

Krzysztof RADWAŃSKI, Jerzy WIEDERMANN

Instytut Metalurgii Żelaza

Andrzej ADAMIEC

Przeróbka Plastyczna na Zimno-Baildon Sp. z o.o.

Jarosław GAZDOWICZ

Instytut Metalurgii Żelaza

STRUKTURA I WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE SUPER CIENKICH TAŚM ZE STALI ODPORNYCH NA KOROZJĘ WYTWARZANYCH W PROCESIE WALCOWANIA NA ZIMNO

Celem pracy jest określenie wpływu procesu walcowania na zimno super cienkich taśm ze stali w gatunku X6CrMo17-1 i X2CrTiNb18 na ich właściwości mechaniczne i strukturę. Taśmy produkowane są przez firmę Przeróbka Plastyczna na Zimno-Baildon Sp. z o.o. o grubości $\leq 0,1$ mm stosowane m. in. na wkładki do taśm z tworzyw sztucznych, które przeznaczone są do oznakowania podziemnej infrastruktury przesyłowej. Właściwości mechaniczne taśm wyznaczono w statycznej próbie rozciągania. Badania struktury taśm wykonano za pomocą mikroskopu świetlnego oraz elektronowego mikroskopu skaningowego z zastosowaniem m.in. metody EBSD. Wytwarzanie super cienkiej taśmy o grubości 0,1 mm ze stali X6CrMo17-1 metodą walcowania na zimno z taśmy wyjściowej o grubości 0,5 mm spowodowało zwiększenie granicy plastyczności z 325 do 980MPa oraz wytrzymałości na rozciąganie z 535 do 1014MPa. Dla taśm ze stali X2CrTiNb18 dla tej samej grubości początkowej i końcowej uzyskano wzrost granicy plastyczności z 320 do 945 MPa oraz wytrzymałości na rozciąganie z 480 do 980 MPa. Zwiększenie odkształcenia powoduje zatem znaczne umocnienie materiału a tym samym następują zmiany struktury. W przypadku taśm ze stali X6CrMo17-1 następuje przekształcanie się granic wąskokątowych w granice szerokokątowe i powstają nowe ziarna. Dla taśm ze stali X2CrTiNb18 zwiększenie odkształcenia powoduje ciągły wzrost udziału granic wąskokątowych. Po walcowaniu z gniotem całkowitym $\epsilon_{hc} = 0,80$ maleje średnia średnica ziarna (dla taśm ze stali X6CrMo17-1 rozmiar ziarna z 5,5 μm w stanie wyjściowym do 1,2 μm , dla taśm ze stali X2CrTiNb18 z 15,6 μm w stanie wyjściowym do 4,0 μm).

Słowa kluczowe: stal X6CrMo17-1 i X2CrTiNb18, walcowanie na zimno, właściwości mechaniczne, struktura, EBSD

THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF SUPER THIN STRIPS MADE OF STAINLESS STEELS MANUFACTURED IN COLD ROLLING PROCESS

The purpose of the work is to determine the effect of cold rolling process of super thin strips made of X6CrMo17-1 and X2CrTiNb18 steel on their mechanical properties and structure. The strips manufactured by Przeróbka Plastyczna na Zimno – Baildon Sp. z o.o. with thickness ≤ 0.1 mm are used, among other things, for inserts of plastic tapes designed for marking underground transmission infrastructure. Mechanical properties of strips were determined in the static tensile test. The investigations of strip structure were carried out under light microscope and electron scanning microscope using, among other things, the EBSD method. The manufacture of super thin X6CrMo17-1 steel strip with thickness of 0.1 mm from initial strip with thickness of 0.5 mm by cold rolling method resulted in the increase in yield point from 325 to 980MPa and tensile strength from 535 to 1014MPa. For X2CrTiNb18 steel strips with the same initial and final thickness the increase in yield point from 320 to 945 MPa and tensile strength from 480 to 980MPa was observed. Therefore, the increase in strain results in significant material hardening, and thus changes in the structure occur. In case of X6CrMo17-1 steel strips the low-angle boundaries are converted into high-angle ones and new grains occur. For X2CrTiNb18 steel strips the increase in strain results in continuous growth in the share of low-angle boundaries. After rolling with total draft of $\epsilon_{hc} = 0.80$ a decrease in average grain diameter is observed (for X6CrMo17-1 steel strips the grain size decreases from 5.5 μm in initial state to 1.2 μm and for X2CrTiNb18 steel strips – from 15.6 μm in initial state to 4.0 μm).

Keywords: X6CrMo17-1 and X2CrTiNb18 steel, cold rolling, mechanical properties, structure, EBSD

1. WSTĘP

Rozwój infrastruktury przesyłowej w sektorach telekomunikacji, gazownictwa, wodociągach i energetyce, zwiększa popyt na znaczniki przebiegu linii przesyłowych, które ułatwiają lokalizację kabli i rurociągów. Produkowane są one z tworzyw sztucznych, wewnątrz których umieszczane są wkładki z super cienkich taśm ze stali odpornych na korozję o grubościach $\leq 0,1$ mm.

Produkcja taśm walcowanych na zimno w Polsce obejmuje taśmy ze stali konstrukcyjnych, sprężynowych i narzędziowych zarówno o prostych, jak i zaokrąglonych narożach [1, 2]. W związku z istniejącym zapotrzebowaniem na super cienkie taśmy ze stali odpornych na korozję firma Przeróbka Plastyczna na Zimno – Baildon Sp. z o.o. wspólnie z Instytutem Metalurgii Żelaza uruchomiła produkcję takich taśm.

W ramach prac [3, 4] określono właściwości mechaniczne i strukturę super cienkich taśm wykonanych ze stali X6Cr17 w procesie przeróbki plastycznej na zimno oraz obróbki cieplnej. Przedmiotem niniejszej pracy jest scharakteryzowanie właściwości mechanicznych i struktury super cienkich taśm ze stali X6CrMo17-1 i X2CrTiNb18 walcowanych na zimno. Wybór stali wynika z ich przeznaczenia jako identyfikatora lokalizowanego za pomocą pomiarów magnetycznych. Z tego względu powinna to być stal o strukturze ferrytycznej niezaburzonej poprzez przemianę fazową $\delta \rightarrow \gamma$, nawet w przypadku konieczności wyżarzania międzyoperacyjnego w trakcie wieloprzepustowego walcowania na zimno.

