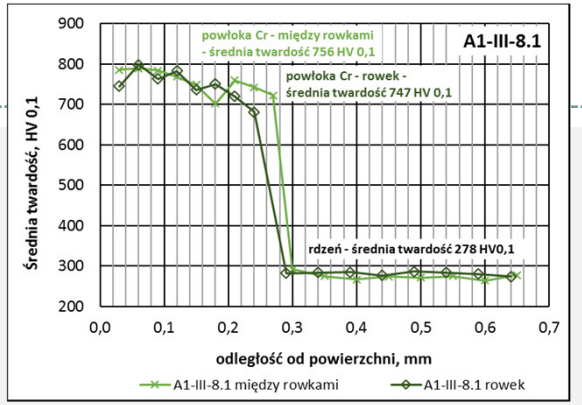
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

POMIARY TWARDOŚCI METODĄ VICKERSA HV 0,1 po operacji nr 730 – wyrób ϕ *7,62 mm*







Rozkłady twardości HV 0,1 na przekrojach poprzecznych próbek pobranych z wyrobu nr D033 po operacji nr 730. Próbka nr **A1-III-6.1** –obszar komory, próbka nr **A1-III-7.1** - obszar poza komorą, próbka nr **A1-III-8.1** - obszar poza komorą

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

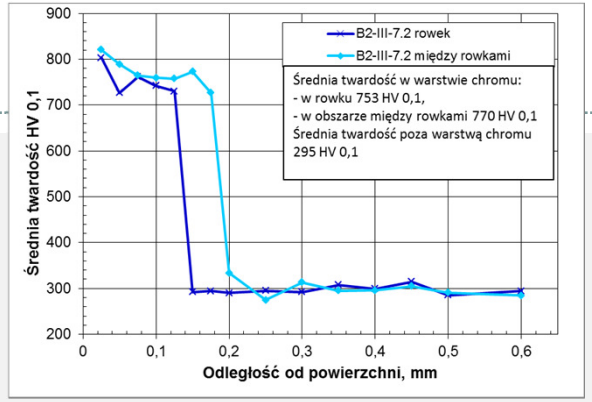
PGZ

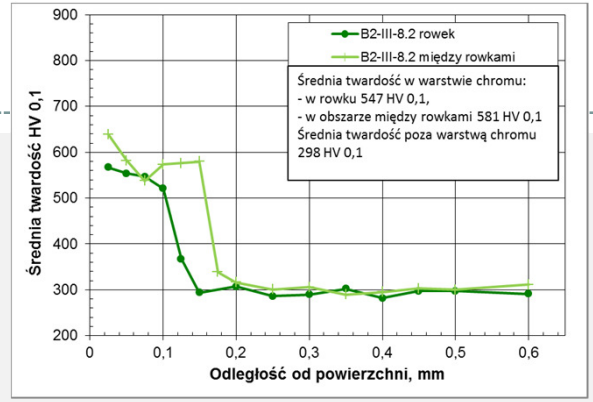
Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

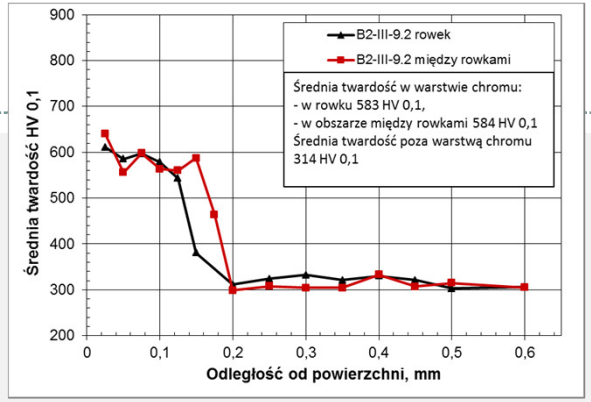
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

POMIARY TWARDOŚCI METODĄ VICKERSA HV 0,1 po operacji nr 871 – *wyrób ϕ 23,0 mm*







Rozkłady twardości HV 0,1 na przekrojach poprzecznych próbek pobranych z wyrobu nr A372 po operacji nr 871. Próbka nr **B2-III-7.2** –obszar komory, próbka nr **B2-III-8.2** - obszar poza komorą, próbka nr **B2-III-9.2** - obszar poza komorą

