

ZASTOSOWANIE MODELOWANIA NUMERYCZNEGO DO ANALIZY PARAMETRÓW WYTWARZANIA CIENKICH TAŚM STALOWYCH METODĄ WALCOWANIA DRUTU NA ZIMNO

Przedmiotem artykułu jest analiza warunków wytwarzania cienkich taśm ze stali wysokowęglowych metodą walcowania drutu na zimno. Przedstawiono wyniki modelowania numerycznego i zestawiono je z wynikami otrzymanymi w rzeczywistym procesie walcowania. Następnie – na podstawie wyników symulacji numerycznych – analizowano wpływ warunków odkształcania (schemat walcowania, wartość i rozkład naciągu i przeciwnaciągu, zmiana średnicy walców oraz czynnika tarcia) na wielkość poszerzenia walcowanego drutu.

Słowa kluczowe: walcowanie, drut, taśma, modelowanie numeryczne

APPLICATION OF NUMERICAL MODELLING FOR ANALYSING PRODUCTION PARAMETERS OF STEEL STRIPS

The article aims at analysing conditions to produce thin strips from high-carbon steels with wire cold rolling method. The presented results of numerical modelling were compared with results obtained in actual rolling process. Then – based on the results of numerical simulations – the influence of strain conditions (rolling diagram, value and distribution of tension and back tension, change in the diameter of rollers and coefficient of friction) on widening of the rolled wire was analysed.

Keywords: rolling, wire, strip, numerical modelling

1. WPROWADZENIE

Walcowanie drutów stalowych z przeznaczeniem na taśmy jest procesem rzadko stosowanym w Polsce. Na rynku krajowym istnieją obecnie dwie firmy, które usługowo zajmują się walcowaniem drutu. Upřednio proces ten był dość powszechnie stosowany, szczególnie do wytwarzania drobnych elementów maszyn włókienniczych i rolniczych [1–2], a zagadnieniu spłaszczania drutu poświęcono wiele artykułów [3–10].

Rozwój metod cięcia blach spowodował, że możliwe jest uzyskanie tą metodą taśm wąskich o szerokości nawet 3 mm, co w połączeniu z wysoką wydajnością procesu prowadzi do znacznego ograniczenia stosowania spłaszczania drutu. Jednak niekwestionowaną zaletą walcowania drutu jest uzyskanie taśmy o naturalnie zaokrąglonych brzegach.

W przypadku taśm na sprężyny powinny zostać spełnione wysokie właściwości mechaniczne, zarówno wytrzymałościowe jak i sprężyste. Zasady doboru materiału i średnicy drutu zamieszczono w pracy [11]. Zapewnienie równocześnie założonych właściwości i wymiarów taśm wiąże się z opracowaniem technologii spłaszczania drutu, w tym szczególnie z właściwym doбором walców i parametrów walcowania. Zastosowanie w tym celu modelowania numerycznego pozwala

la w znacznym stopniu uprościć proces projektowania technologii.

Celem artykułu jest analiza wpływu warunków odkształcania (schematu walcowania, rozkładu naciągów i przeciwnaciągów, zmiana średnicy walców oraz czynnika tarcia) na poszerzenie walcowanego drutu. Analizę wykonano w oparciu o wyniki symulacji numerycznych i przemysłowego walcowania drutu z zastosowaniem walcarki kwarto.

2. METODYKA BADAŃ

2.1. MODELOWANIE NUMERYCZNE WALCOWANIA DRUTU

W oparciu o wyniki obliczeń według wzorów zamieszczonych w pracy [11] zaproponowano technologię walcowania drutu ze stali C68D w trzech i w pięciu przepustach w celu otrzymania taśmy o wymiarach 3,0 × 0,34 mm. Symulacje numeryczne wykonano z zastosowaniem programu Qform3D. Warunki brzegowe były następujące:

- średnica drutu: ϕ 1,7 mm,
- średnica walców: ϕ 50 mm,
- prędkość walcowania: 5 m/min,

- czynnik tarcia $m = 0,5$ (bez smarowania)
- bez naciągu i przeciwnaciągu,
- model sprężysto-plastyczny,
- krzywa umocnienia stali z bazy Qform3D,
- schemat gniołów zgodnie z tabelą 1.

