

WPŁYW SKŁADU CHEMICZNEGO STALI I SPOSOBU WALCOWANIA DRUTU NA WYMIARY I WŁAŚCIWOŚCI TAŚM NA SPRĘŻYNY

Przedmiotem artykułu jest walcowanie drutu na taśmy przeznaczone do wyrobu sprężyn płaskich. Przedstawiono sposób wyliczania wymaganej średnicy drutu oraz poszerzenia taśmy w procesie walcowania. Wykonano próby walcowania z zastosowaniem walców o zróżnicowanych średnicach i schematach odkształcania. Analizowano wymiary taśm i ich właściwości mechaniczne.

Słowa kluczowe: drut, walcowanie, spłaszczanie, taśma, sprężyna

INFLUENCE OF CHEMICAL COMPOSITION OF STEEL AND WIRE ROLLING METHOD ON DIMENSIONS AND PROPERTIES OF SPRING STRIPS

The subject of this article is wire rolling for strips for the production of flat springs. The method of calculating the required wire diameter and strip widening during rolling was presented. Attempts to roll with rollers with various diameters and deformation models were made. The dimensions of strips and their mechanical properties were analysed.

Keywords: wire, rolling, flattening, strip, spring

1. WPROWADZENIE

Wśród bogatego i wielce zróżnicowanego pod względem wielkości i przeznaczenia rynku sprężyn znajdują się również sprężyny zwijane z taśm cienkich. Taśmy są wykonywane ze stali sprężynowych lub – jeśli jest to ekonomicznie uzasadnione – ze stali nierdzewnych, z drutu metodą walcowania na zimno lub też cięte z blach taśmowych. Udoskonalenie urządzeń do cięcia blach wpłynęło na możliwości uzyskania tą metodą bardzo wąskich taśm, nawet o szerokościach poniżej 3 mm. Wadą tej metody jest konieczność usuwania gradu, który utrudnia formowanie sprężyn i niszczy urządzenia. W przypadku walcowania (spłaszczania) drutu uzyskuje się taśmy z zaokrąglonymi brzegami.

Taśma na sprężyny płaskie powinna spełniać wysokie wymagania dotyczące właściwości wytrzymałości-

wych i sprężystych. Przykładowo taśma o wymiarach $3 \times 0,34$ mm powinna posiadać wytrzymałość R_m w zakresie od 1550 do 1800 MPa przy wydłużeniu $A_{50} > 3\%$ i kącie sprężynowania od 51 do 65°. Aby spełnić tak wysokie wymagania należy dobrać właściwy gatunek stali oraz opracować technologię wykonania taśmy, która zagwarantuje uzyskanie taśmy o założonych właściwościach i wymiarach.

Tak wysokim wymaganiom mogą sprostać stale wysokowęglowe przeznaczone na liny w gatunkach C68D÷C76D o składach zamieszczonych w tabeli 1 oraz stale odporne na korozję, np. stal austenityczna AISI 301 (1H18N9).

Celem artykułu jest analiza wpływu składu chemicznego gatunku stali wysokowęglowej i warunków walcowania drutu na wymiary i właściwości taśm na sprężyny. Dzięki technologii walcowania drutu uzyskuje

Tabela 1. Skład chemiczny stali wysokowęglowych wg PN-EN10016-2 [1]

Table 1. Chemical composition of high-carbon steels as per PN-EN10016-2 [1]

Gatunek stali	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
C68D	0,65-0,70	0,50-0,80	0,10-0,30	maks. 0,035	maks. 0,035	maks. 0,15	maks. 0,20	maks. 0,25	maks. 0,05
C70D	0,68-0,73	0,50-0,80	0,10-0,30	maks. 0,035	maks. 0,035	maks. 0,15	maks. 0,20	maks. 0,25	maks. 0,05
C72D	0,70-0,75	0,50-0,80	0,10-0,30	maks. 0,035	maks. 0,035	maks. 0,15	maks. 0,20	maks. 0,25	maks. 0,05
C76D	0,73-0,78	0,50-0,80	0,10-0,30	maks. 0,035	maks. 0,035	maks. 0,15	maks. 0,20	maks. 0,25	maks. 0,05

się taśmę z naturalnie zaokrąglonymi brzegami. Ten sposób kształtowania jest obecnie rzadko stosowany, prawdopodobnie ze względu na niezbyt wysoką wydajność tego procesu.

2. DOBÓR ŚREDNICY DRUTU I WARUNKÓW ODKSZTAŁCANIA

2.1. DOBÓR ŚREDNICY DRUTU

Proces technologiczny walcowania (spłaszczania) walcówki jest kilkietapowy i oprócz operacji walcowania obejmuje niezbędne wyżarzanie międzyoperacyjne i usuwanie zgorzeliny metodą trawienia.