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

PGZ

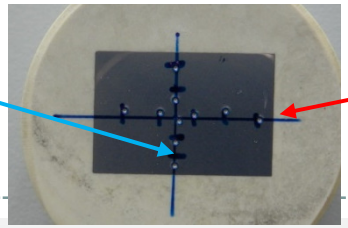
Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

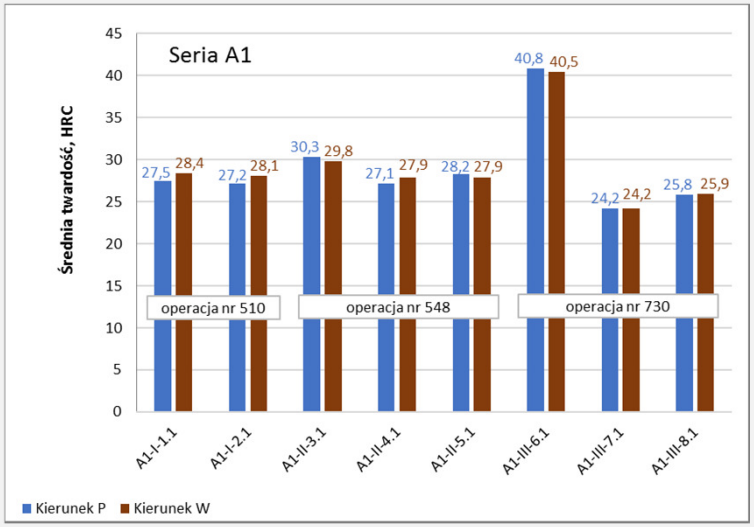
Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

POMIARY TWARDOŚCI METODĄ ROCKWELLA (HRC) – *wyroby ϕ 7,62 mm*

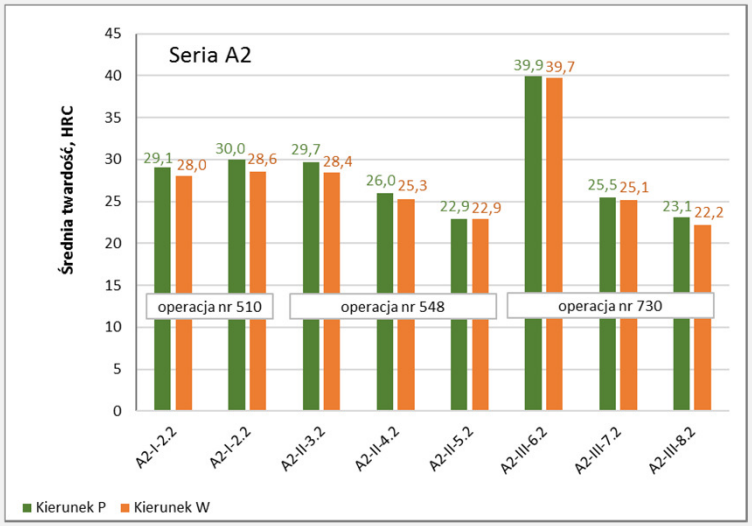
Kierunek poprzeczny (P) pomiarów HRC



Kierunek wzdłużny (W) pomiarów HRC



Średnia twardość HRC na przekrojach wzdłużnych próbek pobranych z wyrobów nr S371, S112 i D033 zmierzona w kierunkach wzdłużnym i poprzecznym



Średnia twardość HRC na przekrojach wzdłużnych próbek pobranych z wyrobów nr S372, S131 i S225 zmierzona w kierunkach wzdłużnym i poprzecznym

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

PGZ

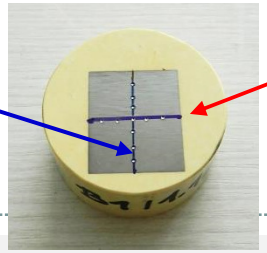
Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