2. MATERIAŁ, ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Materiał do badań stanowiły taśmy wyjściowe o grubości 0,5 mm ze stali X6CrMo17-1 i X2CrTiNb18, których skład chemiczny podano w tablicy 1.

Taśmy przed walcowaniem wyżarzano w temperaturze 800°C, a proces walcowania na zimno prowadzono w czterowalcowej walcarni nawrotnej FROHLING 200.

Walcowanie na zimno taśm z obu gatunków stali prowadzono z grubości wyjściowej 0,50 mm na grubość końcową równą 0,10 mm. Walcowanie realizowano w 4 przepustach w następującym rozkładzie gniotów: I przepust 0,50 \rightarrow 0,28 mm, II przepust 0,28 \rightarrow 0,16 mm, III przepust 0,16 \rightarrow 0,12 mm i IV przepust 0,12 \rightarrow 0,10 mm.

Po walcowaniu wyznaczono:

– gniot względny w i -tym przepuście:

$$\varepsilon_{hi} = \frac{h_{i-1} - h_i}{h_{i-1}} \quad (1)$$

gdzie:

h_{i-1} – grubość taśmy po przepuście $i-1$, mm,

h_i – grubość taśmy po i -tym przepuście, mm.

Tablica 1. Skład chemiczny badanych taśm

Table 1. Chemical composition of tested strips

Gatunek stali Nr mat.	Pierwiastek %mas.										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	Ti	N
X6CrMo17-1 (1.4113)	0,080	0,47	0,30	0,020	<0,01	17,0	0,98	0,15	<0,01	<0,01	0,031
X2CrTiNb18 (1.4509)	0,03	0,61	0,23	0,020	<0,01	18,0	0,03	0,20	0,38	0,18	0,012

– oraz całkowity gniot względny po i -tym przepuście:

$$\varepsilon_{hCi} = \frac{h_0 - h_i}{h_0} \quad (2)$$

gdzie:

h_0 – grubość początkowa, mm,

h_i – grubość po i -tym przepuście, mm.

Wyniki obliczeń na podstawie zależności (1 i 2) przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2. Grubość i wartości gniotu pojedynczego i całkowitego po kolejnych przepustach w procesie walcowania na zimno taśm ze stali X6CrMo17-1 i X2CrTiNb18

Table 2. Thickness and values of single and total draft after consecutive roll passes in cold rolling of X6CrMo17-1 and X2CrTiNb18 steel strips

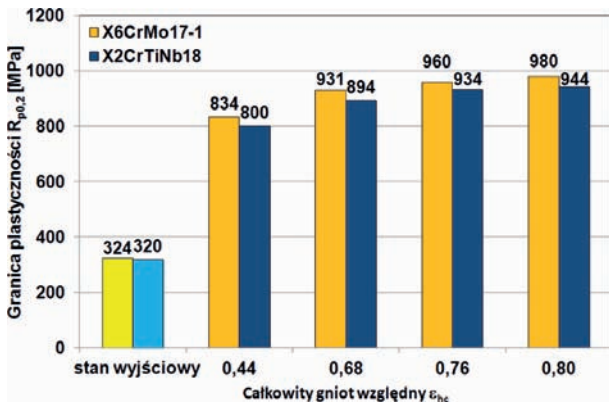
Nr przepustu	Grubość taśmy po kolejnych przepustach [mm]	Gniot	
		ε_{hi}	ε_{hCi}
0	0,50	0,00	0,00
1	0,28	0,44	0,44
2	0,16	0,43	0,68
3	0,12	0,25	0,76
4	0,10	0,17	0,80

Właściwości mechaniczne taśm wyznaczono w statycznej próbie rozciągania na próbkach pobranych przed walcowaniem i po kolejnych przepustach. Pomiarzy wydłużenia realizowano na bazie pomiarowej o początkowej długości równej 80 mm. Pomiarzy twardości Vickersa HV0,1 wykonano na przekrojach wzdłużnych do kierunku walcowania. Badania struktury taśm wykonano za pomocą mikroskopu świetlnego i mikroskopu skaningowego z zastosowaniem metody EBSD [5÷7]. Badania za pomocą mikroskopu świetlnego przeprowadzono na zglądach wzdłużnych do kierunku walcowania, natomiast badania metodą EBSD na powierzchniach walcowanych próbek bez trawienia przy napięciu przyspieszającym wiązki elektronów 22 kV. Obszarem analizy objęto każdorazowo powierzchnię 3220 μm^2 , a krok skanowania wynosił 0,20 μm .

Wyniki badań pozwoliły na wyznaczenie wpływu gniotu całkowitego na właściwości mechaniczne i strukturę taśm z badanych stali.

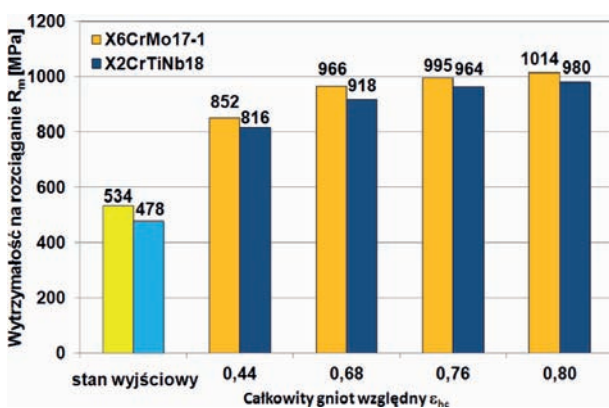
3. WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań właściwości mechanicznych taśm przed i po walcowaniu przedstawiono na rysunkach 1÷3. Taśmy ze stali X6CrMo17-1 przed odkształceniem, w stanie wyżarzonym, charakteryzowały się właściwościami mechanicznymi: $R_{p0,2} = 324$ MPa, $R_m = 534$ MPa i twardością 174HV0,1, a właściwości mechaniczne taśm ze stali X2CrTiNb18 w stanie wyżarzonym wynosiły: $R_{p0,2} = 320$ MPa, $R_m = 478$ MPa i twardość 182HV0,1. Charakterystyczne jest, że granica plastyczności taśm po pierwszym przepuście walcowania