W artykule opisano końcowy etap wykonania taśmy, tj. walcowanie drutu na docelową grubość i szerokość, zapewniające uzyskanie wymaganych właściwości mechanicznych.

Przy wyborze średnicy drutu do walcowania wykorzystano wzór Webera [2, 3]:

$$d_0 = h \left(\frac{b}{h} \right)^{\Psi} \quad (1)$$

gdzie:

- D – średnica walców, mm;
- d_0 – średnica początkowa drutu, mm;
- h – grubość taśmy, mm;
- b – szerokość taśmy, mm.

Współczynnik Ψ wg [4] dla stali węglowych obliczany jest ze wzoru:

$$\Psi = 0,98 - 0,16 \lg \frac{D}{d_0} \quad (2)$$

Wg Rukera [5] współczynnik Ψ wynosi:

$$\Psi = \left[\frac{0,825 - 0,013(n_p - 1) + 0,06 \ln \left(\frac{h}{D} \right)}{1 - 0,13 \frac{h}{d_0} - 0,065 \frac{d_0}{h}} \right]^{1/2} \quad (3)$$

gdzie:

- n_p – liczba przepustów.

2.2. OBLICZENIE POSZERZENIA W PROCESIE WALCOWANIA DRUTU

W procesie walcowania drutu materiał płynie w kierunku długości oraz szerokości kosztem wysokości. W zależności od zastosowanego oprzyrządowania (głównie średnicy walców) materiał może popłynąć bar-

dziej intensywnie wzdłuż kierunku walcowania bądź poprzecznie do tego kierunku. Poszerzenie drutu można wyznaczyć dla warunków walcowania z naciągiem taśmy lub bez naciągu.

Przykładowo, szerokość taśmy po walcowaniu wg Briczko [6–9] w wersji walcowania bez naciągu:

$$b = 1,00493d_0 + 0,165(d_0 - h) + 1,659 \frac{(d_0 - h)^2}{d_0} \quad (4)$$

oraz z naciągiem:

$$b = d_0 + 0,165(d_0 - h) \left(1 - 10 \frac{d_0 - h}{d_0} \right) \times \left(1 - 1,4 \frac{\sigma_0}{\sigma_{p0}} - 0,21 \frac{\sigma_1}{\sigma_{p1}} \right) \quad (5)$$

σ_0, σ_1 – naprężenie przeciwciągu i naciągu, MPa,
 σ_{p0}, σ_{p1} – naprężenie uplastyczniające przed i po odkształceniu, MPa.

3. PRÓBY TECHNOLOGICZNE WALCOWANIA DRUTU BEZ NACIĄGU

3.1. WYMIARY TAŚM

Na podstawie wzorów (1)–(5) do walcowania przyjęto druty w dwóch średnicach: $\phi 1,7$ mm i $\phi 1,5$ mm ze stali gatunku, odpowiednio C72D i C68D. Wykonano wstępne próby walcowania bez naciągu w warunkach półprzemysłowych. W zależności od średnicy walców roboczych walcarki, schematu walcowania i gatunku stali uzyskano taśmę o wymiarach zamieszczonych w tabeli 2. Odkształcenie całkowite zostało obliczone ze wzoru:

$$\varepsilon = \ln \frac{S_p}{S_k} \quad (6)$$

gdzie:

S_p, S_k – przekrój poprzeczny odpowiednio drutu i taśmy.

Analizując wymiary taśm po walcowaniu bez naciągów można stwierdzić, że płynięcie materiału zależy głównie od średnicy walców. Jak widać z tabeli 2, zastosowanie drutu $\phi 1,5$ mm i walców o średnicy $\phi 100$ mm powinno zapewnić uzyskanie taśmy o założonych wymiarach $0,34 \times 3,0$ mm. Walce o większych średnicach wymuszają nadmierne poszerzenie taśmy. Istotne jest przy tym, czy uzyskane odkształcenie zapewni zakładany poziom właściwości mechanicznych.