Tabela 1. Grubość pasma w kolejnych przepustach, zastosowane do symulacji walcowania drutu

Table 1. Strip thickness in subsequent passes, used for wire rolling simulation

Lp.	Schemat walcowania							
	5 przepustów					3 przepusty		
Nr przepustu	1	2	3	4	5	1	2	3
Grubość pasma, mm	1,0	0,8	0,6	0,4	0,34	1,0	0,6	0,34

W wyniku obliczeń numerycznych stwierdzono, że szerokość taśmy otrzymanej przez walcowanie drutu wg schematu trójpierzpułowego powinna wynosić 3,23 mm, a według schematu pięciopierzpułowego – 2,92 mm. Z tego względu zdecydowano na wykonanie prób przemysłowych.

2.2. WALCOWANIE DRUTU W WARUNKACH PRZEMYSŁOWYCH

Uwzględniając wyniki symulacji numerycznych walcowania drutu wg parametrów przedstawionych w pkt. 2.1, wykonano próby przemysłowe spłaszczania drutu z zastosowaniem walcarki kwarto nawrotnej o następujących parametrach:

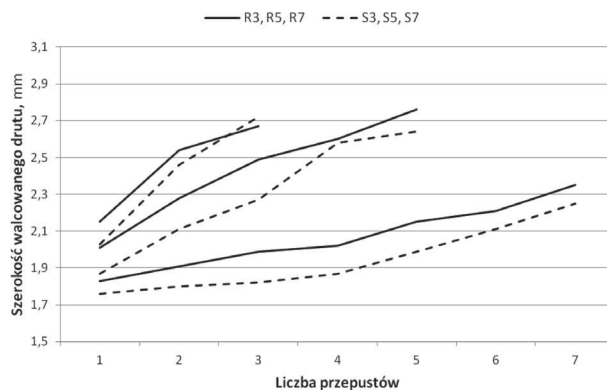
- średnica walców roboczych: 50 mm,
- średnica walców oporowych: 200 mm,
- długość beczki: 200 mm.

W pierwszej próbie drut został spłaszczony w siedmiu przepustach (analizowano możliwości techniczne walcarki), a następnie wykonano po dwie próby walcowania w pięciu i w trzech przepustach, zmieniając wartości nastaw walcarki, naciągów i przeciwnaciągów. Szczegółowe parametry walcowania zamieszczono w pracy [11].

3. WYNIKI BADAŃ I ICH DISKUSJA

3.1. WERYFIKACJA OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

Wykonano nowe symulacje numeryczne wg takich samych parametrów jak w czasie walcowania w warunkach przemysłowych. Podstawową zmienną, kluczową dla opracowania technologii, była szerokość spłaszczanego drutu po kolejnych przepustach. Na rys. 1 przedstawiono wyniki pomiarów szerokości walcowanego drutu (oznaczenia R3, R5 i R7) i szerokości drutu z symulacji numerycznej (oznaczenia S3, S5 i S7). Jak widać, dla przyjętych warunków brzegowych, wyniki symulacji numerycznych są zbliżone do warunków rzeczywistych, przy czym szerokość walcowanego drutu z symulacji jest mniejsza niż z pomiarów przemysłowych o ok. 4%.



Rys. 1. Porównanie szerokości spłaszczanego drutu uzyskanego z walcowania w warunkach przemysłowych z naciągami i z symulacji walcowania; R3, R5, R7 – walcowanie w 3, 5, 7 przepustach; S3, S5, S7 – symulacja walcowania w 3, 5, 7 przepustach

Fig. 1. Comparison of the width of the flattened wire obtained from rolling under industrial conditions with tensions and from rolling simulations; R3, R5, R7 – rolling in 3, 5, 7 passes; S3, S5, S7 – rolling simulation in 3, 5, 7 passes