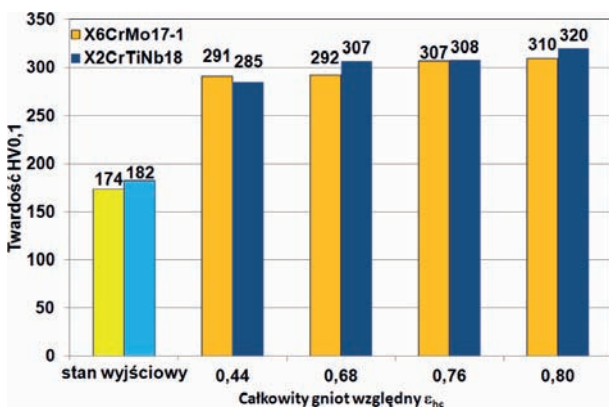
Rys. 1. Wpływ całkowitego gniotu względnego ϵ_{hc} na granicę plastyczności $R_{p0,2}$

Fig. 1. Effect of total relative draft ϵ_{hc} on yield point $R_{p0,2}$



Rys. 2. Wpływ całkowitego gniotu względnego ϵ_{hc} na wytrzymałość na rozciąganie R_m

Fig. 2. Effect of total relative draft ϵ_{hc} on tensile strength R_m



Rys. 3. Wpływ całkowitego gniotu względnego ϵ_{hc} na twardość

Fig. 3. Effect of total relative draft ϵ_{hc} on hardness

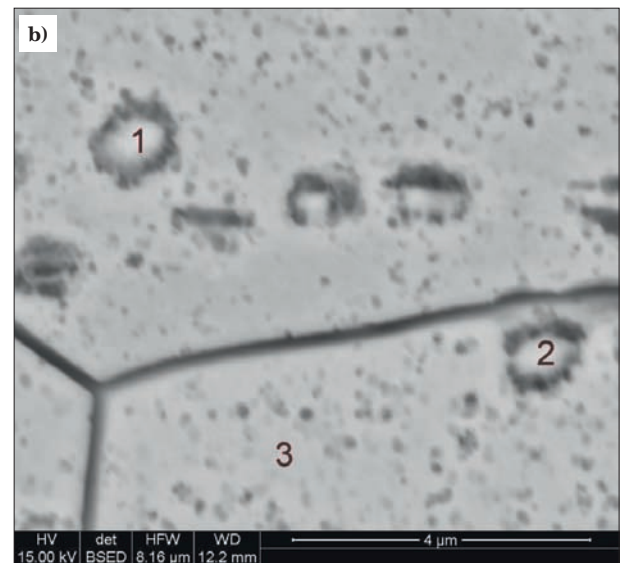
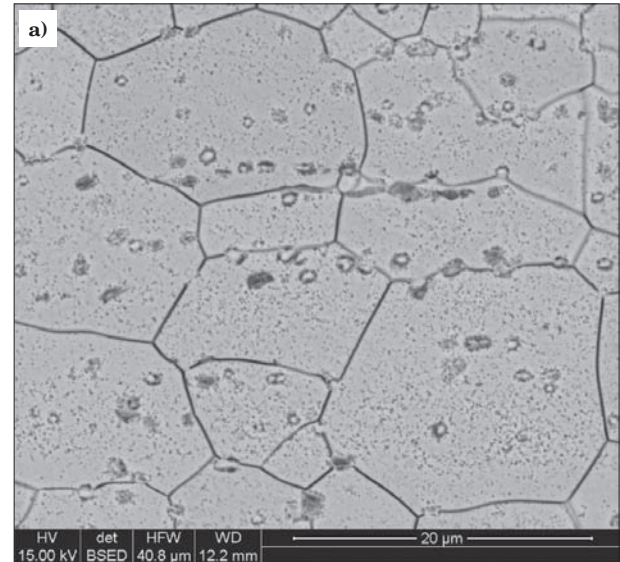
na zimno z gniotem względnym $\epsilon_{hc} = 0,44$ jest około dwuipółkrotnie wyższa w porównaniu do materiału wyjściowego. Zwiększenie całkowitego gniotu w kolejnych przepustach powoduje dalszy nieznaczny wzrost właściwości mechanicznych. Końcowe właściwości po odkształceniu z gniotem całkowitym $\epsilon_{hc} = 0,80$ są następujące:

– $R_{p0,2} = 980\text{MPa}$, $R_m = 1014\text{MPa}$, twardość 310HV0,1 dla taśm ze stali X6CrMo17-1,

– $R_{p0,2} = 944\text{MPa}$, $R_m = 980\text{MPa}$, twardość 320HV0,1 dla taśm ze stali X2CrTiNb18.

Procentowe przyrosty granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie po kolejnych przepustach dla obydwu gatunków stali są bardzo podobne.

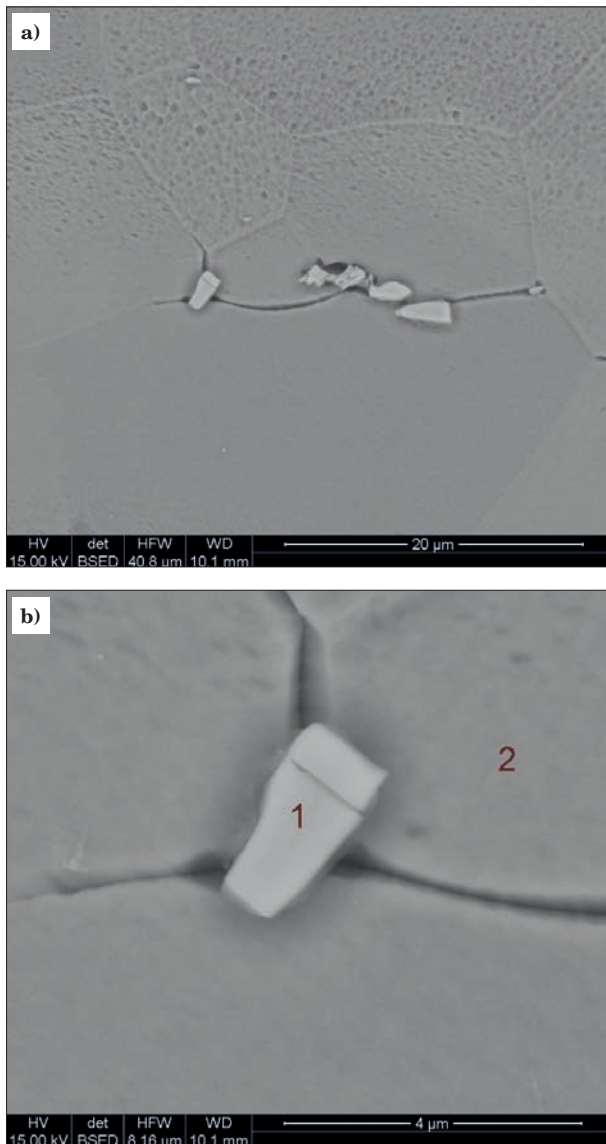
Wyniki badań mikrostruktury taśm w stanie wyjściowym oraz po kolejnych przepustach w procesie walcowania na zimno przedstawiono na rysunkach 4÷11.



