

JAN GOCZAŁ

Instytut Metalurgii Żelaza

WPŁYW PARAMETRÓW PATENTOWANIA DRUTU  
Z BEZPOŚREDNIM NAGRZEWANIEM OPOROWYM  
NA WŁASNOŚCI MECHANICZNE

Streszczenie. Duże szybkości przelotowe drutu przy bezpośrednim nagrzewaniu oporowym do patentowania są celowe - zwiększają sprawność cieplną i wydajność. Towarzyszące im duże szybkości nagrzewania przesuwają temperatury przemian do wyższych zakresów. W rezultacie wymagane jest stosowanie wyższych temperatur austenitizacji dla uzyskania zadowalających i powtarzalnych własności drutu. Z tych samych względów długości wianien z kąpielą ołowiową powinny być dłuższe aby przy większych szybkościach przelotowych zapewniały całkowitą przemianę w tych kąpielach.

1. Wstęp

Zastosowanie bezpośredniego nagrzewania oporowego do patentowania drutu z zachowaniem dotychczasowych parametrów powodowało nadmierne wahania jego własności mechanicznych.

W celu wyjaśnienia przyczyn tych wahań podjęto badania w ramach których wykonano jednożyłkowe urządzenie laboratoryjne do patentowania z bezpośrednim nagrzewaniem oporowym, na którym określono wpływ szybkości przelotowej na sprawność cieplną, własności mechaniczne i strukturę stali.

2. Wpływ temperatury austenitizacji  
na własności mechaniczne

Zastosowanie bezpośredniego nagrzewania oporowego do austenitizacji drutu przy patentowaniu zwiększyło dwukrotnie szybkość przelotową agregatu patentowniczego. Znacznie więk-

sze szybkości przelotowe zwiększają zarówno wydajność agregatu jak i jego sprawność cieplną (rys.1).

Wiążące się z tym duże szybkości grzania wpływają jednak w pewnym stopniu na własności patentowanych drutów. Chodzi tu głównie o tworzenie się austenitu podczas nagrzewania i jego rozpad w kąpeli ożwiowej.

Oba zjawiska wiążą się z dyfuzją i całkowity ich przebieg wymaga określonego czasu.

Na rys.2 zamieszczono wykres [4], którego krzywe biegnące ku górze (szybkość nagrzewania) wyznaczają punkty w miejscach przecięcia się z krzywymi przerywanymi. Punktami tymi są początki i zakończenia tworzenia się austenitu (przy dużej szybkości grzania) z wyjściowej struktury perlitycznej (perlit płytkowy - kropka - kreska) lub z wyjściowej struktury martenzytycznej (krzywa przerywana - kreski).

Z przebiegu krzywych początku i końca przemiany widać wyraźnie, że punkty  $A_c$  zależą od szybkości nagrzewania i przesuwają się do wyższego zakresu temperatur w miarę wzrostu szybkości nagrzewania. Toteż przy nagrzewaniu drutu w piecach przelotowych gazowych gdzie szybkość nagrzewania wynosi około  $15^{\circ}\text{C}/\text{sek}$ , przesunięcia punktów przełomowych są małe (rys.2) i to zarówno w stosunku do wyjściowej struktury perlitycznej, jak i w stosunku do struktury powstałej z odpuszczonego martenzytu. W żadnym wypadku przesunięcia te nie przekraczają  $30^{\circ}\text{C}$ . Przemiana faz kończy się przy temperaturze około  $780^{\circ}\text{C}$ , a rozpuszczenie całkowite cementytu szczątkowego przy temperaturze około  $870^{\circ}\text{C}$ .

Temperatura austenitizacji dla stali D85, przyjęta na poziomie  $900^{\circ}\text{C}$  jest prawidłowa przy nagrzewaniu w piecu gazowym.

Ta sama stal nagrzewana bezpośrednio oporowo z szybkością około  $150^{\circ}\text{C}/\text{sek}$  wykazuje początek przemiany perlitu w austenit dopiero przy temperaturze  $795^{\circ}\text{C}$  a koniec przy temperaturze około  $860^{\circ}\text{C}$ . Całkowite rozpuszczanie cementytu odbywa się dopiero powyżej  $900^{\circ}\text{C}$ .

Przy wyjściowej strukturze martenzytycznej temperatury przemian będą leżały odpowiednio niżej:  $765^{\circ}\text{C}$  - początek przemiany,  $835^{\circ}\text{C}$  - koniec przemiany.

Wynika stąd, że nagrzewanie oporowe walcówki o strukturze perlitu płytkowego spowoduje przesunięcia temperatur przemian do wyższego zakresu niż drutów już patentowanych i następnie ciągnionych.

Stosując zatem temperatury austenitizacji wyższe o 20 do  $30^{\circ}\text{C}$  od punktów przełomowych przy nagrzewaniu w piecu gazowym.

wym (powolnym) nie osiąga się całkowitej przemiany podczas patentowania z bezpośrednim nagrzewaniem oporowym, cechującym się dużą szybkością grzania.

Aby proces austenityzowania doprowadzić do końca przy patentowaniu oporowym należy stosować temperatury, które zależnie od szybkości nagrzewania będą leżały 60 do 150°C nad punktami  $A_{c3}$ .

W przeciwnym razie wystąpią średnie obniżenia i rozrzuty własności wytrzymałościowych i plastycznych stwierdzone na drutach ze stali D85 (rys.3).

Otrzymane wyniki wykazują pewien wzrost własności wytrzymałościowych ze wzrostem temperatury austenityzacji w badanym zakresie 800-1000°C.

Charakterystycznymi są tu znacznie mniejsza wytrzymałość na rozciąganie (Rr), liczba skręceń (S) i przegięć (Z) po patentowaniu przy najniższej temperaturze austenityzacji - 800°C. Wyższe własności mechaniczne (Rr, S, Z) i bardziej powtarzalne obserwuje się dopiero, gdy temperatura austenityzacji przekracza 900°C.

Przy szybkim nagrzewaniu oporowym nawet do 1000°C nie zaobserwowano rozrostu ziarn, które dla badanej stali (D85) austenityzowanej w kąpeli solnej występuje i wpływa niekorzystnie na własności mechaniczne.

Na rys.3 zamieszczono dla porównania odwrotną tendencję wpływu temperatury austenityzacji przy nagrzewaniu w kąpeli solnej na własności mechaniczne drutów ze stali D85, zahartowanych i odpuszczonych w kąpeli ołowiowej (rys.3 - krzywe O) w tej samej temperaturze jaką posiadała kąpiel przy patentowaniu z bezpośrednim nagrzewaniem oporowym (rys. 3 - krzywe P).

### 3. Wpływ szybkości przesuwania i czasu przebywania drutu w kąpeli ołowiowej

Zmiana szybkości przesuwania drutu powyżej pewnych krytycznych parametrów patentowania nie wywołuje zmian własności mechanicznych. Poniżej natomiast zwiększenie szybkości przesuwania może spowodować nadmierny wzrost szybkości grzania i związane z tym przesunięcia punktów przełomowych do wyższych zakresów, co przy ustalonej temperaturze nie pozwoli na osiągnięcie jednorodnego austenitu, a nawet pełnej przemiany.

Nadmierna szybkość przesuwania przy stałych wymiarach wanny skraca ponadto czas przebywania drutu w kąpeli ołowiowej.

wej. W rezultacie zakończenie przemiany może zachodzić już poza kąpielą, a więc w znacznie niższej temperaturze. Próby przeprowadzone na drucie  $\phi$  1 mm ze stali D70 wyraźnie to potwierdziły. Druty patentowane w ołowiu o temperaturze 470°C po austenityzacji w temperaturze 950°C, przesuwane z szybkością 31,5 m/min, zapewniającą czas przebywania w kąpielii ołowiowej równy 5 sek. (seria 1) wykazują:

$$Rr = 195-245 \text{ kG/mm}^2 \quad (Rr_{\text{śr}} = 206);$$

$$S = 4-17 \quad (S_{\text{śr}} = 9) \quad \text{i} \quad Z = 1-8 \quad (Z_{\text{śr}} = 5).$$

Czas przebywania w ołowiu w czasie przemiany jest zbyt krótki dla osiągnięcia całkowitej przemiany austenitu przy 470°C. Stąd też część austenitu uległa przemianie poza kąpielą w niższych temperaturach. W tych warunkach powstaje struktura złożona z produktów rozpadu austenitu zarówno przy temperaturze 470°C jak i przy temperaturach niższych łącznie z martenzytem (rys.4). Odbija się to na własnościach mechanicznych (wzrost Rr, obniżenie S i Z), i prowadzi do ich nadmiernych wahań.

Zwiększenie czasu przebywania drutu w ołowiu do 7,5 sek. zmniejsza Rr średnio (dla serii 2) do 183 kG/mm<sup>2</sup> przy  $S_{\text{śr}} = 22$ ; ( $S = 5-24$ ),  $Z_{\text{śr}} = 4$  ( $Z = 1-12$ ). Strukturę drutu z tej serii przykładowo pokazano na rys.5.

Przy dalszym przedłużeniu czasu przebywania drutu w kąpielii ołowiowej (o temperaturze 470°C) do 10,5 sek wytrzymałość na rozciąganie wynosi średnio (dla serii 2a):

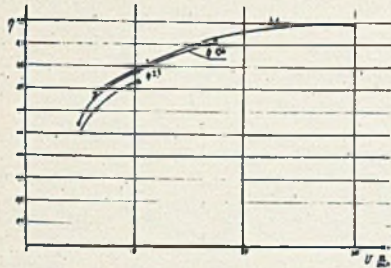
$$139 \text{ kG/mm}^2; \quad S_{\text{śr}} = 40 \quad \text{i} \quad Z_{\text{śr}} = 12.$$

Druty patentowane w analogicznych warunkach jak poprzednio z tym, że przy zmniejszonej szybkości do 17,5 m/min (seria 3) i czasie przebywania w kąpielii ołowiowej wynoszącym 10,5 sek. wykazują średnio  $Rr = 136 \text{ kG/mm}^2$ :

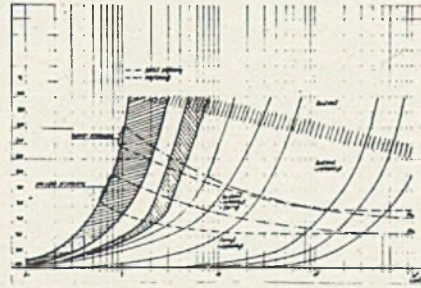
$$(Rr = 133,5 \text{ do } 140 \text{ kG/mm}^2; \quad S_{\text{śr}} = 47 \quad (S = 34 \text{ do } 50);$$

$$Z_{\text{śr}} = 13 \quad (Z = 11 \text{ do } 15).$$

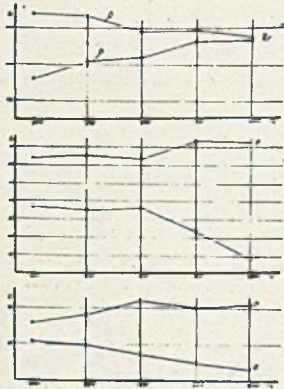
Strukturę drutu z tej serii (seria 3) uwidacznia rys.6.



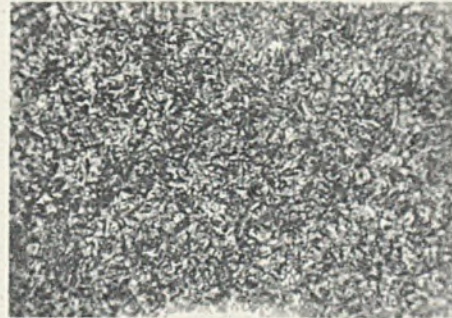
1



2



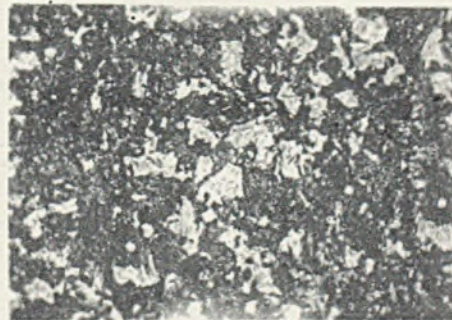
3



4



5



6

Nr rys.	Opis (struktura)	Powiększenie X
1	Zależność pomiędzy szybkością przelotową (V m/min) drutów o średnicach 1; 1,56 i 2,5 mm a sprawnością cieplną.	—
2	Wpływ szybkości nagrzewania na położenie punktów przełomowych.	—
3	Wpływ temperatury austenitizacji na wytrzymałość (Rr), liczbę skręceń (s) i liczbę przegięć (z) drutu ze stali D85 1 — patentowanego (P) i 2 — hartowanego i odpuszczonego (O).	—
4	Struktura drutu D70 po austenitizacji w temperaturze 950 i hartowaniu w kąpeli ołowiowej o temperaturze 470°C; czas przebywania drutu w kąpeli — 5 sekund.	800
5	Jw.; czas przebywania drutu w kąpeli ołowiowej — 7,5 sekund.	800
6	Jw.; czas przebywania drutu w kąpeli ołowiowej — 10 sekund.	800

Czwartą serię prób patentowania przy szybkości przesuwania drutu - 6,5 m/min i czasie przebywania w ołowiu wynoszącym 24 sek. daje średnio  $R_r = 137,6 \text{ kg/mm}^2$ .

( $R_r = 136$  do  $140$ ),  $S_{\text{sr}} = 42$  ( $S = 41$  do  $52$ ),  $Z_{\text{sr}} = 12$

( $Z = 10$  do  $14$ ).

Są to wyniki analogiczne do uzyskanych w serii 3.

Podobne zależności otrzymano dla drutu  $\varnothing 2,5 \text{ mm}$  ze stali D65, patentowanego w powyższych warunkach (temperatury austenitzacji, szybkości przesuwania i czasu przebywania drutu w kąpielii ołowiowej).

#### 4. Omówienie wyników

W badaniach zmieniano temperaturę austenitzacji od  $800$  do  $1000^\circ\text{C}$  oraz szybkość przesuwania drutu w granicach od  $6,5$  m/min. do  $31,5$  m/min. przy szybkościach nagrzewania od  $60^\circ\text{C}/\text{sek.}$  do  $310^\circ\text{C}/\text{sek.}$  Okresy czasu wytrzymania w kąpielii ołowiowej zmieniano od  $5$  sek. do  $24$  sek. Z przeprowadzonych prób wynika, że po przekroczeniu granicznej temperatury austenitzacji zapewniającej pełną przemianę podczas patentowania ani zmiana szybkości przesuwania ani też zmiana temperatury austenitzacji nie ma większego wpływu na własności mechaniczne drutu jeżeli czas jego przebywania w kąpielii ołowiowej był dostatecznie długi.

Fakt ten umożliwia dopuszczenie większych wahań temperatury austenitzacji niż w założonych granicach  $10^\circ\text{C}$ .

Przy pełnej austenitzacji wystarcza utrzymanie temperatury w granicach  $50^\circ\text{C}$  (np. dla stali D85-950+ $1000^\circ\text{C}$ ). Duże szybkości nagrzewania bezpośredniego powodują przesunięcia temperatur austenitzacji do wyższych zakresów o około  $50$  do  $150^\circ\text{C}$ , w porównaniu do temperatur właściwych przy patentowaniu w piecu gazowym. Krótkie czasy przebywania drutu przy tych stosunkowo wysokich temperaturach (np.  $1000^\circ\text{C}$ ) nie powodują wzrostu ziarn w stali, która w normalnych warunkach austenitzacji (kąpiel solna) wykazuje wzrost ziarna i związany z nim spadek własności plastycznych już przy temperaturze  $900^\circ\text{C}$  (rys.3).

Stosowanie dużych szybkości przesuwania drutu jest korzystne zarówno ze względu na większą przelotowość urządzenia, jak i jego sprawność cieplną, która dla małych średnic ( $\varnothing 1 \text{ mm}$ ) i szybkości rzędu  $30 \text{ m/min.}$  może dochodzić do około

95%. Należy jednak przy tym pamiętać o konieczności stosowania dłuższych wanien z kąpielą ołowiową. Długość wanny powinna zapewniać czas przebywania drutu w kąpielu ołowiowej właściwy dla danego gatunku stali i szybkości przelotowej. W przeciwnym przypadku własności plastyczne drutu ulegają wyraźnemu pogorszeniu.

#### LITERATURA

- [1] K.Zenkel - Stahl und Eisen. Nr 2, t.70 (1950) str.58/62.
- [2] O.C.Trautman - Wive and W. Prod. (1937), str.711/714 i 767/771.
- [3] E.Jaemichen - Stahl und Eisen, nr 25, t.77 (1957) str. 966/974.
- [4] A.Rose, L.Rademacher, K.Schemmer - Stahl und Eisen, 78 (1958) str.966/974.