Tabela 2. Wymiary taśmy walcowanej z drutu

Table 2. Dimensions of strip rolled from wire

Średnica walców	Liczba przepustów	Wymiar wsadu	Grubość taśmy	Szerokość taśmy	Odkształcenie całkowite
mm	-	mm	mm	mm	-
100	1	1,7	0,36	3,3	0,65
100	2	1,7	0,36	3,3	0,65
100	4	1,5	0,40	2,6	0,52
150	5	1,5	0,33	3,3	0,48
200	1	1,7	0,41	4,2	0,27
200	4	1,7	0,36	4,4	0,36
200	1	1,5	0,34	3,7	0,34
200	3	1,5	0,34	3,7	0,33

3.2. WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE TAŚM WALCOWANYCH NA ZIMNO

Wyniki badania właściwości mechanicznych taśm zamieszczono w tabeli 3. Niektóre wyniki wydają się być zaniżone, prawdopodobnie ze względu na urywanie się próbek wytrzymałościowych zbyt blisko uchwytów. Najwyższą wytrzymałość w badaniach ($R_m = 1514$ MPa) uzyskano dla taśmy walcowanej w jednym przepuście z drutu o średnicy $\phi 1,7$ mm i z zastosowaniem walców o średnicy $\phi 100$ mm. Trudno jest zapewnić równocześnie odpowiednie wymiary taśmy i wymagane właściwości mechaniczne.

4. PRÓBY TECHNOLOGICZNE WALCOWANIA DRUTU Z NACIĄGAMI

4.1. DOBÓR TECHNOLOGII WALCOWANIA DRUTU

Uwzględniając wyniki prób walcowania bez naciągów, do dalszych badań przyjęto drut o średnicy $\phi 1,7$ mm ze stali C72D. Spłaszczanie drutu wykonano z zastosowaniem walcarki kwarto nawrotnej o następujących parametrach:

- średnice walców roboczych: 50 mm,
- średnica walców oporowych: 200 mm,
- długość beczki: 200 mm,
- naciąg: $250 \div 3000$ N,
- prędkość walcowania: $4 \div 40$ m/min.

Do prób zaproponowano po dwa warianty schematów walcowania: w 5 i 3 przepustach. Zmieniano gnioty częściowe oraz wartości naciągów i przeciwnaciągów. Łącznie wykonano 4 serie walcowania drutu wg parametrów zamieszczonych w tabelach 4–7.

W wyniku walcowania w pięciu przepustach uzyskano taśmę o większej szerokości niż po walcowaniu w trzech przepustach. Szerokość taśmy jest właściwa dla danego schematu walcowania, jednak wykracza poza zakładane tolerancje wymiarowe. Zastosowane siły naciągów i przeciwnaciągów nie wpłynęło zasadniczo na płynięcie materiału, jednak zapewniło stabilność procesu walcowania i uzyskanie powtarzalnych wymiarów taśmy.

4.2. ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH TAŚMY

Z taśm uzyskanych w wyniku walcowania drutu $\phi 1,7$ mm ze stali C72D pobrano próbki do badań wytrzymałościowych. Wyniki badań zamieszczono w tabeli 8.

Tabela 3. Właściwości mechaniczne taśm walcowanych na zimno

Table 3. Mechanical properties of cold-rolled strips

Gatunek stali	Średnica walców	Liczba przepustów	Wymiar wsadu	Odkształcenie całkowite	R_{02}	R_m
	mm	-	mm	-	MPa	MPa
C72D	100	1	1,7	0,65	1227	1514
C72D	100	2	1,7	0,65	1099	1333
C68D	100	4	1,5	0,52	1118	1307
C68D	150	5	1,5	0,48	1070	1458
C72D	200	1	1,7	0,27	1290	1395
C72D	200	4	1,7	0,36	1339	1348
C68D	200	1	1,5	0,34	1256	1300
C68D	200	3	1,5	0,33	1248	1257

Tabela 4. Parametry I walcowania drutu $\phi 1,7$ mm

Table 4. Parameters of the 1st rolling of a $\phi 1.7$ mm wire

Nr przepustu	Nastawa walcarki	Naciąg drutu/taśmy	Przeciwnaciąg drutu/taśmy	Prędkość walcowania	Wymiary taśmy
-	mm	N	N	m/min.	mm
1	1,20	500	250	5	1,10 × 2,01
2	0,90	500	250	5	0,82 × 2,28
3	0,70	400	200	5	0,63 × 2,49
4	0,50	350	180	5	0,43 × 2,60
5	0,32	350	180	5	0,32 × 2,75

Tabela 5. Parametry II walcowania drutu $\phi 1,7$ mm

Table 5. Parameters of the 2nd rolling of a $\phi 1.7$ mm wire

Nr przepustu	Nastawa walcarki	Naciąg drutu/taśmy	Przeciwnaciąg drutu/taśmy	Prędkość walcowania	Wymiary taśmy
-	mm	N	N	m/min.	mm
1	1,10	550	300	5	1,01 × 2,01
2	0,90	500	300	5	0,82 × 2,18
3	0,70	400	200	5	0,61 × 2,30
4	0,50	300	200	5	0,42 × 2,56
5	0,32	250	150	5	0,32 × 2,73

