

Krzysztof RADWAŃSKI, Jerzy WIEDERMANN

Instytut Metalurgii Żelaza

Dariusz ZAŁAWA, Adam FLAK

DAR STAL Dariusz Zaława

Andrzej ADAMIEC

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

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE I STRUKTURA TAŚMY ZE STALI DC05 W PROCESIE WYTWARZANIA KSZTAŁTOWNIKÓW OTWARTYCH Z ODPADÓW POPRODUKCYJNYCH WALCOWNI BLACH CIENKICH

Celem pracy było określenie zmian właściwości mechanicznych i mikrostruktury taśm ze stali w gatunku DC05 w procesie wytwarzania wysokowytrzymałych kształtowników otwartych z odpadów poprodukcyjnych walcowni blach cienkich. Taśma wyjściowa pobrana z kręgu odpadowego o grubości 1,80 mm została poddana walcowaniu na zimno w 4 przepustach na grubość 0,60 mm, następnie rozcięta wzdłużnie na pasy, które poddano procesom gięcia na kątowniki i ceowniki. W wyniku zastosowanej technologii wytworzono kształtowniki otwarte o wysokich właściwościach wytrzymałościowych ($R_{p0,2}$: 760÷772 MPa, R_m : 761÷774 MPa, A_{50} : 0,9÷1,25 %) uzyskanych w drodze walcowania taśm na zimno. Mikrostruktura kształtowników jest złożona z silnie odkształconych pasm ferrytu wydłużonych w kierunku walcowania. W obszarze naroży nie stwierdzono istotnych różnic w mikrostrukturze pomiędzy strefą ściskaną a rozciąganą.

Słowa kluczowe: odpad poprodukcyjny, taśma zimnowalcowana, kształtownik otwarty, stal DC05, właściwości mechaniczne, mikrostruktura

MECHANICAL PROPERTIES AND STRUCTURE OF DC05 STEEL STRIP IN THE PROCESS OF MANUFACTURING OF OPEN SECTIONS MADE OF PRODUCTION WASTE OF THIN PLATES ROLLING MILL

The study was aimed at defining changes in mechanical properties and microstructure of DC05 steel strips in manufacturing process of high-strength open sections of production waste of thin plates rolling mill. Initial strip, cut from waste coil of thickness 1,80 mm was subject to cold rolling in 4 roll passes, to thickness of 0,60 mm, then slit into strips, which were subject to bending into angles and channel sections. As a result of the applied technology, open sections have been manufactured characterized by high strength ($R_{p0,2}$: 760÷772 MPa, R_m : 761÷774 MPa, A_{50} : 0.9÷1.25 %), obtained by means of cold rolling of strips. Microstructure of sections is composed of strongly deformed ferrite bands elongated towards direction of rolling. No significant variations in microstructure were found in the area of corners between the zones subject to compression and tension.

Key words: production waste, cold rolled strip, open section, DC05 steel, mechanical properties, microstructure

1. WPROWADZENIE

Odpady poprodukcyjne walcowni blach cienkich to kręgi stalowe o niedopuszczalnych odchyłkach wymiarowych na długości kręgu. Powstają najczęściej w wyniku awarii linii walcowniczych, zwykle wieloklatkowych i konieczności zatrzymywania procesu walcowania. Dzieje się tak często z powodu uszkodzenia lub zużycia walców roboczych w jednej z klatek linii. W momencie zatrzymania linii, układy walców w klatkach walcowniczych są podnoszone (zwykle automatycznie), a po

usunięciu przyczyn zatrzymania linii i jej ponownym uruchomieniu, walce są opuszczane w położenie wynikające z technologii procesu i wymiaru końcowego walcowanej blachy. Powstaje krąg o wadze od 5 do 12 ton posiadający znaczne zróżnicowanie grubości, tj. od grubości blachy równej na początku walcowania, na przykład 4 mm, do grubości końcowej, na przykład 0,7 mm. Krąg takiej blachy był obecnie brakowany i przeznaczany na złom lub do produkcji drobnych wyrobów, takich jak np. narzędzia rolnicze, zbiorniki, narzędzia ogrodowe, itp. Powstawanie tego rodzaju odpadów po-

produkcyjnych jest nieuniknione przy obecnie stosowanych technologiach wytwarzania blach cienkich w zakładach przemysłowych. Kręgi takich blach powstają jako wadliwy produkt uboczny bieżącej produkcji m. in. w takich firmach jak: ThyssenKrupp, Arcelor Mittal, Salzgitter czy Voest Alpine.