Pierwiastek	% mas.		
	Obszar 1	Obszar 2	Obszar 3
C	1,5	1,1	–
Si	0,3	0,4	0,6
Mo	4,6	4,1	1,0
Cr	47,5	45,5	15,2
Mn	–	–	0,4
Fe	46,1	48,9	82,8

Rys. 4. Mikrostruktura taśmy ze stali X6CrMo17-1 w stanie wyjściowym oraz wyniki mikroanalizy składu chemicznego: a) pow. 2000 \times , b) pow. 10 000 \times

Fig. 4. Microstructure of X6CrMo17-1 steel strip in initial state and results of chemical microanalysis: a) mag. 2000 \times , b) mag. 10 000 \times



Pierwiastek	Wt %	
	Obszar 1	Obszar 2
C	3,2	–
Nb	76,1	–
Si	–	0,6
Ti	13,3	–
Cr	2,1	17,6
Mn	–	0,3
Fe	5,3	81,5

Rys. 5. Mikrostruktura taśmy ze stali X2CrTiNb18 w stanie wyjściowym oraz wyniki mikroanalizy składu chemicznego: a) pow. 2000 \times , b) pow. 10 000 \times

Fig. 5. Microstructure of X2CrTiNb18 steel strip in initial state and results of chemical microanalysis: a) mag. 2000 \times , b) mag. 10 000 \times

Taśmy z obu badanych stali po wyżarzaniu posiadają strukturę ferrytyczną z wydzieleniami węglików (rys. 4 i 5).

W mikrostrukturze stali X6CrMo17-1 występują węgliki zawierające chrom i molibden (rys. 4). Węgliki występują zarówno na granicach jak i wewnątrz ziarn

ferrytu. W mikrostrukturze taśm ze stali X2CrTiNb18 węgliki zawierają niob i tytan oraz występują głównie na granicach ziarn ferrytu (rys. 5).

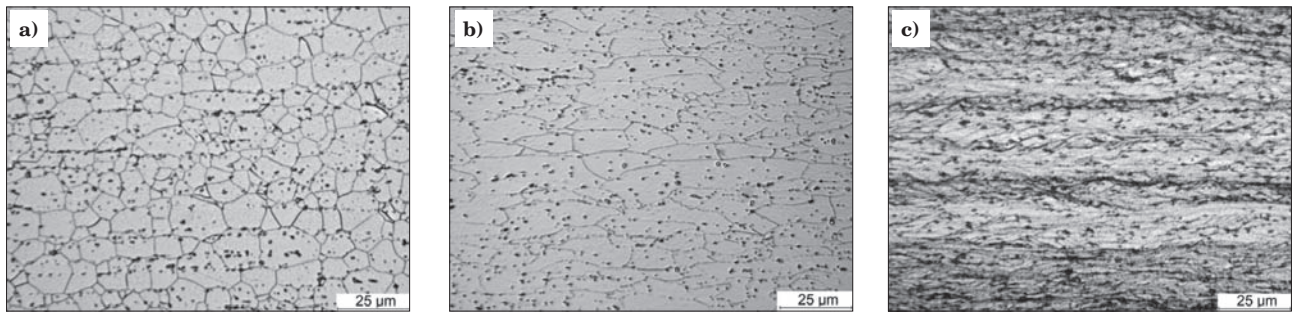
W stanie wyjściowym do walcowania obserwuje się jednorodną strukturę osnowy (rys. 6a i 7a). Zadany gniot w kolejnych przepustach walcowania na zimno powoduje zwiększenie zdefektowania struktury taśm i wydłużenie ziarn w kierunku walcowania (rys. 6b ÷ 7b). Po walcowaniu z całkowitym gniosem $\varepsilon_{hc} = 0,80$ na przekroju taśm obserwuje się zdefektowane pasma odkształcenia równoległe do kierunku walcowania (rys. 6c, 7c).

W stanie wyjściowym i po odkształceniu w strukturze taśm ze stali X6CrMo17-1 i X2CrTiNb18 dominuje orientacja ziarn/podziarn w kierunku [111] równoległym do kierunku walcowania, który jest kierunkiem silnego namagnesowania (rys. 8 i 9). Przed walcowaniem na zimno w strukturze taśmy występuje porównywalny udział granic wąskokątowych i szerokokątowych (rys. 8a, 9a, 10a, 11a). Walcowanie na zimno powoduje wzrost udziału granic szerokokątowych, które dominują w strukturze (rys. 8b ÷ d, 9b ÷ d, 10b ÷ d, 11 b ÷ d). W przypadku taśm ze stali X6CrMo17-1 wraz ze zwiększeniem gniosem całkowitego obserwuje się przekształcanie granic wąskokątowych w granice szerokokątowe (rys. 8, 10). Granice szerokokątowe tworzą strukturę ziarnową. Nowe, drobne ziarna powstają głównie na granicach odkształconych ziarn dużych (rys. 8b ÷ d). Po walcowaniu z całkowitym gniosem $\varepsilon_{hc} = 0,80$ w strukturze obserwuje się występowanie zarówno dużych odkształconych ziarn o wysokim udziale granic szerokokątowych jak i drobnych, w których nie występują granice wąskokątowe lub ich udział jest mały (rys. 8d). W przypadku taśm ze stali X2CrTiNb18 zwiększenie odkształcenia powoduje ciągły przyrost udziału granic wąskokątowych (rys. 9, 11). Jednak proces przekształcania granic wąskokątowych w szerokokątowe zachodzi w znacznie mniejszym stopniu niż w stali X6CrMo17-1 (rys. 9). Po odkształceniu taśm ze stali X2CrTiNb18 z największym gniosem, udział granic szerokokątowych w strukturze wynosi zaledwie około 7% podczas gdy 16% w przypadku taśm ze stali X6CrMo17-1 odkształconych z porównywalnym gniosem całkowitym.