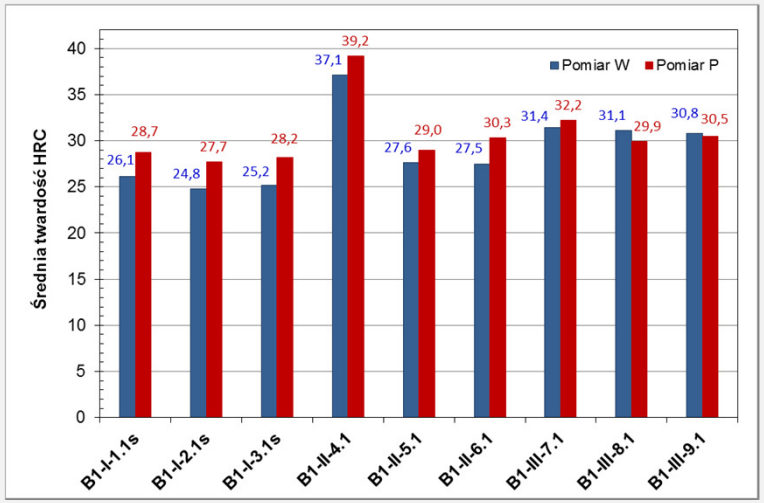
Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

POMIARY TWARDOŚCI METODĄ ROCKWELLA (HRC) – *wyroby ϕ 23,0 mm*

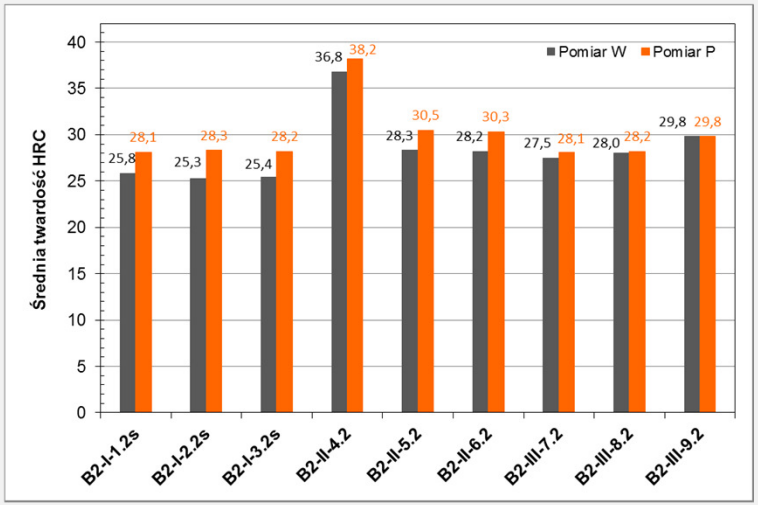
Kierunek poprzeczny (P) pomiarów HRC



Kierunek wzdłużny (W) pomiarów HRC



Średnia twardość HRC na przekrojach wzdłużnych próbek pobranych z wyrobów nr C031, A283 i A337 zmierzona w kierunkach wzdłużnym i poprzecznym



Średnia twardość HRC na przekrojach wzdłużnych próbek pobranych z wyrobów nr C032, A286 i A372 zmierzona w kierunkach wzdłużnym i poprzecznym