W Polsce produkowane są obecnie taśmy walcowane na zimno ze stali konstrukcyjnych, sprężynowych i narzędziowych zarówno o prostych jak i kształtowych narożach [1–3]. W ostatnich latach wdrożono również produkcję taśm ze stali odpornych na korozję walcowanych na zimno, w tym supercienkich o grubości $\leq 0,1$ mm przeznaczonych głównie na znaczniki infrastruktury przemysłowej [4–6]. Produkcja taśm ze stali zarówno węglowych jak i wysokostopowych powoduje powstawanie odpadów poprodukcyjnych często o wysokiej wartości rynkowej. Szacuje się, że obecnie tego rodzaju odpady poprodukcyjne stanowią około 0,8% całkowitej produkcji walcowni. W wyniku przeprowadzonych w latach 2010–2012 badań rynku wykazano opłacalność uruchomienia produkcji wysokowytrzymałych kształtowników otwartych produkowanych z odpadów poprodukcyjnych. W roku 2012 firma DAR STAL Dariusz Zaława wspólnie z Instytutem Metalurgii Żelaza podjęła się realizacji projektu celowego pt.: „Opracowanie technologii i uruchomienie produkcji kształtownika otwartego o ściance 0,6 mm z odpadów poprodukcyjnych walcowni blach cienkich”.

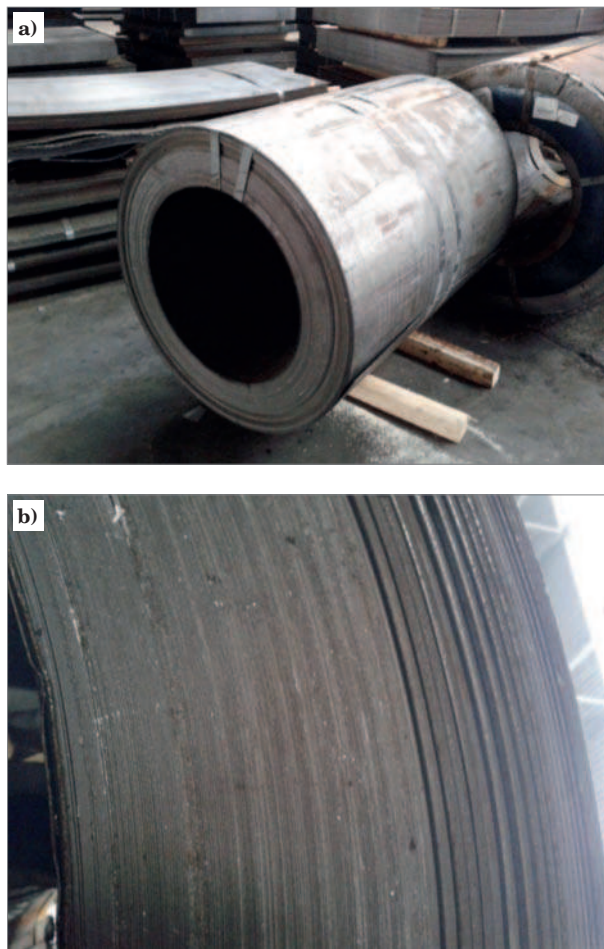
Celem pracy była charakterystyka zmian właściwości mechanicznych i mikrostruktury w procesie wytwarzania wysokowytrzymałych dotychczas nieprodukowanych kształtowników otwartych o grubości 0,6 mm.

2. MATERIAŁ, ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Materiał do badań stanowiły taśmy ze stali DC05 o składzie chemicznym przedstawionym w tabeli 1, pochodzące z kręgu stanowiącego odpad poprodukcyjny walcowni blach cienkich o łącznej masie 3880 kg i szerokości 1000 mm.

Taśma w kręgu charakteryzowała się zróżnicowaną grubością w zależności od miejsca pobrania. Dokładna historia powstania kręgu nie jest znana. Makrofotografie kręgu o zróżnicowanej grubości zwiniętej taśmy przedstawiono na rysunku 1.

