

Jan ŁUKOWSKI, Marcin STAŃCZYK, Krzysztof SZAROWICZ

WPLYW ULEPSZANIA CIEPLNEGO Z ZASTOSOWANIEM CHŁODZIW POLIMEROWYCH NA WŁASNOŚCI PRĘTÓW GORĄCO WALCOWANYCH

Streszczenie. W opracowaniu przedstawiono wpływ ulepszenia cieplnego na strukturę oraz własności mechaniczne prętów walcowanych na gorąco. Analiza przeprowadzona została na podstawie wstępnej symulacji komputerowej oraz badań na próbkach pobranych z prętów ulepszanych cieplnie, hartowanych w chłodziwie polimerowym.

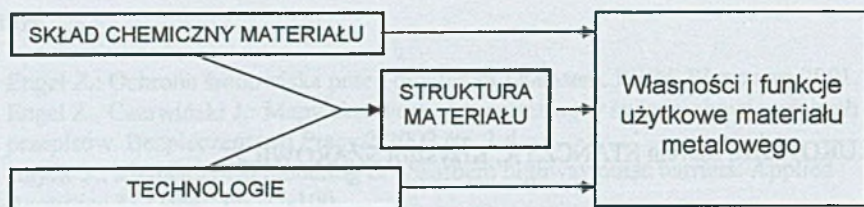
THE INFLUENCE OF QUENCHED AND TEMPERING WITH THE USE POLYMER QUENCHING FLUID ON THE PROPERTIES OF THE HOT ROLLING BARS

Summary. The paper presents the influence of quenched and tempering onto the mechanical properties and structure of the hot rolling bars. The article contains the comparison of computer simulation and real mechanical testing onto samples taken from hot rolling bars after heat treatment the polymer quenching fluid.

1. WSTĘP

Współczesna technika stawia materiałom wysokie wymagania, rosnące wraz z potrzebami rynku. Wszystkie tworzywa konstrukcyjne powinny być stosowane w sposób racjonalny, umożliwiający optymalne wykorzystanie ich potencjalnych własności użytkowych. Stan taki zapewnia tworzywom metalicznym w określonej mierze obróbka cieplna, kształtująca ich strukturę zarówno w całej objętości, jak i na ich powierzchni. Ostatnie lata przyniosły postęp w dziedzinie obróbki cieplnej zarówno pod względem teoretycznym ujęcia procesu, jak też w zakresie kompleksowej technologii stosowanej na skalę przemysłową. Dużym przełomem jest wprowadzenie jako chłodziw hartowniczych roztworów polimerowych.

Czynnikami warunkującymi własności i funkcje użytkowe stali są skład chemiczny i technologie wpływające na materiał zarówno bezpośrednio, jak i pośrednio poprzez modyfikację struktury (rys. 1).



Rys. 1. Schemat obrazujący wpływ czynników kształtujących własności i funkcje użytkowe tworzyw metalicznych

Fig. 1. A diagram showing the influence of a factor which forms the proprieties and exploited functions of metal

Jednym z procesów kształtujących ostateczne własności stali konstrukcyjnych są operacje obróbki cieplnej, a przede wszystkim hartowanie i odpuszczanie. Stal może być poddawana hartowaniu dzięki istnieniu przemian fazowych przechłodzonego austenitu. Najważniejszym warunkiem właściwego zaistnienia złożonych przemian jest odpowiednio przeprowadzone oziębianie. Przebieg oziębiania, a więc zależność szybkości chłodzenia od temperatury, zwany krzywą chłodzenia, musi być dostosowany nie tylko do gatunku obrabianej stali, ale także wielkości ziarna, jednorodności austenitu oraz wielkości i kształtu części obrabianej. W praktyce przemysłowej oziębianie realizuje się za pomocą chłodziw, z których każde posiada charakterystyczną dla siebie, zależną od temperatury intensywność chłodzenia.

Stale po austenitzowaniu, zależnie od szybkości chłodzenia, a tym samym od stopnia przechłodzenia i zakresu temperatury przemiany, mogą ulec przemianie według trzech różnych mechanizmów:

- dyfuzyjnej przemiany perlitycznej;
- bezdyfuzyjnej przemiany martenzytycznej;
- dyfuzyjno-bezdyfuzyjnej (mieszanej) przemiany bainitycznej.

Przemiany przechłodzonego austenitu prowadzą do uzyskania różnych struktur końcowych, które rzutują na własności materiału. Na przemianie, która zajdzie w austenicie podczas chłodzenia, ma wpływ wiele czynników. Do najważniejszych zaliczyć należy: szybkość chłodzenia oraz jej zmiany w czasie chłodzenia, zawartość węgla i składników stopowych. Bardzo ważne z punktu widzenia obróbki cieplnej jest, aby wpływ tych czynników został zobrazowany na wykresach CTP w sposób jednoznaczny i możliwie łatwy w interpretacji dla zastosowań praktycznych [1, 2].

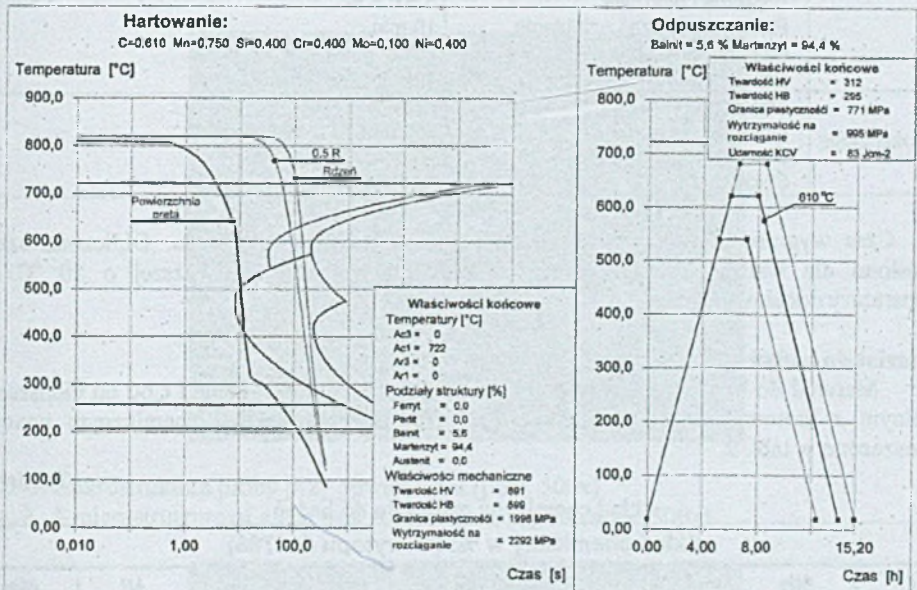
2. SYMULACJA WŁASNOŚCI STALI C60 NA PODSTAWIE WYKRESÓW CTPc

Wykresy czas-temperatura-przemiana są najważniejszą częścią kart materiałowych dla racjonalnego projektowania procesów obróbki cieplnej. Sporządzone w układzie temperatura – logarytm czasu wykresy zawierają krzywe poszczególnych przemian. Wykresy te sporządzane są nie tylko dla określonego gatunku stali, ale także dla danego wytopu stali cechującego się charakterystycznym składem chemicznym. Wyróżnia się dwa typy wykresów: CTPi – odpowiadające warunkom chłodzenia izotermicznego i wykresy CTPc – odpowiadające warunkom chłodzenia ciągłego. Wykresy CTPc są bardziej przydatne w praktyce przemysłowej, gdyż w obróbce cieplnej najczęściej stosowane jest chłodzenie ciągłe. Wykres tego typu opracowuje się na podstawie badań dylatometrycznych próbek chłodzonych z temperatury austenitzowania z różnymi szybkościami.

Założenia symulacyjne

W celu przeprowadzenia wstępnej analizy możliwych do uzyskania własności mechanicznych stali oraz struktur na powierzchni oraz w głębszych partiach materiału bardzo często przeprowadza się wstępne symulacje komputerowe.

Uwzględniając charakterystyki nowoczesnych chłodziw polimerowych podobne symulacje zostały przeprowadzone dla prętów gorąco walcowanych. Symulacje przeprowadzono dla średniego składu chemicznego stali w gatunku C60. Weryfikacji poddano warstwy przypowierzchniowe pręta o średnicy 150 mm. Założono średnią temperaturę odpuszczania (610 °C) z przedziału przewidzianego przez normę PN-EN 10083 [3] dla omawianego gatunku stali. Temperaturę austenitizowania przyjęto na poziomie 820 °C. Parametry chłodzenia dobrane zostały na podstawie danych producenta chłodziwa hartowniczego Aqua Quench MK firmy Houghton [4]. Na rysunku 2 zobrazowano wyniki symulacji komputerowych uwzględniające zakres struktur uzyskanych po hartowaniu, jak również własności mechaniczne materiału po odpuszczaniu.



Rys. 2. Symulacja ulepszenia cieplnego z hartowaniem w chłodziwie polimerowym stali C60
Fig. 2. A simulation of quenching in a polymer coolant of C60 steel

3. BADANIA PRĘTÓW PO ULEPSZANIU CIEPLNYM

W celu weryfikacji wstępnie przeprowadzonych symulacji komputerowych szczegółowej analizie poddano materiał prętów walcowanych na gorąco po procesie ulepszenia cieplnego. Parametry obróbki cieplnej prętów o średnicy 150 mm w gatunku C60 zostały dobrane na podobnym poziomie jak w przypadku symulacji komputerowych (tabl. 1). Dokładny czas nagrzewania prętów przed hartowaniem określono na podstawie zależności (1):

$$\tau_n = 366,3 \frac{Rf_p \left(1 - \sqrt{\frac{\Delta t}{t_p}}\right)}{\left(\frac{T}{100}\right)^n} \times 1,5 \quad [\text{h}], \quad (1)$$

gdzie:

τ_n - czas nagrzewania,

R - promień przekroju nagrzewanego wsadu,

t_p - temperatura pieca,

Δt - różnica między temperaturą pieca a temperaturą docelową,

$(T/100)^4$ - człon z równania Stefana – Boltzmana, gdzie T – temperatura ciała promieniującego. W przypadku pieca komorowego jest to temperatura ścian pieca lub elementów grzewczych [5].

Tablica 1

Parametry obróbki cieplnej prętów $\varnothing 150$ mm

HARTOWANIE	Temperatura hartowania	810 – 820 °C
	Czas nagrzewania	95 min.
	Czas wygrzewania	25 min.
	Łączny czas grzania	120 min.
	Ośrodek chłodzący	Chłodziwo polimerowe AQUA QUENCH MK
	Stężenie chłodziwa	5 ± 0,5 %
	Rzeczywisty czas oziębiania	10 min.
	Rzeczywista temp. ośrodka	25°C
ODPUSZCZANIE	Intensywność mieszania	1,8 - 2 m/s
	Temp. odpuszczania	610 – 620 °C
	Czas nagrzewania	120 min.
	Czas wygrzewania	30 min.
	Studzenie	Powietrze

Czas wygrzewania przyjęto jako 25% czasu nagrzewania wsadu. Obliczone czasy określono dla warunków nagrzewania w piecu o temperaturze wyższej o 50 °C od temperatury docelowej.

Material do badań

Material do badań stanowiły pręty o średnicy 150 mm w gatunku C60 po ulepszeniu cieplnym z hartowaniem w chłodziwie Aqua Quench MK. Skład chemiczny wytopu zmieszczono w tabl. 2.

Tablica 2

Skład chemiczny materiału do badań

Skład chemiczny w %: (nr wytopu 421786)

C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo
0,64	0,88	0,38	0,017	0,015	0,04	0,20	0,02	0,006
V	Sn	As	Ti	Al	N	Fe		
0,003	0,003	0,002	0,002	0,032	0,007	97,74		

Metodyka badań

Badania mikroskopowe struktury i własności mechanicznych prętów przeprowadzono w Laboratorium Centralnym Huty Bankowa. Obserwację mikroskopową prowadzono na mikroskopie Axiovet 200MAT przy powiększeniu 500x, na zglądach trawionych odczynnikami „Nital”. Próbkę statycznego rozciągania wykonano wg PN-EN 10002-1/2002 na maszynie wytrzymałościowej AMSLER 60ZD 1368 ze zmodernizowanym układem sterowania i pomiaru w systemie DUPS I firmy Zwick.

Dla badanego pręta wykonano po trzy próby, a uzyskane wyniki uśredniono i zamieszczono w tabl. 3.

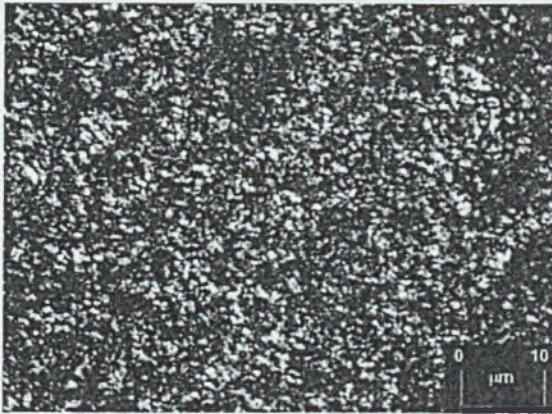
Wyniki badań własności mechanicznych i mikrostruktury

Tablica 3

Własności mechaniczne prętów ze stali C60 po ulepszeniu cieplnym z zastosowaniem chłodziwa polimerowego

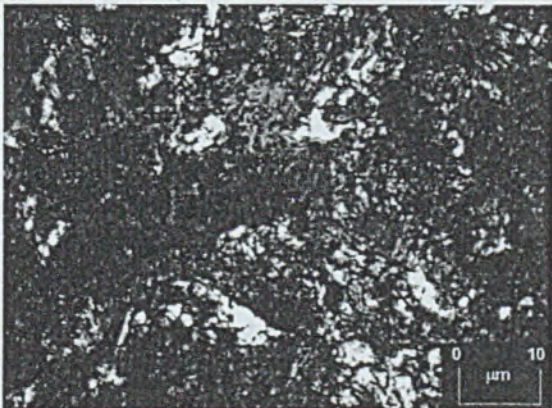
Nr próby	$R_{0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_5 [%]	Z [%]	KV [J] średnia z 3 pomiarów
1	645	964	17,8	55,4	23,0
2	643	973	18,8	56,4	21,3
3	646	971	18,5	58,2	22,0
Wartość średnia	644,6	969,3	18,3	56,6	22,1

Na rysunkach 3 i 4 zaprezentowano mikrostrukturę warstwy przypowierzchniowej oraz głębszych partii materiału (połowa promienia próbki) dla pręta o średnicy 150 mm.



Rys. 3. Mikrostruktura próby przy powierzchni (pow. 500x)

Fig. 3. A microstructure of a test near the surface (magnification 500x)



Rys. 4. Mikrostruktura w odległości 0,5R od powierzchni (pow. 500x)

Fig. 4. A microstructure in the distance of 0,5 R from the surface (magnification 500x)

4. PODSUMOWANIE

Analizując wyniki uzyskane metodą modelowania matematycznego jak również procentowy udział składników strukturalnych dla prętów wykonanych ze stali C60 i porównując je z wynikami badań laboratoryjnych można stwierdzić wyraźny wpływ sposobów chłodzenia na własności mechaniczne prętów. W strefie przypowierzchniowej odnotowano struktury drobnoiglastego martenzytu odpuszczonego, co potwierdza symulacja komputerowa (94,4 % udziału struktur martenzytycznych i 5,6 % bainitycznych). W głębszych partiach materiału stwierdzono dodatkowo drobne wydzielenia ferrytu. Analizując własności mechaniczne można stwierdzić, że nie odbiegają one od wymagań określonych przez normę PN-EN 10083-1. Niewielkie różnice wyników uzyskanych podczas badań w porównaniu do symulacji komputerowych można tłumaczyć pewną rozbieżnością składu chemicznego badanego materiału. Należy dodać, iż podczas hartowania w chłodziwie polimerowym Aqua Quench MK (w warunkach przemysłowych) nie odnotowano żadnych wad hartowniczych w postaci pęknięć i odkształceń. Tego typu wady bardzo często towarzyszą hartowaniu w wodzie.

Literatura

1. Prowans S.: Struktura stopów. PWN, Warszawa 1991.
2. Luty W.: Poradnik inżyniera. Obróbka cieplna stopów żelaza. WNT, Warszawa 1977.
3. PN-EN 10083-1. Stale specjalne niestopowe do ulepszenia cieplnego i hartowania powierzchniowego.
4. "Houghton on Quenching" – katalog handlowy firmy Houghton.
5. Szewieczek D.: Obróbka cieplna materiałów metalowych, Politechnika Śląska, Gliwice 1998.

Recenzent: Dr hab. inż. Grzegorz NIEWIELSKI prof. nzw, w Pol. Śląskiej

Sprawozdanie wykonano w ramach BW nr 441/RT2/2004.