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

PGZ

Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

WNIOSKI

Wyroby ϕ 7,62 mm

- strukturę wszystkich zbadanych próbek pobranych z kompletów A1 i A2 wyrobów ze stali 30HN2MFA-Ż, zarówno po operacji nr 510, jak i 548, stanowi wysokoodpuszczony martenzyt,
- średnia grubość warstwy chromu w próbkach pobranych z wyrobu nr D033 (komplet A1) w obszarze rowków wynosi 240-250 µm i mieści się w zakresie zalecanym przez producenta (180 - 270 µm). W obszarze między rowkami średnia grubość warstwy chromu wynosi 278-281 µm i przekracza maksymalną zalecaną wartość (270 µm),
- w próbkach pobranych z kompletu A2 wyrobu nr S225, występują znaczne rozbieżności w grubości warstwy chromu w ramach jednego badanego plastra, np. średnia grubości warstwy chromu w przypadku dwóch różnych obszarów między rowkami próbki A2-III-6.2 wynosi 154 µm (obszar między rowkami I) oraz 255 µm (obszar między rowkami II),
- twardość warstwy chromu w próbkach pobranych z obydwu kompletów wyrobów po operacji nr 730 mieści się w zakresie 705-777 HV 0,1. Nie zaobserwowano różnic w twardości warstwy chromu w obszarze rowków oraz miedzy rowkami, ani w zależności od miejsca pobrania próbek do badań (obszar hartowania komory lub poza tym obszarem),
- próbki pobrane z obszaru hartowania komory po operacji nr 548 wykazują tylko nieznaczny wzrost twardości (o kilkanaście jednostek HV 0,3) w stosunku do próbek po operacji nr 510 oraz 548 w obszarze poza komorą w obydwu badanych kompletach luf. Różnica w wynikach pomiarów twardości w skali HRC jest praktycznie niezauważalna. Należało oczekiwać, że operacja hartowania komory wyrobów nr S112 i S131 powinna skutkować wyższym wzrostem twardości w porównaniu z innymi obszarami tych wyrobów,
- nie zaobserwowano wyraźniej różnicy twardości w obszarze hartowania komory oraz poza nią po operacji 548, podczas gdy po operacji nr 730 różnica ta jest wyraźna i wynosi ponad 100 jednostek HV 0,3 oraz ok. 10 w skali HRC, co wskazuje na niestabilność procesu hartowania komory wyrobu.

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

PGZ

Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

WNIOSKI

Wyroby ϕ 23,0 mm

- strukturą próbek pobranych z kompletów B1 i B2 wyrobów ze stali 30HN2MFA-Ż po ulepszaniu cieplnym i sezonowaniu był odpuszczony bainit. W wyniku hartowania obszaru komory otrzymano bainit, który charakteryzował się drobniejszymi ziarnami, niż otrzymany w wyniku ulepszania cieplnego,
- warstwa chromu w przewodach wyrobów nr A337 i A372 charakteryzowała się zmienną grubością – w rowkach była mniejsza, niż w obszarach między rowkami. Wyroby te nie spełniały przede wszystkim wymagania grubości warstwy chromu w rowkach, ponieważ średnia grubość w tych obszarach nie przekraczała 152 µm. Minimalna zalecana przez producenta grubość warstwy chromu wynosi 170 µm, a maksymalna 220 µm.
- największą średnią twardością w warstwie chromu charakteryzowały się próbki pobrane ze strefy hartowania komory, która wynosiła 753-770 HV 0,1 dla próbki nr B2-III-7.2 (wyrób nr A 372). Z kolei, poza strefą hartowania komory, największą średnią twardość w warstwie chromu miała próbka nr B1-III-9.1 (wyrób A337), która wyniosła 592-603 HV 0,1 w obszarach rowka i między rowkami,
- próbki pobrane z wyrobów ulepszonych cieplnie i sezonowanych nr C031 i C032 charakteryzowały się zbliżoną średnią twardością od 24,8 HRC do 28,7 HRC dla kompletu B1 oraz zmieniającą się od 25,3 HRC do 28,3 HRC dla próbek kompletu B2.
- hartowanie komory spowodowało zwiększenie średniej twardości próbki nr B1-II-4.1 od 37,1 HRC do 39,2 HRC dla obu mierzonych kierunków. Różnica wartości średnich tej próbki oraz próbki nr B2-II-4.2 nie przekraczała 1 HRC,
- - nie zauważono efektu zwiększenia twardości stali wskutek hartowania komory po operacji odwodorowania chromowanych przewodów wyrobów nr A337 i A372 (próbki nr B1-III-7.1 i B2-III-7.2). Wyniki pomiarów twardości HRC oraz badań rozkładów twardości HV 0,1 na przekrojach poprzecznych tych próbek, są potwierdzeniem braku stabilności procesu hartowania komory lub reżimu temperatury prowadzenia wyżarzania (odwodorowania) po procesie chromowania przewodów ww. wyrobów.

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

PGZ

Fundusze Europejskie Inteligentny Rozwój

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

pachutko@inop.poznan.pl
justyna.rozwalka@inop.poznan.pl

INOP

Zakłady Mechaniczne Tarnów

PGZ