Grubość taśmy na długości rozwiniętego kręgu była zróżnicowana od 0,8 mm do 3,0 mm. Szerokość taśmy wynosiła 1000 mm. Taśmę rozwinięto i pocięto na odcinki o średnich grubościach: 0,80, 1,20, 1,80 i 3,00 mm. Odcinki taśm o grubościach 0,80, 1,20 i 3,00 mm rozcięto poprzecznie i przeznaczono do wytwarzania arkuszy, natomiast taśmę o grubości 1,80 mm i długości ok. 80 m wykorzystano jako materiał wsadowy do wytwarzania kształtowników otwartych, który rozcięto wzdłużnie na 3 pasy taśm o szerokości 330 mm, które poddano następnie walcowaniu na zimno w 4 przepustach na



Rys. 1. Makrofotografia kręgu 1: a) widok ogólny, b) widok wycinka kręgu

Fig. 1. Macrophotograph of coil 1: a) general view, b) coil section

kończącą grubość 0,60 mm wg sekwencji: 1,80 mm \rightarrow 1,35 mm (1 przepust), 1,35 mm \rightarrow 1,00 mm (2 przepust), 1,00 mm \rightarrow 0,80 mm (3 przepust) i 0,80 mm \rightarrow 0,60 mm (4 przepust).

Po przeprowadzonych próbach wyznaczono:

- gniot względny w i -tym przepuście (1):

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

gdzie:

- ε_{hi} – gniot względny w i -tym przepuście,
- h_{i-1} – wysokość po przepuście $i-1$ [mm],
- h_i – wysokość po i -tym przepuście [mm].

- całkowity gniot względny po i -tym przepuście (2):

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

gdzie:

- ε_{hCi} – całkowity gniot względny po i -tym przepuście,
- h_0 – wysokość początkowa [mm],
- h_i – wysokość po i -tym przepuście [mm].

Tabela 1. Skład chemiczny kręgów z których pobrano próbki do badań

Table 1. Chemical composition of coils sampled for testing

| Gatunek stali | Skład chemiczny, %mas. | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------------------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | V | Mo | Cu | Al |
| DC05 nr mat. 1.0312 | 0,02 | 0,12 | <0,01 | 0,017 | 0,004 | 0,02 | 0,02 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,038 |

Tabela 2. Grubości taśm po poszczególnych przepustach w procesie walcowania na zimno i odpowiadające im gnioty całkowite i w poszczególnych przepustach

Table 2. Thicknesses of strips following particular roll passes in cold rolling process and respective total rolling reductions as well as particular pass reductions

| Nr przepustu | Wysokość taśmy po <i>i</i> -tym przepuście h_i [mm] | Gniot względny w <i>i</i> -tym przepuście ε_{hi} | Całkowity gniot względny po <i>i</i> -tym przepuście ε_{hCi} |
|--------------|---|--|--|
| 0 | 1,80 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 1,35 | 0,25 | 0,25 |
| 2 | 1,00 | 0,26 | 0,44 |
| 3 | 0,80 | 0,20 | 0,56 |
| 4 | 0,60 | 0,25 | 0,67 |

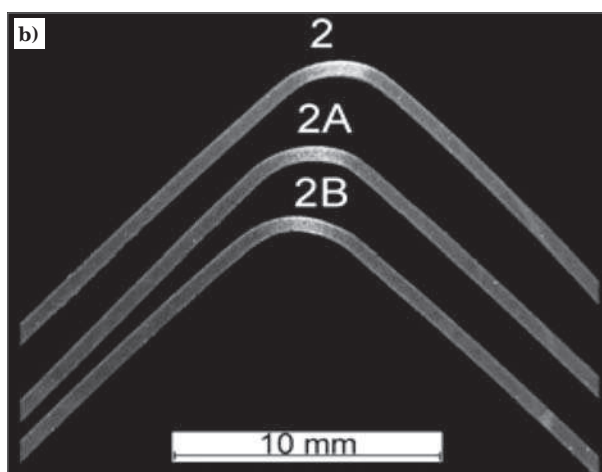
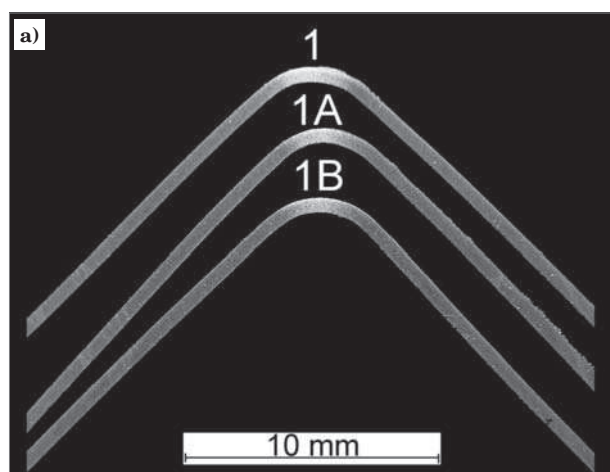
Wyniki obliczeń na podstawie zależności (1 i 2) przedstawiono w tabeli 2.