Tabela 6. Parametry III walcowania drutu $\phi 1,7$ mmTable 6. Parameters of the 3rd rolling of a $\phi 1.7$ mm wire

Nr przepustu	Nastawa walcarki	Naciąg drutu/taśmy	Przeciwnięcie drutu/taśmy	Prędkość walcowania	Wymiary taśmy
-	mm	N	N	m/min.	mm
1	1,10	600	300	5	1,01 × 1,95
2	0,66	450	250	5	0,58 × 2,57
3	0,32	300	200	5	0,31 × 2,63

Tabela 7. Parametry IV walcowania drutu $\phi 1,7$ mmTable 7. Parameters of the 4th rolling of a $\phi 1.7$ mm wire

Nr przepustu	Nastawa walcarki	Naciąg drutu/taśmy	Przeciwnięcie drutu/taśmy	Prędkość walcowania	Wymiary taśmy
-	mm	N	N	m/min.	mm
1	1,00	550	100	5	0,91 × 2,15
2	0,50	400	200	5	0,41 × 2,54
3	0,32	300	200	5	0,32 × 2,67

Nazwy próbek odpowiadają kolejności walcowania. Stwierdzono, że zastosowane odkształcenie wynoszące ok. 60% (liczony jako redukcja przekroju) spowodowało umocnienie taśmy do wartości spełniających minimalne wymagania wytrzymałościowe, równocześnie obniżając właściwości plastyczne poniżej wymaganych wartości.

Tabela 8. Właściwości mechaniczne walcowanych taśm

Table 8. Mechanical properties of rolled strips

Nazwa	Wymiar taśmy	R_m	A_{50}
	mm	MPa	%
I a	0,31 × 2,76	1604	1,70
I b	0,32 × 2,76	1569	1,68
II a	0,33 × 2,68	1537	1,74
II b	0,33 × 2,67	1532	1,94
III a	0,31 × 2,60	1600	1,74
III b	0,32 × 2,61	1568	1,80
IV a	0,32 × 2,60	1562	1,74
IV b	0,32 × 2,61	1556	2,22

5. PODSUMOWANIE

W pracy dokonano doboru gatunku stali i obliczono wymaganą średnicę drutu stanowiącego wsad do walcowania taśmy o wymiarach 3,0 × 0,34 mm i wytrzymałości na rozciąganie min. 1550 MPa. Wykonano walcowanie z naciągami i bez naciągów z zastosowaniem walców o zróżnicowanych średnicach i różnych schematach walcowania.

Wyniki prób technologicznych wskazały, jak ważny jest właściwy dobór średnicy drutu i gatunek stali do posiadanej walcarki. Odpowiedni gatunek stali i średnica drutu zapewniają uzyskanie wymaganych właściwości mechanicznych, a warunki walcowania (średnica walców, liczba przepustów, wielkość naciągu) mają decydujący wpływ na poszerzenie taśmy.

Autor składa serdecznie podziękowania Panu dr. inż. Maciejowi Rumińskiemu (Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie) za pomoc w realizacji pracy.

Badania wykonano w ramach pracy S0-0860 sfinansowanej z dotacji na działalność statutową Instytutu Metalurgii Żelaza.

LITERATURA

1. PN-EN ISO 16120-2:2012E: Walcówka ze stali niestopowej przeznaczona do produkcji drutu. Część 2: Wymagania dla walcówki ogólnego przeznaczenia
2. Weber R.: Wire flatening theory, The Wire Industry, 1956, t. 9, nr 23, s. 811
3. Herian J.: Ocena przydatności wzorów do obliczania poszerzenia podczas płaszczczenia drutów, Hutnik – Wiadomości hutnicze, 2002, t. 69, nr 11, s. 422–425
4. Vlasimirov I.V.: Proizvodstvo plushchenoy stalnoy lienty, Metallurgiya, Moskwa, 1985
5. Ruker W.N.: Raschot usily pri plushchenii lient, Chornaya Metallurgiya, 1988, nr 10, s. 193
6. Briczko G.A.: K raschotu raznotolshchinosti i raznoshirnosti plushchennoy lienty, Metiznoye Proizvodstvo, 1972, nr 1, s. 102
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.: Wpływ średnicy drutu i parametrów walcowania na poszerzenie płaszczonych drutów ze stali niskowęglowej, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, 2000, t. 67, nr 5, s. 188–191
9. Herian J.: Poszerzenie płaszczonych drutów ze stali węglowych po patentowaniu, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, 2000, t. 67, nr 7, s. 283–287