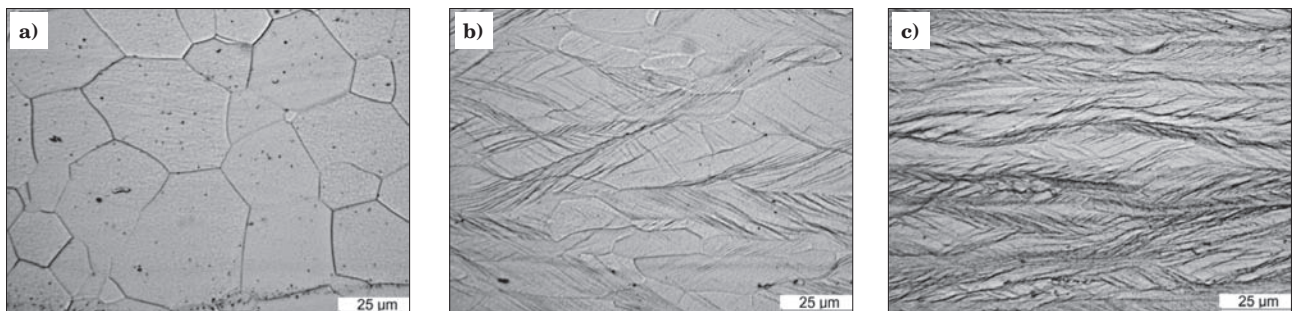
Przyjęcie wartości kątów dezorientacji $\geq 15^\circ$, pozwala przeanalizować wpływ całkowitego gniosem względnie na rozmiar ziarna. Wyniki wpływu gniosem całkowitego na średnią średnicę równoważną ziarna badanych taśm przedstawiono na rysunku 12. Średnia średnica równoważna ziarna taśmy ze stali X6CrMo17-1 przed walcowaniem wynosi 5,50 μm , podczas gdy dla stali X2CrTiNb18 wynosi 15,55 μm . Zwiększenie gniosem powoduje rozdrobnienie struktury (rys. 12). Dla taśm ze stali X6CrMo17-1 średnia średnica równoważna ziarna maleje od 2,91 μm po walcowaniu na zimno z gniosem $\varepsilon_{hc} = 0,44$ do 1,21 μm po odkształceniu gniosem $\varepsilon_{hc} = 0,80$. W przypadku taśm ze stali X2CrTiNb18 dla tych samych wartości ε_{hc} średnia średnica równoważna ziarna maleje od 10,97 μm do 3,96 μm .

PODSUMOWANIE

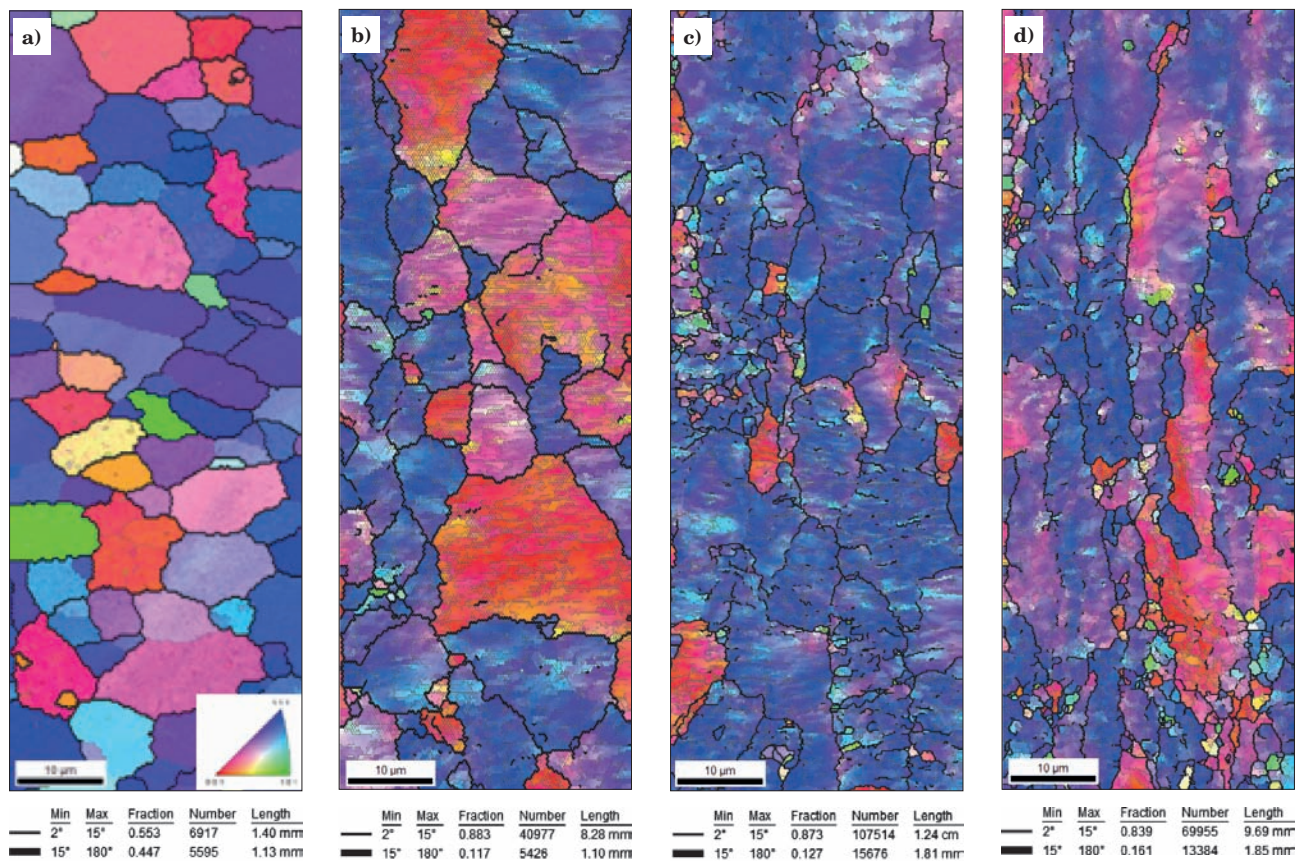
Wykonano badania właściwości mechanicznych i struktury super cienkich taśm ze stali X6CrMo17-1 i X2CrTiNb18 wytwarzanych w procesie walcowania na zimno. Taśmy o grubości 0,50 mm walcowano na