3.2. WPŁYW PARAMETRÓW WALCOWANIA NA SZEROKOŚĆ SPŁASZCZANEGO DRUTU

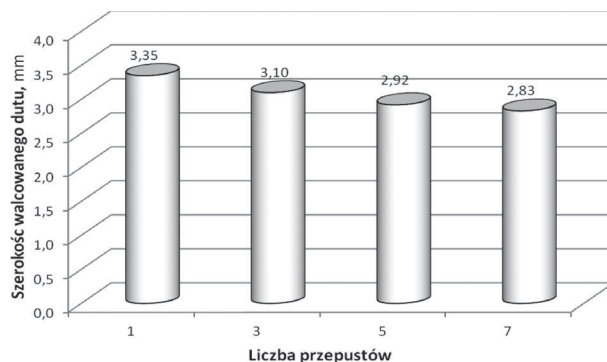
Kwestią podstawową podczas spłaszczania drutu jest płynięcie materiału w kierunku poprzecznym do kierunku walcowania, które decyduje o szerokości uzyskanej taśmy. Ma na nie wpływ wiele czynników, z których najważniejsze to:

- liczba przepustów (średni gnioł procentowy),
- równomierność gniołów zastosowanych podczas walcowania,
- naciąg i przeciwnaciąg,
- średnica walców roboczych,
- warunki tarcia.

Poniżej przedstawiono wybrane wyniki symulacji numerycznych.

3.2.1. Wpływ liczby przepustów

W celu analizy liczby przepustów na maksymalną wynikową szerokość spłaszczanego drutu wykonano obliczenia dla wariantów bez naciągów i przeciwnaciągów dla 7, 5, 3 i jednego przepustu. Jak widać z rys. 2, ze wzrostem liczby przepustów maleje szerokość spłaszczanego drutu – jest to zależność powszechnie znana. Należy zwrócić uwagę, że zastosowanie 7 przepustów w stosunku do wariantu 1 przepustowego to zmniejszenie szerokości o ok. 20%.



Rys. 2. Wpływ liczby przepustów na szerokość walcowanego drutu

Fig. 2. Influence of the number of passes on the width of the rolled wire

3.2.2. Wpływ schematu rozkładu gniotów

W celu określenia wpływu schematu rozkładu gniotów na poszerzenie spłaszczonego drutu należy określić przekrój poprzeczny walcowanego pasma, co nie jest takie proste. Zagadnieniu temu poświęcono wiele uwagi, przykładowo [5, 12]. Dla potrzeb artykułu zaproponowano uproszczoną metodę obliczenia przekroju spłaszczonego drutu (rys. 3) w postaci:

$$S_1 = ag + \pi R^2 = (b - 2R)g + \pi R^2 \quad (1)$$

$$g = 2R \quad (2)$$

$$S_1 = bg - g^2 \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) \quad (3)$$

$$\varepsilon_s = \frac{(S_0 - S_1)}{S_0} \cdot 100\% \quad (4)$$

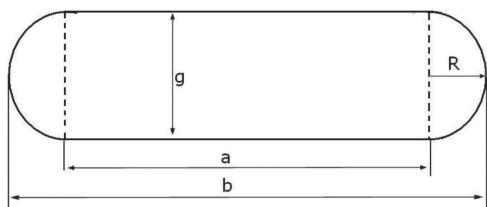
gdzie:

S_1 – przekrój poprzeczny spłaszczonego drutu po kolejnym przepuszczeniu, mm²

b, g – szerokość, grubość spłaszczonego drutu, mm

R – promień zaokrąglenia spłaszczonego drutu, mm

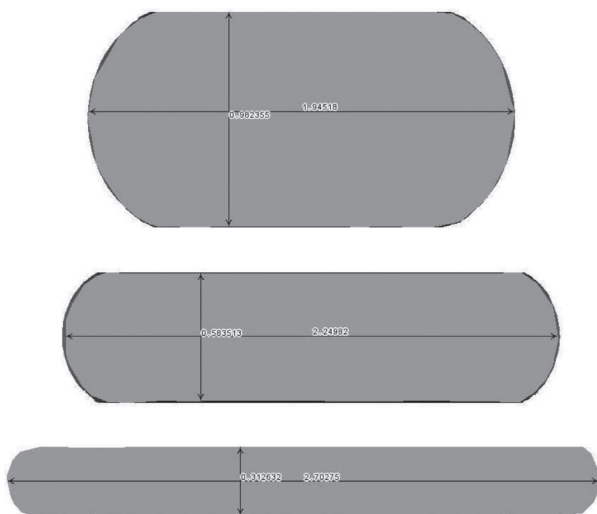
ε_s – gniot względny, %



Rys. 3. Przybliżony przekrój poprzeczny spłaszczonego drutu

Fig. 3. Approximate cross-section of the flattened wire

Na rys. 4 przedstawiono przykładowe przekroje poprzeczne spłaszczonego drutu uzyskane z symulacji numerycznych. Wzór (3) nie odzwierciedla w pełni przekroju poprzecznego spłaszczonego drutu, ale w sposób przybliżony pozwala obliczyć pole przekroju pasma po kolejnych przepustach, co dla celów niniejszej analizy jest wystarczające.