Taśmę o grubości 0,60 mm i szerokości 330 mm rozcięto wzdłużnie na pasy o szerokościach 60 mm i 90 mm. Pasy poddano gięciu na zimno w wyniku czego otrzymano kątowniki 30×30 mm i ceowniki 30×30×30 mm. Przykładowe makrofotografie uzyskanych kształtowników przedstawiono na rysunku 2. W celu weryfikacji powtarzalności właściwości mechanicznych i struktury przeprowadzono badania kształtowników wykonanych z taśmy pochodzącej z różnych miejsc kręgu po końcowym walcowaniu na zimno. Wycinki kształtowników o kształcie kątownika o wymiarach 30×30 mm oznaczone numerami próbek 1, 1A i 1B pochodzą z tego samego miejsca na długości taśmy walcowanej, jednak zostały pobrane w różnych miejscach na jej szerokości. Próbkę pobraną z kształtowników o kształcie ceownika 30×30×30 mm, oznaczoną jako 2, 2A i 2B zostały wykonane z różnych miejsc na długości taśmy. Makrofotografie kształtowników otwartych przedstawiono na rysunkach 2a i 2b, natomiast poprzecznych zglądów metalograficznych wykonanych z ich wycinków na rysunku 3a i 3b.



Rys. 2. Makrofotografie kształtowników otwartych: a) kątownik 30×30 mm, b) ceownik 30×30×30 mm

Fig. 2. Macro photograph of open sections : a) angle 30×30 mm, b) channel section 30×30×30 mm



Rys. 3. Makrofotografia naroży kształtowników otwartych o grubości 0,6 mm i wymiarach: a) 30×30 mm, b) 30×30×30 mm

Fig. 3. Macro photographs of the corners of open sections of thickness 0.6 mm and dimensions: a) 30×30 mm, b) 30×30×30 mm

3. METODYKA BADAŃ

Próby rozciągania wykonano na próbkach płaskich o początkowej bazie pomiarowej 80 mm zgodnie z Procedurą IMŻ Nr M1-WYT wydaną 12.08.2004 r.

Wydłużenie procentowe po rozerwaniu próbek o początkowej długości pomiarowej 80 mm oznaczono jako A_{80} i wyznaczono z zależności (3):

$$A_{80} = \left(\frac{L_u - L_0}{L_0} \right) 100 \quad (3)$$

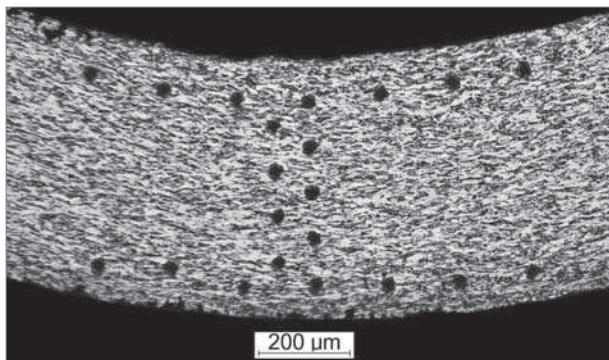
gdzie:

L_u – długość pomiarowa po rozerwaniu,

L_0 – początkowa długość pomiarowa.

Pomiary twardości wykonano na przekrojach wzdłużnych do kierunku walcowania taśm oraz w przypadku badania wycinków kątowników na zglądach poprzecznych metodą Vickersa HV1 i HV0,1. Pomiary w narożach przeprowadzono w różnych miejscach strefy rozciąganej i ściskanej. Przykłady rozmieszczenia odścisów przedstawiono na rysunku 4.

Badania mikrostruktury taśm na przekrojach wzdłużnych do kierunku walcowania wykonano za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego



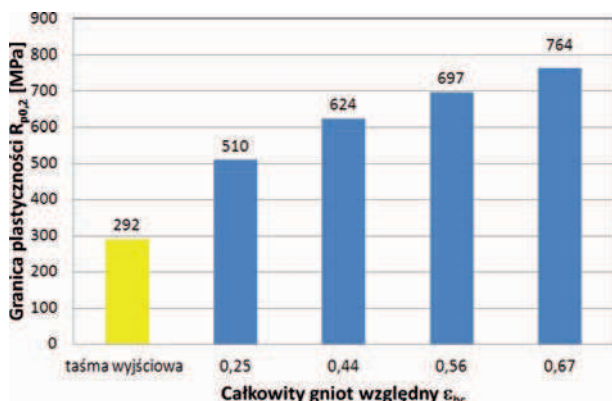
Rys. 4. Przykład rozkładu pomiarów twardości w badanych kształtownikach

Fig. 4. An example of hardness measurements distribution in the examined sections

INSPECT F, natomiast w obszarze naroży kształtowników na zglądach poprzecznych za pomocą mikroskopu optyczno-cyfrowego OLYMPUS DSX500i.