Rys. 6. Mikrostruktura taśm ze stali X6CrMo17-1 przed (a) i po walcowaniu z całkowitym gniosem 0,44 (b) i 0,80 (c)
 Fig. 6. Microstructure of X6CrMo17-1 steel strips before (a) and after rolling with total draft of 0.44 (b) and 0.80 (c)

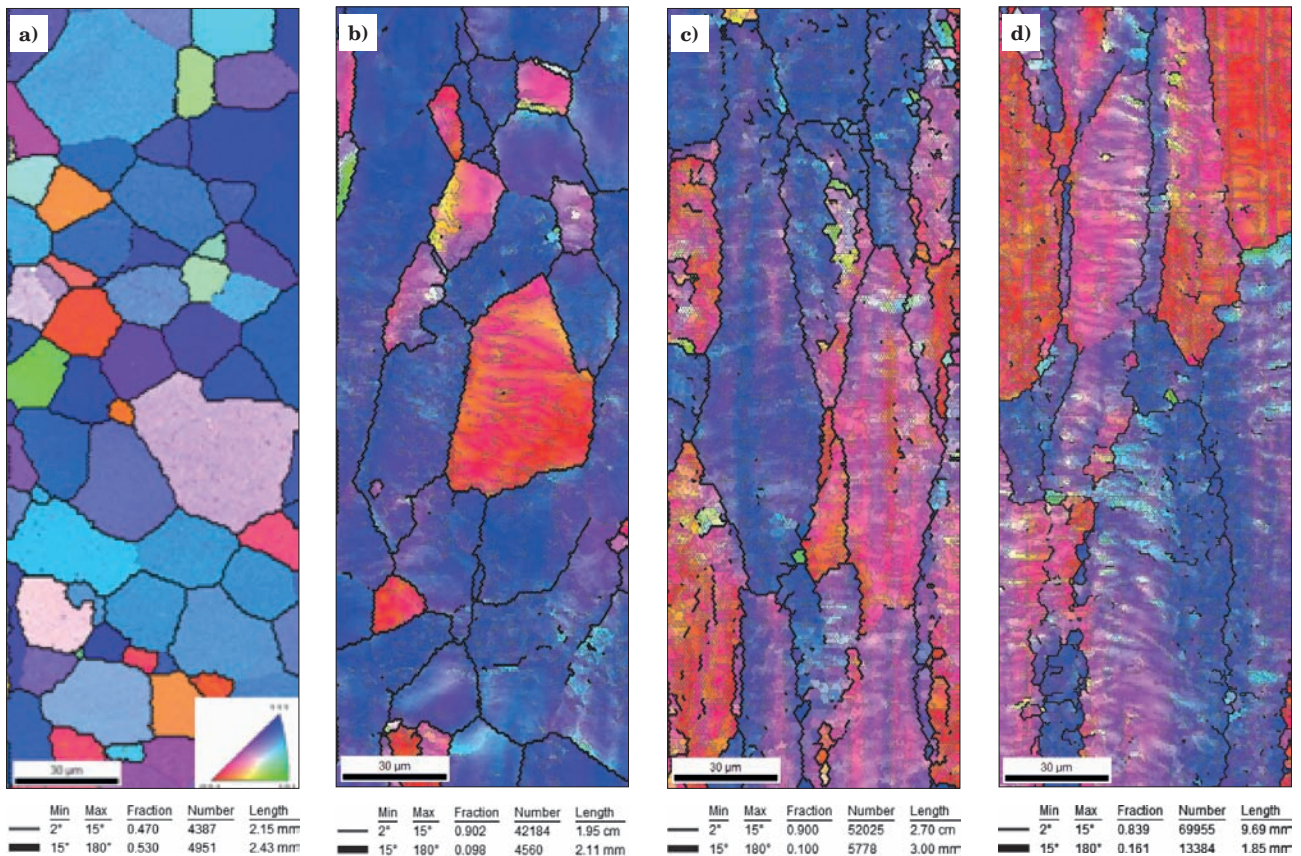


Rys. 7. Mikrostruktura taśm ze stali X2CrTiNb18 przed (a) i po walcowaniu z całkowitym gniosem 0,44 (b) i 0,80 (c)
 Fig. 7. Microstructure of X2CrTiNb18 steel strips before (a) and after rolling with total draft of 0.44 (b) and 0.80 (c)



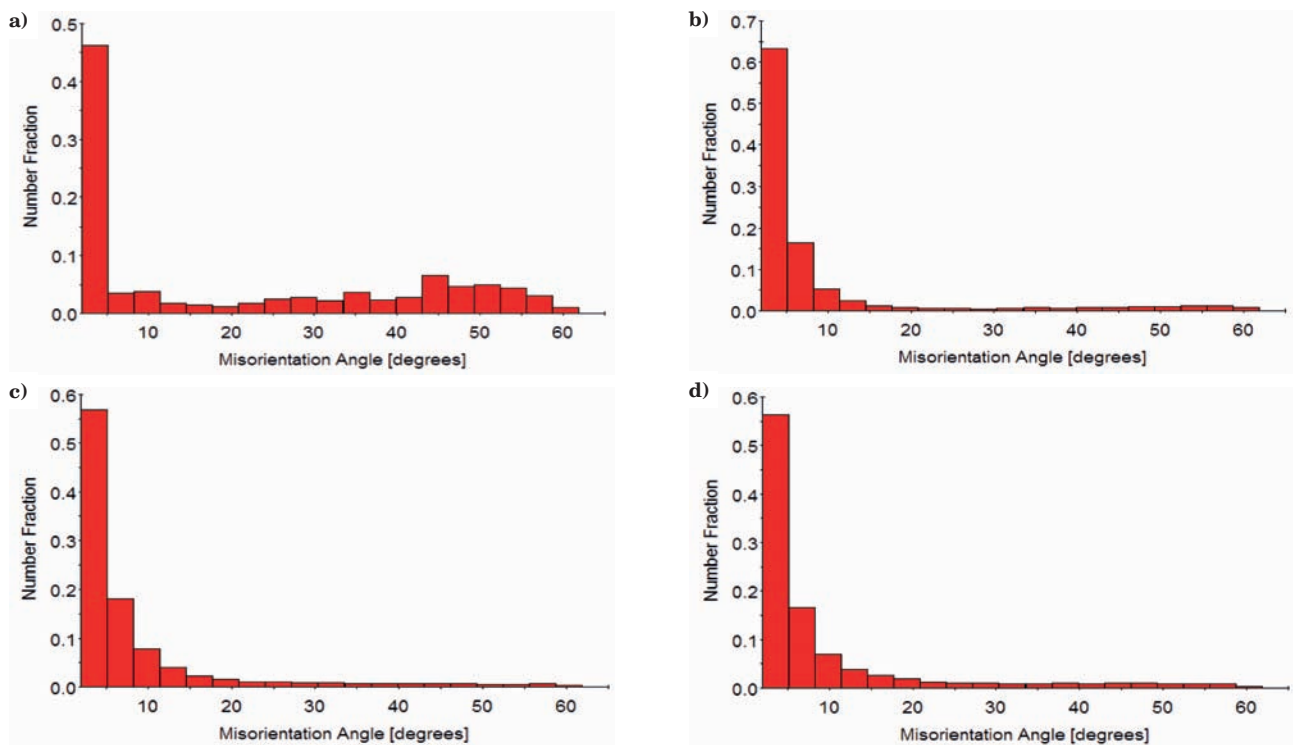
Rys. 8. Wyniki analizy EBSD taśm ze stali X6CrMo17-1, przedstawiające rozkład orientacji ziarn z naniesionymi granicami szerokokątowymi (—) i wąskokątowymi (—) w stanie przed odkształceniem (a) oraz po odkształceniu gniosem całkowitym: (b) $\varepsilon_{hc} = 0,44$; (c) $\varepsilon_{hc} = 0,68$; (d) $\varepsilon_{hc} = 0,80$