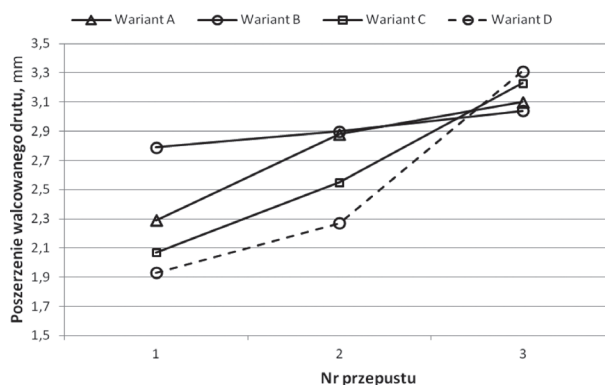


Rys. 4. Przekroje poprzeczne spłaszczonego drutu z symulacji numerycznych walcowania w trzech przepustach

Fig. 4. Cross-sections of the flattened wire from numerical simulations of rolling in three passes

Na rys. 5 przedstawiono, uzyskany z symulacji numerycznych, wpływ walcowania w trzech przepustach różniących się wartością i rozkładem gniotów, na poszerzenie drutu dla następujących wariantów walcowania:

- wariant A – równomierny rozkład gniotów;
- wariant B – duży gniot w pierwszym przepuszczeniu,
- wariant C – duży gniot w ostatnim przepuszczeniu,
- wariant D – duży gniot w ostatnim przepuszczeniu (odwrotność wariantu B).



Rys. 5. Wpływ rozkładu gniotów na poszerzenie spłaszczonego drutu podczas walcowania w trzech przepustach

Fig. 5. Influence of draft distribution on widening of the flattened wire during rolling in three passes

Rozkłady gniotów wyliczone z równań (3) i (4) zestawiono w tabeli 2. Stwierdzono, że największy wpływ na finalne poszerzenie walcowanego drutu ma wielkość gniotu realizowanego w ostatnim przepuszczeniu (warianty C i D). Jednak z punktu widzenia prowadzenia procesu walcowania, lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie dużego odkształcenia w pierwszym przepuszczeniu (wariant B) i równomiernie rozłożonych gniotów w pozostałych przepustach.

Tabela 2. Warianty rozkładu gniotów podczas walcowania drutu

Table 2. Variants of draft distribution during wire rolling

Wariant	Gniot względny			Gniot całkowity
	1 przepust	2 przepust	3 przepust	
Wariant A	25,3%	26,1%	20,2%	55,9%
Wariant B	40,9%	16,1%	15,5%	58,1%
Wariant C	18,2%	21,4%	28,3%	53,9%
Wariant D	11,6%	16,3%	38,2%	54,3%

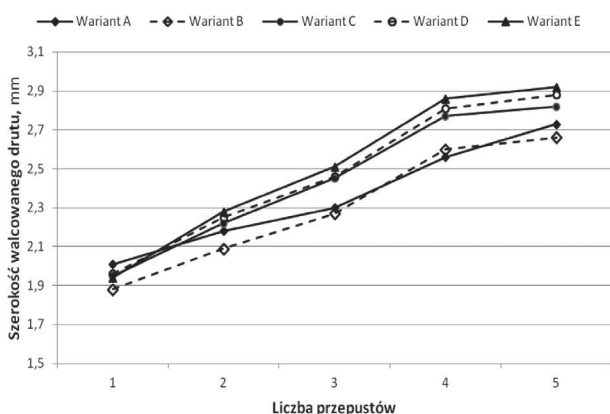
3.2.3. Wpływ naciągów i przeciwnaciągów

Jak stwierdzono wcześniej, oddziaływanie sił naciągów i przeciwnaciągów ogranicza płynięcie materiału w poprzek pasma. Dla oceny tego wpływu wykonano symulacje numeryczne spłaszczania drutu w pięciu przepustach wg tego samego rozkładu gniotów dla wariantów różniących się wartościami sił naciągów i przeciwnaciągów, a mianowicie:

- wariant A – walcowanie w warunkach przemysłowych z naciągami,
- wariant B – symulacja numeryczna wariantu A,
- wariant C – symulacja walcowania z naciągami jak w wariantcie A i siłą przeciwnaciąg 50 N,

- wariant D – symulacja walcowania z naciągami jak w wariantcie A i siłą przeciwną 0 N (bez przeciwną),
- wariant E – symulacja walcowania bez naciągów i przeciwną.

Jak widać z rys. 6, ograniczenie do minimum siły przeciwną powoduje wzrost poszerzenia spłaszczonego drutu. Jest to zgodne z teorią. W przypadku symulacji walcowania z naciągami i bez naciągów różnica w finalnej szerokości spłaszczonego drutu wynosi ok. 10%.

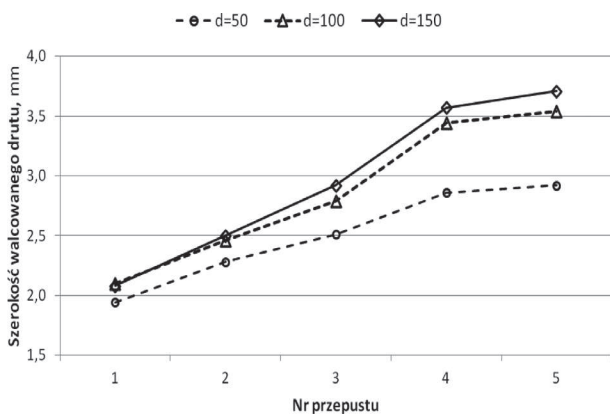


Rys. 6. Wpływ przeciwną na poszerzenie spłaszczonego drutu

Fig. 6. Influence of back tension on widening of the flattened wire

3.3.4. Wpływ średnicy walców

Dla oceny wpływu średnicy walców na poszerzenie spłaszczonego drutu wykonano obliczenia symulacyjne dla walców o średnicach $\phi 50$, $\phi 100$ i $\phi 150$ mm.



Rys. 7. Wpływ średnicy walca na poszerzenie spłaszczonego drutu

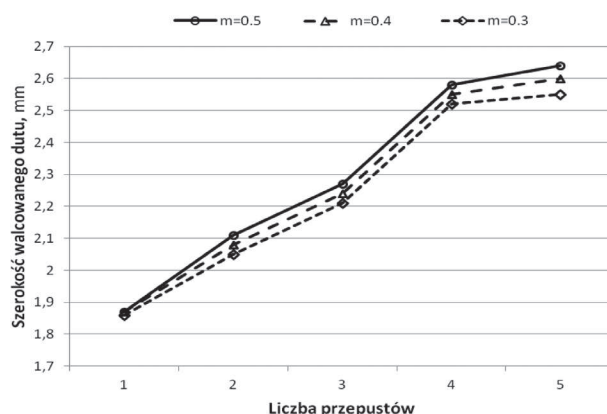
Fig. 7. Influence of roller's diameter on widening of the flattened wire

Jak widać z rys. 7, zastosowanie walców o średnicy $\phi 100$ mm zamiast walców o średnicy $\phi 50$ mm spowodowało znaczny wzrost poszerzenia spłaszczonego drutu, sięgający przeszło 20%. Wzrost średnicy walców do $\phi 150$ mm nie wpływa już tak znacząco na poszerzenie.

Istnieje zatem możliwość optymalizacji średnic walców w zależności od rodzaju i średnicy walcowanego drutu.

3.3.5. Wpływ warunków smarowania

W czasie walcowania na zimno niezwykle ważne jest zastosowanie odpowiedniego smarowania walców. Na rys. 8 przedstawiono wyniki symulacji numerycznych walcowania drutu w pięciu przepustach, zmieniając czynnik tarcia od $m = 0,5$ (wariant bez smarowania) do $m = 0,3$ (warunki zbliżone do smarowania na zimno). Jak widać, obniżenie czynnika tarcia spowodowało mniejsze płynięcie materiału w kierunku poprzecznym i tym samym mniejsze poszerzenie walcowanego drutu o ok. 3%.



Rys. 8. Wpływ warunków smarowania na poszerzenie spłaszczonego drutu

Fig. 8. Influence of greasing conditions on widening of the flattened wire

4. WNIOSKI Z BADAŃ

W artykule przedstawiono wyniki modelowania numerycznego i zestawiono je z wynikami uzyskanymi z rzeczywistego procesu spłaszczania drutu metodą walcowania na zimno. Analizowano wpływ warunków odkształcania (schemat walcowania, wielkość i rozkład naciągów i przeciwną, zmiana średnic walców oraz czynnik tarcia) na wielkość poszerzenia walcowanego drutu. Celem obliczeń było wskazanie, które parametry walcowania i w jakim stopniu wpływają na wynikową szerokość spłaszczonego drutu.

Weryfikacja obliczeń modelowych przeprowadzona w warunkach przemysłowych potwierdziła przydatność modelowania numerycznego jako narzędzia do opracowania technologii spłaszczania drutu.

Wyniki symulacji numerycznych wykazały, że największy wpływ na poszerzenie walcowanego pasma wywiera średnica walców. W projektowaniu technologii należy zwrócić uwagę na liczbę przepustów oraz wielkość i sekwencję gniotów. Zastosowanie naciągów i przeciwną może znacząco wpływać na proces poszerzenia walcowanego pasma, stając się użytecznym narzędziem do końcowej korekty wymiarów taśmy.

LITERATURA

1. Suchon M., Jakubek C.: Produkcja taśm spłaszczanych z drutu, Hutmasz, 1991, nr 2–3, s. 17–22
2. Gola W., Mniszek K.: Opracowanie technologii wytwarzania taśm spłaszczanych z drutów przeznaczonych na tulejki związane łańcuchów napędowych dla FMR w Chojnowie. Inf. o Załkończ. Prac. Nauk. IMŻ, 1982, s. 1–21
3. Bojarszynow M.I.: Dieriebas A.I., Spłaszczanie drutu na taśmę ze stałym naciągiem, Biull. Czernietinf, 1975, nr 4, s. 55–56
4. Misiółek W.: Analiza dotycząca spłaszczania drutów w procesie ciągnięcia przy zastosowaniu ciągadeł rolkowych, Draht, 33, 1982, 8, s. 478–481
5. Rytel K.: Promień boku swobodnego w procesie spłaszczania drutu, Zesz. Nauk. WSI Opole, Mechanika, 1990, z. 30, nr 136, s. 83–101
6. Herian J.: Wpływ średnicy drutu i parametrów walcowania na poszerzenie płaszczonych drutów ze stali niskowęglowej, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, 2000, t. 67, nr 5, s. 188–191
7. Herian J., Grosman F.: Poszerzenie pasma w procesie płaszczczenia drutu w walcierce, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, 2000, t. 67, nr 4, s. 171–173
8. Herian J.: Analiza płynięcia metalu podczas płaszczczenia drutów okrągłych w procesie walcowania na zimno, Inż. Mater., 1999, t. 20, nr 3–4, s. 177–179
9. Herian J.: Poszerzenie płaszczonych drutów okrągłych ze stali węglowych po patentowaniu, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, 2000, 7, s. 283–287
10. Skołyszewski A., Rumiński M., Łuksza J.: Analiza doświadczalna procesu walcowania spłaszczającego drutu okrągłego ze stali kwasoodpornej, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, 2004, t. 71, nr 12, s. 593–600.
11. Burdek M.: Wpływ składu chemicznego stali i sposobu walcowania drutu na wymiary i właściwości taśm na sprężyny, Prace IMŻ, 2016, 68, 3, s. 27–30
12. Herian J.: Poszerzenie i zmiana kształtu pasma w procesie płaszczczenia drutów, Zesz. Nauk. Pol. Śląskiej, Hutnictwo, 2003, z. 66, s. 1–145