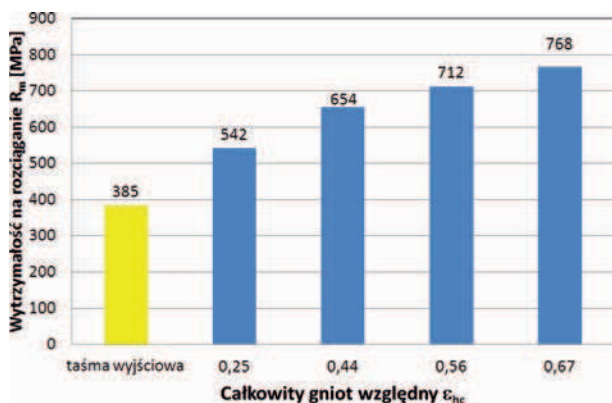
4. WYNIKI BADAŃ

Wyniki prób rozciągania i pomiarów twardości taśm po poszczególnych przepustach przedstawiono rysunkach 5÷8.



Rys. 5. Wpływ całkowitego gniotu względnego na granice plastyczności taśm

Fig. 5. Impact of total relative rolling reduction on yield point of strips



Rys. 6. Wpływ całkowitego gniotu względnego na wytrzymałość na rozciąganie taśm

Fig. 6. Impact of total relative rolling reduction on tensile strength of strips

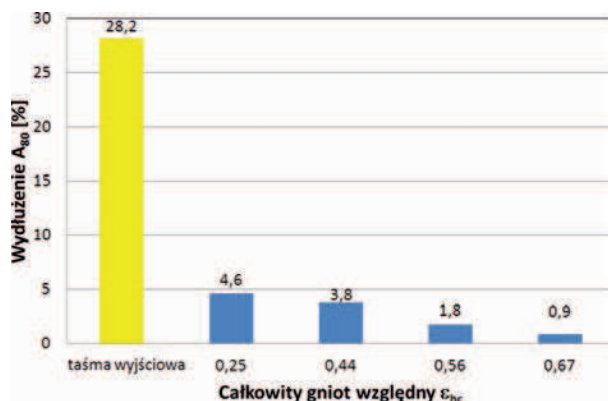
Taśma w stanie wyjściowym charakteryzuje się następującymi właściwościami mechanicznymi: $R_{p0.2} = 292$ MPa, $R_m = 385$ MPa, $A_{80} = 28,2\%$ i twardość 164 HV1. Wraz ze zwiększeniem całkowitego gniotu względnego w zakresie $\epsilon_{hc} = 0,25 \div 0,67$ uzyskano zwiększenie granicy plastyczności z 510 MPa do 764 MPa, wytrzymałości na rozciąganie z 542 MPa do 768 MPa, twardości z 203 HV1 do 240 HV1 oraz zmniejszenie wydłużenia z 4,6% do 0,9% (Rys. 5÷8).

Z taśm po walcowaniu na zimno z całkowitym gniotem względnym $\epsilon_{hc} = 0,67$ pociętych na pasy wykonano kształtowniki otwarte, z których pobrano próbki do badań. Wyniki właściwości mechanicznych kształtowników przedstawiono w tabeli 3. Próby rozciągania próbek pobranych z kształtowników wykonanych z różnych miejsc taśmy walcowanej nie wykazały istotnych różnic w ich właściwościach mechanicznych (Tab. 3), które wynoszą:

- granica plastyczności $R_{p0.2}$: 760÷772 MPa,
- wytrzymałość na rozciąganie R_m : 761÷774 MPa,
- wydłużenie A_{80} : 0,9÷1,25%.

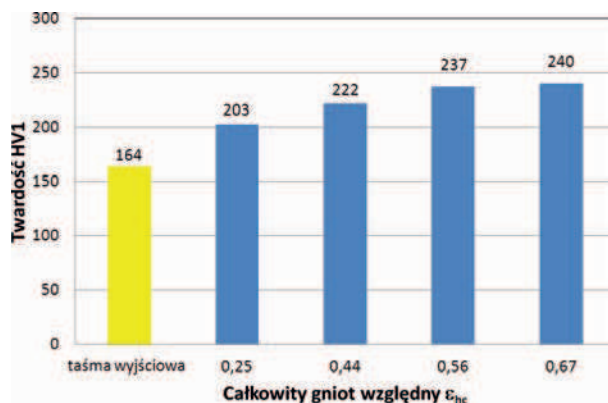
Twardość HV0,1 w strefach ściskanych próbek jest najczęściej o kilka jednostek wyższa w porównaniu do wartości uzyskanych w strefie rozciąganej (Tab. 3).

Wyniki badań mikrostruktury ze wzrostem gniotu względnego przedstawiono na rysunku 9. Wszystkie badane próbki posiadają mikrostrukturę ferrytyczną.



Rys. 7. Wpływ całkowitego gniotu względnego na wydłużenie taśm

Fig. 7. Impact of total relative rolling reduction on elongation of strips

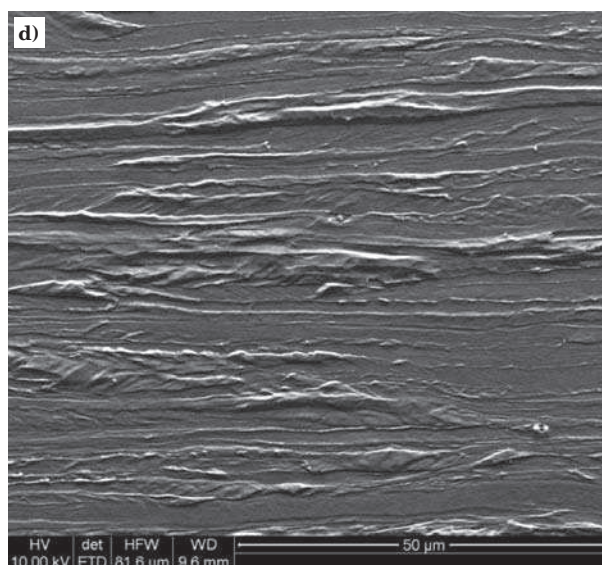
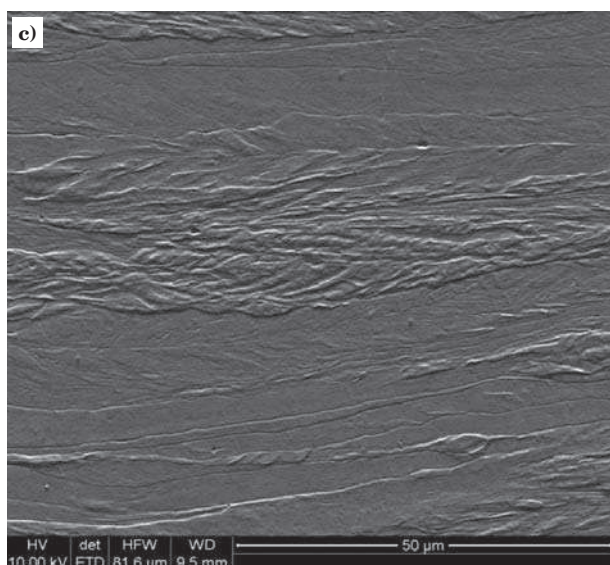
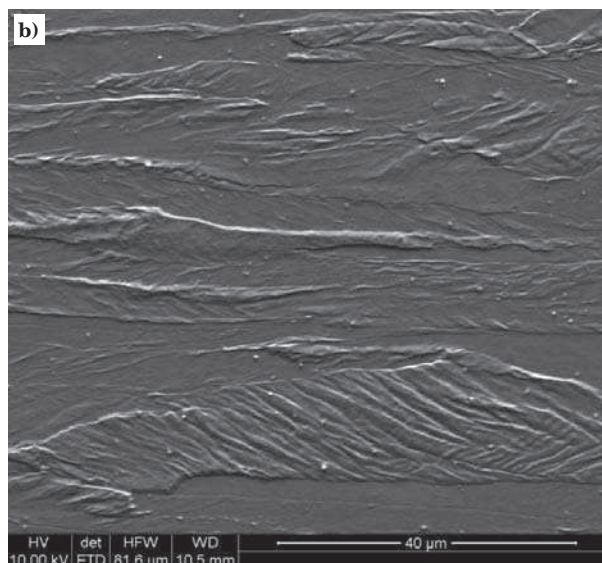
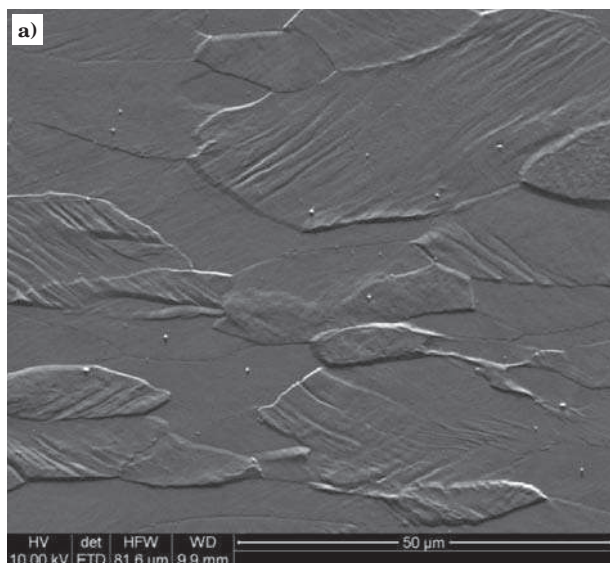


Rys. 8. Wpływ całkowitego gniotu względnego na twardość taśm

Fig. 8. Impact of total relative rolling reduction on hardness of strips

Tabela 3. Wyniki prób rozciągania i pomiarów twardości próbek pobranych z kształtowników
 Table 3. Results of tensile tests and measurements of hardness of sections' samples

| Oznaczenie próbki | Granica plastyczności $R_{p0,2}$ [MPa] | Wytrzymałość na rozciąganie R_m [MPa] | Wydłużenie A_{g0} [%] | Średnia twardość naroża HV0,1 | |
|-------------------|--|---|-------------------------|-------------------------------|-------------------|
| | | | | Strefa ściskana | Strefa rozciągana |
| 1 | 764 | 768 | 0,9 | 248 | 241 |
| 1A | 765 | 769 | 1,5 | 259 | 251 |
| 1B | 768 | 769 | 1,25 | 259 | 249 |
| 2 | 772 | 774 | 1,1 | 251 | 250 |
| 2A | 760 | 761 | 0,9 | 248 | 244 |
| 2B | 771 | 774 | 1,25 | 250 | 244 |

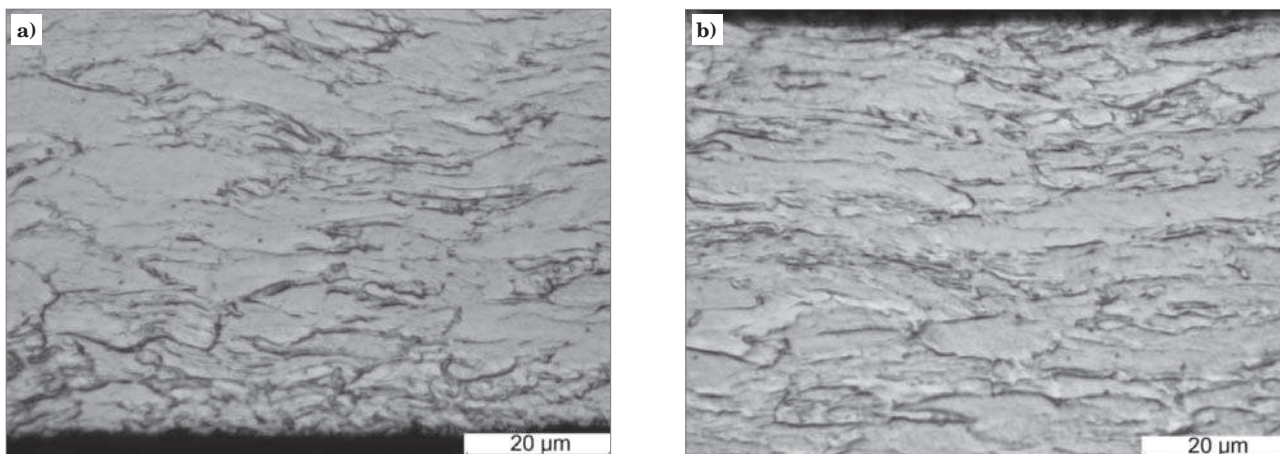


Rys. 9. Mikrostruktura taśmy: a) w stanie wyjściowym oraz po walcowaniu na zimno z całkowitym gniołem względnym ε_{hc} : b) 0,25, c) 0,44, d) 0,67

Fig. 9. Strip microstructure: a) in the initial state and following cold rolling with total relative rolling reduction ε_{hc} : b) 0,25, c) 0,44, d) 0,67

Taśma w stanie wyjściowym charakteryzuje się ziarnami z widocznymi śladami odkształcenia (Rys. 9a). Wraz ze zwiększeniem gniołu obserwuje się wzrost zdeformowania ziarn i wydłużenia ich w kierunku walcowania na zimno, aż do uzyskania struktury pasmowej (Rys. 9b÷9d).

Taśmę po walcowaniu na zimno z całkowitym gniołem względnym $\varepsilon_{hc} = 0,67$ poddano następnie procesom gnięcia na kształtowniki otwarte o kącie prostym. Przykładowe mikrostruktury w obszarze naroża, zarówno w strefie ściskanej jak i rozciąganej przedstawiono na rysunku 10. Nie stwierdzono istotnych różnic w obrazie struktury pomiędzy tymi strefami.



Rys. 10. Mikrostruktura naroża próbki 1: a) strefa ściskana, b) strefa rozciągana

Fig. 10. Microstructure of sample corner 1: a) zone subject to compression, b) zone subject to tension

5. WNIOSKI

W ramach pracy scharakteryzowano zmiany właściwości mechanicznych i mikrostruktury po kolejnych etapach procesu wytwarzania wysokowytrzymałych, dotychczas nieprodukowanych kształowników otwartych z odpadów poprodukcyjnych walcowni blach.

Wysokie właściwości wytrzymałościowe kształowników ($R_{p0,2}$: 760÷772 MPa, R_m : 761÷774 MPa, A_{80} : 0,9÷1,25%) zostały uzyskane w drodze walcowania na zimno taśm z odpadów poprodukcyjnych i są podobne niezależnie od miejsca pobrania taśmy z kręgu. Wykazano, że twardość w strefie ściskanej naroży kształowników jest o kilka jednostek wyższa w porównaniu do twardości w strefie rozciąganej. Kształowniki charakteryzują się strukturą ferrytyczną o silnie wydłużonych ziarnach w kierunku walcowania. W obszarze naroży nie stwierdzono istotnej różnicy w obrazie struktury pomiędzy strefą rozciąganą a ściskaną.

Praca została zrealizowana w ramach projektu celowego pt.: „Opracowanie technologii i uruchomienie produkcji kształownika otwartego o ściance 0,6 mm z odpadów poprodukcyjnych walcowni blach cienkich”. W wyniku realizacji projektu uruchomiono w spółce DAR STAL DARIUSZ ZAŁAWA produkcję:

1. Kształowników otwartych o dotychczas niewytwarzanej na rynku grubości ścianki 0,60 mm. Przed realizacją pracy na rynku dostępne były kształowniki o grubości ścianki powyżej 0,70 mm.
2. Kształowników otwartych o wytrzymałości na rozciąganie $R_m > 550$ MPa. Przed realizacją pracy na rynku dostępne były kształowniki o wytrzymałości na rozciąganie poniżej 550 MPa.
3. Dotychczas nie produkowanego kątownika 27 × 27 × 1,1 mm.

Obecnie firma DAR STAL DARIUSZ ZAŁAWA jest jedynym producentem tego typu wyrobów produkowanych z kręgów złomowych na terenie Polski.

LITERATURA

1. Adamiec A., Radwański K., Wiedermann J., Stępień J.: Wpływ metody wytwarzania naroży kształowych na taśmach walcowanych na zimno ze stali konstrukcyjnej na ich jakość, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, nr 1, 2010, s. 161-167
 2. Radwański K., Wiedermann J., Adamiec A., Stępień J.: Struktura i właściwości taśm ze stali N7E przeznaczonych na wyroby z narożami kształowymi, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, tom 60; nr 4, 2008, s. 39-44
 3. Wiedermann J., Radwański K., Adamiec A., Gazdowicz J.: Wpływ odkształcenia na zimno i obróbki cieplnej na właściwości mechaniczne i strukturę taśm przeznaczonych na piły taśmowe, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, nr 1, 2013, s. 22-27
 4. Radwański K., Wiedermann J., Adamiec A., Gazdowicz J.: Wpływ przeróbki plastycznej na zimno w procesie wytwarzania super cienkich taśm ze stali X6Cr17 na właściwości mechaniczne i strukturę, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, nr 10; 2011, nr 4, s. 864-869
 5. 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
 6. Radwański K., Wiedermann J., Adamiec A., Gazdowicz J.: Struktura i właściwości mechaniczne super cienkich taśm ze stali odpornych na korozję wytwarzanych w procesie walcowania na zimno, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, oddane do druku, 2012
- Praca zrealizowana w ramach projektu celowego nr ROW-III- 255/ 2012.**