Fig. 8. Results of EBSD analysis of X6CrMo17-1 steel strips, showing the distribution of grain orientation with high-angle (—) and low-angle (—) boundaries plotted on, before strain (a) and after strain with total draft: (b) $\varepsilon_{hc} = 0.44$; (c) $\varepsilon_{hc} = 0.68$; (d) $\varepsilon_{hc} = 0.80$



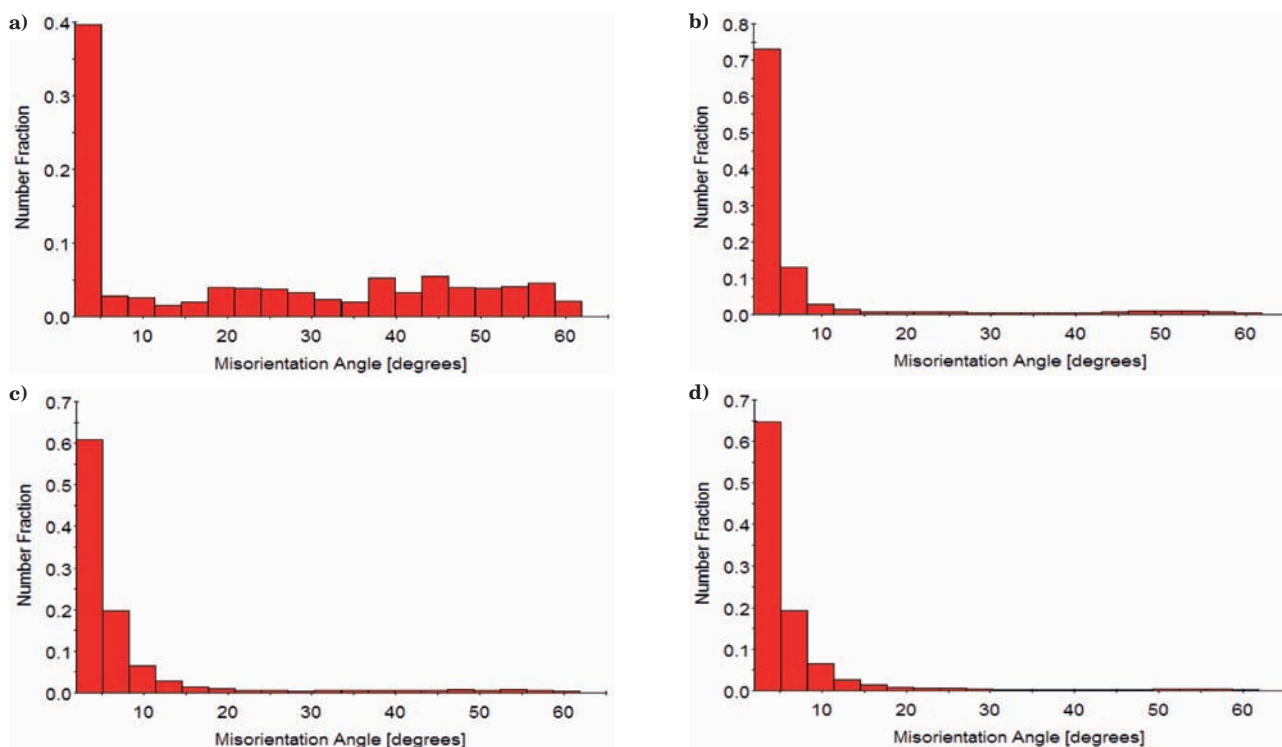
Rys. 9. Wyniki analizy EBSD taśm ze stali X2CrTiNb18, przedstawiające rozkład orientacji ziarn z naniesionymi granicami szerokokątowymi (▬) i wąskokątowymi (—) w stanie przed odkształceniem (a) oraz po odkształceniu gniotem całkowitym: (b) $\varepsilon_{hc} = 0,44$; (c) $\varepsilon_{hc} = 0,68$; (d) $\varepsilon_{hc} = 0,80$

Fig. 9. Results of EBSD analysis of X2CrTiNb18 steel strips, showing the distribution of grain orientation with high-angle (▬) and low-angle (—) boundaries plotted on, before strain (a) and after strain with total draft: (b) $\varepsilon_{hc} = 0.44$; (c) $\varepsilon_{hc} = 0.68$; (d) $\varepsilon_{hc} = 0.80$



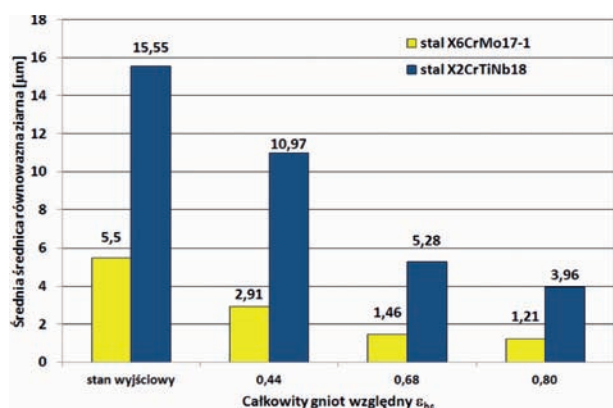
Rys. 10. Rozkład kąta dezorientacji w strukturze taśm ze stali X6CrMo17-1 w stanie przed odkształceniem (a) oraz po odkształceniu gniotem całkowitym: (b) $\varepsilon_{hc} = 0,44$; (c) $\varepsilon_{hc} = 0,68$; (d) $\varepsilon_{hc} = 0,80$

Fig. 10. Distribution of disorientation angle within the structure of X6CrMo17-1 steel strips in state before strain (a) and after strain with total draft: (b) $\varepsilon_{hc} = 0.44$; (c) $\varepsilon_{hc} = 0.68$; (d) $\varepsilon_{hc} = 0.80$



Rys. 11. Rozkład kąta dezorientacji w strukturze taśm ze stali X2CrTiNb18 w stanie przed odkształceniem (a) oraz po odkształceniu gniotem całkowitym: (b) $\varepsilon_{hc} = 0,44$; (c) $\varepsilon_{hc} = 0,68$; (d) $\varepsilon_{hc} = 0,80$

Fig. 11. Distribution of disorientation angle within the structure of X2CrTiNb18 steel strips in state before strain (a) and after strain with total draft: (b) $\varepsilon_{hc} = 0.44$; (c) $\varepsilon_{hc} = 0.68$; (d) $\varepsilon_{hc} = 0.80$



Rys. 12. Wpływ całkowitego gniotu ε_{hc} na średnią średnicę równoważną ziarna taśm ze stali X6CrMo17-1 i X2CrTiNb18

Fig. 12. Effect of total draft ε_{hc} on average equivalent grain diameter in X6CrMo17-1 and X2CrTiNb18 steel strips

zimno w kolejnych przepustach do grubości 0,1 mm z gniotem całkowitym ε_{hc} równym 0,80. Zwiększenie gniotu całkowitego od wartości 0,44 do 0,80 w kolejnych przepustach procesu walcowania na zimno taśm ze stali X6CrMo17-1 powoduje zwiększenie granicy plastyczności od 835 do 980 MPa oraz wytrzymałości na rozciąganie z 850 do 1014 MPa. W tym samym zakresie gniotu całkowitego dla taśm ze stali X2CrTiNb18 uzyskano zwiększenie granicy plastyczności z 800 do 945 MPa oraz wytrzymałości na rozciąganie z 815 do 980 MPa. Dla taśm z obu gatunków stali uzyskano podobne procentowe przyrosty granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie w kolejnych przepustach.

Struktura taśm z obu gatunków stali złożona jest z ferrytu z węglnikami. W strukturze stali X6CrMo17-1

obserwuje się węgliki zawierające podwyższoną zawartość chromu i molibdenu, natomiast w stali X2CrTiNb18 występują węgliki zawierające podwyższoną zawartość niobu i tytanu. Walcowanie na zimno w kolejnych przepustach powoduje zwiększenie stopnia zdefektowania struktury ferrytycznej, czego efektem jest zwiększający się udział granic wąskokątowych. W przypadku taśm ze stali X6CrMo17-1 granice wąskokątowe ze zwiększeniem odkształcenia przekształcają się w granice szerokokątowe, tworzące nowe ziarna. W strukturze taśm ze stali X2CrTiNb18 ze wzrostem odkształcenia następuje ciągły przyrost wąskokątowych granic w strukturze. Proces przekształcania się ich w granice szerokokątowe zachodzi w bardzo niewielkim stopniu. Średnia średnica równoważna ziarna w taśmach ze stali X6CrMo17-1 maleje od 5,50 μm w stanie przed walcowaniem do 1,21 μm po odkształceniu całkowitym gniotem względnym $\varepsilon_{hc} = 0,80$. W przypadku taśm ze stali X2CrTiNb18 średnia średnica równoważna taśm maleje od 15,55 μm w stanie wyjściowym do 3,96 μm po odkształceniu gniotem $\varepsilon_{hc} = 0,80$. W stanie wyjściowym i po odkształceniu w strukturze taśm z obu gatunków dominuje orientacja ziarn/podziarn w kierunku [111] równoległym do kierunku walcowania, który jest kierunkiem silnego namagnesowania.

Z przedstawionego podsumowania wynikają następujące wnioski:

1. Uzyskano taśmy o grubości 0,1 mm do zastosowania na znaczniki przebiegu linii przesyłowych, umieszczone wewnątrz tworzyw sztucznych;
2. Taśmy charakteryzują się uprzywilejowaną orientacją w kierunku [111], co umożliwia ich dobrą identyfikację metodami magnetycznymi.

LITERATURA

3. Adamiec A., Radwański K., Wiedermann J., Stępień J.: Wpływ metody wytwarzania naroży kształtowych na taśmach walcowanych na zimno ze stali konstrukcyjnej na ich jakość, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, t. 62, 2010, nr 1, s. 161-167
4. Radwański K., Wiedermann J., Adamiec A., Stępień J.: Struktura i właściwości taśm ze stali N7E przeznaczonych na wyroby z narożami kształtowymi, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, t. 60; 2008, nr 4, s. 39-44
5. Radwański K., Wiedermann J., Adamiec A., Gazdowicz J.: Wpływ przeróbki plastycznej na zimno w procesie wytwarzania supercienkich taśm ze stali X6Cr17 na właściwości mechaniczne i strukturę, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, nr. 10; 2011, nr 4, s. 864-869
6. Radwański K., Wiedermann J., Adamiec A., Stępień J.: Wpływ parametrów obróbki cieplnej taśm ze stali X6Cr17 na ich właściwości mechaniczne i strukturę, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, t. 64; 2012, nr 2, s. 2-7
7. Dingley D.J., Randle V.: Microtexture determination by electron backscatter diffraction, Journal of Material Science, t. 27, 1992, nr 17, s. 4545÷4566
8. Schwartz A., Kumar M., L. Adams B.: Electron Backscatter Diffraction in Materials Science, Kluwer, 2000
9. Humphreys J.F.: Quantitative metallography by electron back-scattered diffraction, Journal of Microscopy, t. 195, 1999, nr 3, s. 170÷185.

Praca zrealizowana w ramach projektu celowego nr ROW-III-101-2010 współfinansowanego przez Naczelną Organizację Techniczną Federacji Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych.