

Jan ŁUKOWSKI, Marcin STAŃCZYK

## ZASTOSOWANIE CHŁODZIW POLIMEROWYCH W OBRÓBCE CIEPLNEJ OBRĘCZY KOLEJOWYCH

**Streszczenie.** W opracowaniu przedstawiono wyniki zastosowania nowoczesnych chłodziw polimerowych do ulepszania cieplnego obręczy kolejowych, omówiono również wpływ chłodziwa polimerowego typu PAG na strukturę oraz właściwości mechaniczne.

### THE USE OF POLYMER QUENCHING IN THE HEAT TREATMENT OF RINGS OF WHEELS

**Summary:** The papers presents the general characteristic of modern polymer quenching used in the heat treatment of rings of wheels. It also presents the influence of hardening and tempering in the polymer quenching type PAG on the structure and the mechanic proprieties of rings of wheels.

#### 1. WSTĘP

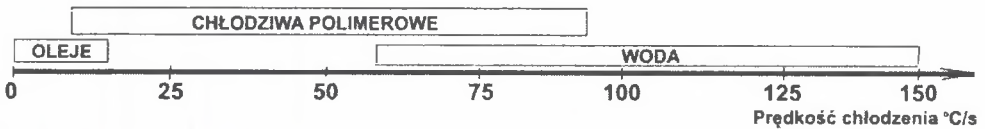
Rozwój transportu szynowego jest ściśle związany ze wzrostem szybkości przewozowych, jak i masą przewożonych ładunków. Czynniki te wpływają na poziom obciążeń statycznych i dynamicznych układów jezdnych. Jednocześnie współczesne środki transportu kolejowego muszą spełniać wysokie wymagania w zakresie bezpieczeństwa jazdy, trwałości, niezawodności oraz jakości eksploatacyjnej zespołów.

Jakość gotowego wyrobu uzależniona jest od jakości technologicznej i użytkowej. Jakość użytkową określają między innymi odporność na ścieranie, wytrzymałość zmęczeniowa, własności cierne i podatność na smarowanie, odporność na uszkodzenia mechaniczne, chemiczne, korozję itp. Jakość technologiczną charakteryzuje: dokładność wymiarowo-kształtowa, właściwości mechaniczne przed i po obróbce oraz własności fizyczne warstwy wierzchniej. Powiązanie jakości użytkowej i technologicznej stanowi podstawę prawidłowego systemu projektowania podzespołów.

Istotny wpływ na jakość technologiczną mają właściwości mechaniczne materiału po obróbce cieplnej tj: granica plastyczności  $R_e$ , wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$ , wydłużenie  $A_5$ , twardość HB oraz udarność KCU. Właściwości te uzależnione są od rodzaju stosowanych operacji obróbki cieplnej (normalizowanie lub ulepszanie cieplne). W chwili obecnej ze względu na znaczny wzrost prędkości trakcyjnej, a tym samym obciążeń układów jezdnych, operacje ulepszania cieplnego są jedyną możliwą drogą podwyższenia jakości obręczy kuto-walcowanych.

## 2. WŁAŚCIWOŚCI CHŁODZIWA POLIMEROWYCH

Polimerowe chłodziwa hartownicze stanowią alternatywę dla chłodziw konwencjonalnych. Możliwość precyzyjnego sterowania parametrami chłodzenia w zakresie pomiędzy prędkością chłodzenia wody a oleju hartowniczego (rys. 1), w znacznym stopniu poszerza zakres możliwości obróbki cieplnej różnych gatunków stali bez konieczności zmiany chłodziwa hartowniczego.



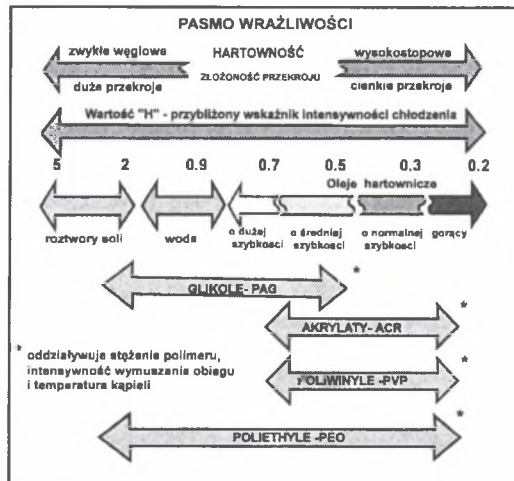
Rys. 1. Zakresy prędkości chłodzenia podstawowych chłodziw hartowniczych  
Fig. 1. The range of quenching velocities of elementary quenching fluid

Prędkość chłodzenia dla każdego chłodziwa polimerowego można regulować głównie przez zmianę stężenia, temperaturę kąpieli oraz intensywność mieszania. W zakresie temperatury przemiany martenzytycznej  $M_s$ - $M_f$  polimerowe chłodziwa glikolowe typu PAG wykazują większe prędkości chłodzenia w porównaniu z ośrodkami na bazie poliakrylatów (ACR), poliwinylu (PVP) i polietylu (PEO), które przy  $300^\circ\text{C}$  mają prędkości chłodzenia podobne do olejów.

Prawidłowy dobór ośrodka chłodzącego powinien uwzględniać szereg czynników, między innymi:

- gatunek stali i geometrię elementu obrabianego,
- metodę hartowania,
- minimalizowanie naprężeń hartowniczych,
- usuwanie ośrodka hartowniczego z powierzchni wyrobu po obróbce.

Z wymienionych czynników dominujące znaczenie dla prawidłowego doboru chłodziwa hartowniczego ma skład chemiczny obrabianych cieplnie wyrobów oraz ich kształt i wymiary. Wpływ tych czynników jest przedstawiony w postaci zakresu wrażliwości (rys. 2)[1].



Rys. 2. Zakres wrażliwości dla doboru chłodziwa hartowniczego [1]  
Fig. 2. Sensitivity band for quenchant selection [1]

Gatunek stali, a przede wszystkim zawartość pierwiastków stopowych, wpływają na hartowność, a tym samym na wymaganą prędkość chłodzenia zapewniającą uzyskanie prawidłowej struktury i właściwości końcowych.

Przekrój oraz złożoność geometryczna detalu mają istotny wpływ na poziom naprężeń wewnętrznych powstający podczas chłodzenia. Różnice w przekrojach poprzecznych wyrobu prowadzą do zróżnicowanych warunków chłodzenia, co w konsekwencji może powodować powstawanie defektów hartowniczych. Wyroby o dużych przekrojach powinny być chłodzone z większymi prędkościami, zapewniającymi krytyczną prędkość chłodzenia w głębszych partiach materiału [2].

Różnorodność obecnie produkowanych chłodziw hartowniczych pozwala na optymalny dobór chłodziwa, uwzględniający wymagania co do właściwości końcowych wyrobu. W tablicy 1 podano podstawowe właściwości fizyczne oraz zastosowanie wybranych chłodziw polimerowych, najczęściej spotykanych na rynku i stosowanych w przemyśle [3,4].

Tablica 1

Charakterystyka oraz zastosowanie chłodziw polimerowych [4]

Nazwa chłodziwa	Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	Lepkość kinematyczna [mm <sup>2</sup> /s] przy 20/40 °C	pH (koncentrat)	Zastosowanie
Aqua-Quench EC/WE	1,03	590 ± 305	9,4	hartowanie objętościowe
Aqua-Quench MK	1,08	770 ± 360	9,4	hartowanie objętościowe
Aqua-Quench KS	1,02	3,8 ± 1,9	9,2	hartowanie indukcyjne, ogniowe oraz objętościowe
Aqua-Quench LQR	1,04	500 ± 240	9,2	hartowanie objętościowe
Aqua-Quench BW/T	1,09	700 ± 310	9,4	hartowanie indukcyjne, ogniowe oraz objętościowe

### 3. OBRÓBKA CIEPLNA OBRĘCZY KOLEJOWYCH

Podstawowym celem ulepszenia cieplnego jest uzyskanie struktury sorbitycznej. Tego typu struktury uzyskiwane są poprzez wysokie odpuszczanie martenzytu powstałego w wyniku hartowania. Materiał taki charakteryzuje się wysokimi właściwościami wytrzymałościowymi przy zachowaniu wymaganej plastyczności.

Zbyt duża kruchość materiału po zabiegach obróbki cieplnej, powodowana błędnie dobranymi parametrami obróbki, w przypadku obręczy narażonych na gwałtownie pojawiające się cyklicznie obciążenia stwarza niebezpieczeństwo powstawania pęknięć. Występująca równocześnie w strukturze tych obręczy siatka ferrytu powoduje dodatkowo wyraźne obniżenie wytrzymałości zmęczeniowej stali.

Obręcze poddane operacjom obróbki cieplnej, czyli normalizowaniu lub ulepszeniu cieplnemu, muszą mieć właściwości mechaniczne zgodne z wymaganiami PN-84/H-84027/06 [5]. Szczegółowy zakres badań obowiązkowych i dodatkowych w zależności od wymagań kontraktu określony jest poprzez normę PN-93/K-91042 [6].

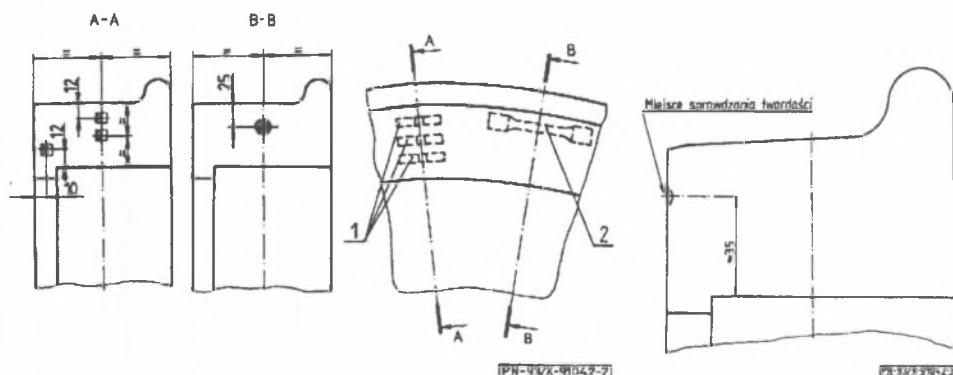
### 4. BADANIA OBRĘCZY KOLEJOWYCH PO ULEPSZANIU CIEPLNYM

W celu określenia właściwości obręczy kuto-walcowanych po ulepszeniu cieplnym, dokonano analizy porównawczej wyników badań dla dwóch różnych wariantów. Analizie poddano obręcze w gatunku P60, ulepszone cieplnie z hartowaniem w wodzie i chłodziwie Aqua Quench EC/WE. Analizę oparto na weryfikacji ponad 120 wyników badań przy

porównywalnych parametrach obróbki cieplnej oraz około 1500 wyników badań odbiorowych przy różnych parametrach, dla obręczy produkowanych przez Hutę Bankową w Dąbrowie Górniczej.

### Metodyka badań

Badania mikroskopowe struktury i właściwości mechanicznych obręczy przeprowadzono w Laboratorium Centralnym Huty Bankowa. Obserwację mikroskopową prowadzono na mikroskopie Axiovet 200MAT z oprogramowaniem „Image Express”, przy powiększeniu 500x, na zglądach trawionych odczynnikiem „Nital”. Próbę statycznego rozciągania wykonano wg PN-EN 10002-1/2002 [7] na maszynie wytrzymałościowej AMSLER 60ZD 1368 ze zmodernizowanym układem sterowania i pomiaru w systemie DUPS I firmy Zwick. Próbki pobrano z obręczy zgodnie z normą PN-93/K-91042 [4]. Pomiar twardości wykonany został na powierzchni bocznej (rys. 3)[6].



Rys. 3. Miejsca pobierania próbek do badań oraz sprawdzania twardości na powierzchni bocznej wg PN-93/K-91042 [6]: 1. próbki do sprawdzania udarności, 2. próbka do sprawdzania wytrzymałości na rozciąganie

Fig. 3. The point of drawing of samples for researching and checking the hardness on the lateral surface by PN-93/K-91042 [6]: 1. samples for checking the impact resistance, 2. samples for checking the tensile strength

### Wyniki badań właściwości mechanicznych i mikrostruktury

W celu przeprowadzenia analizy statystycznej własności stali P60 po procesie ulepszenia cieplnego, losowo wybrano z przestrzeni prób 12 przykładów stanowiących próbę reprezentatywną. Średni poziom wszystkich parametrów dla wybranej grupy elementów odzwierciedla średni poziom dla całej badanej populacji.

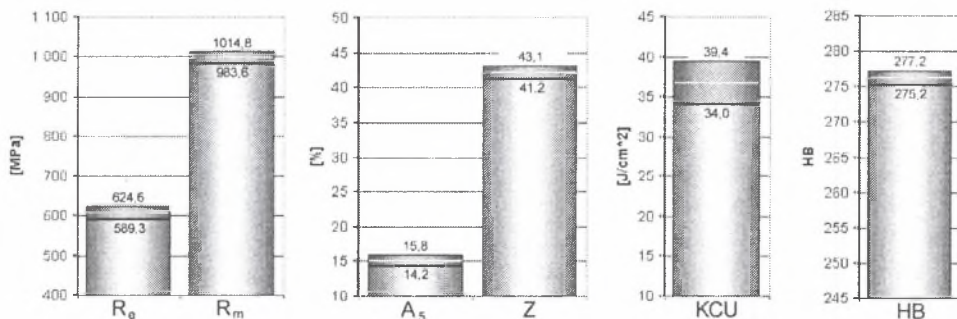
Celem statystyki było określenie podstawowych właściwości materiału obręczy kuto-walcowanych pod względem powtarzalności wyników procesu obróbki cieplnej, jak również stabilności procesu na podstawie rozrzutu wyników prób.

W tabelicy 2 przedstawiono wartości liczbowe parametrów dla odpowiednich prób, poziom średni, wariancję, odchylenie standardowe oraz przedziały ufności. Ponadto zilustrowano graficznie (rys. 4 i 5) wyniki analiz uwzględniając poziom średni oraz rozpiętość przedziałów ufności.

Tablica 2

Właściwości obręczy kolejowych po ulepszeniu cieplnym z hartowaniem w chłodziwie polimerowym Aqua Quench EC/WE oraz wodzie

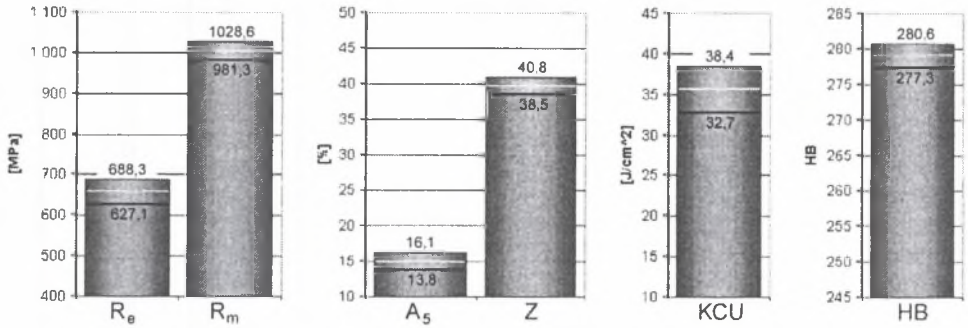
Obręcze ze stali P60 ulepszone cieplnie:													
z hartowaniem w Aqua Quench EC/WE						z hartowaniem w wodzie							
R <sub>e</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>5</sub> [%]	Z [%]	KCU [J/cm <sup>2</sup> ]	HB	R <sub>e</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>5</sub> [%]	Z [%]	KCU [J/cm <sup>2</sup> ]	HB		
586	969	14,4	40,2	36	277	705	975	14,8	38,2	36	282		
578	977	14,4	42,4	37	277	580	970	16,6	43,6	36	277		
633	1040	13,6	40,4	35	274	724	1050	13,3	39,2	31	278		
573	994	15,9	42,8	33	277	652	999	18,3	41,2	45	280		
578	961	15,9	43,3	32	277	688	1018	15,3	41,6	42	280		
586	977	14,1	42,5	36	276	639	991	15,4	38,2	32	275		
606	1021	14,8	41,2	45	277	630	1047	12,8	39,1	31	276		
595	1004	16,6	43,1	32	277	611	1020	13,4	40,2	31	277		
649	1009	14,3	43,9	35	277	713	1076	12,4	37,2	33	277		
637	1029	18	40,7	39	277	705	975	14,8	38,2	36	282		
624	1006	14,4	44,7	44	277	601	958	16,4	39,6	36	282		
639	1004	14,6	41	37	272	645	981	16,5	40,2	38	282		
Różnica pomiędzy próbą reprezentat. a badaną populacją, %	<0,5					<0,5							
Poziom średni	607,00	999,25	15,08	42,18	36,75	276,25	657,75	1005,00	15,00	39,71	35,58	279,00	
Wariancja	774,36	600,02	1,60	2,14	17,48	2,57	2326,39	1387,82	3,19	3,20	19,90	6,91	
Odczylenie standardowe	27,83	24,50	1,27	1,46	4,18	1,60	48,23	37,25	1,78	1,79	4,46	2,63	
Poziom ufności	0,95					0,95							
Przedział ufności	Dolny	589,319	983,686	14,279	41,253	34,094	275,232	627,104	981,330	13,866	38,572	32,749	277,330
	Górny	624,681	1014,814	15,888	43,114	39,406	277,268	688,396	1028,670	16,134	40,845	38,418	280,670



Rys. 4. Graficzna postać właściwości mechanicznych obręczy kolejowych w gatunku P60, ulepszonych cieplnie z hartowaniem w chłodziwie Aqua Quench EC/WE

Fig. 4. The graphic shape of mechanic proprieties of the rings of wheels in the P60 type, hardening and tempering in Aqua Quench EC/WE

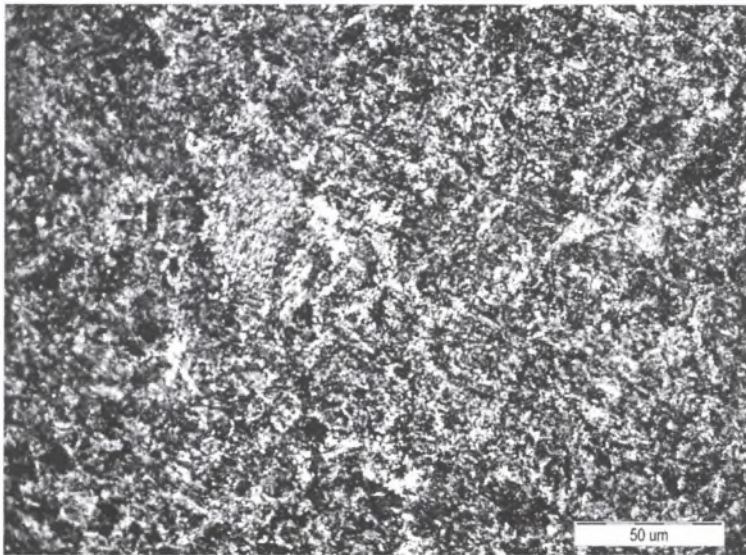




Rys. 5. Graficzna postać właściwości mechanicznych obręczy kolejowych w gatunku P60, ulepszanych cieplnie z hartowaniem w wodzie

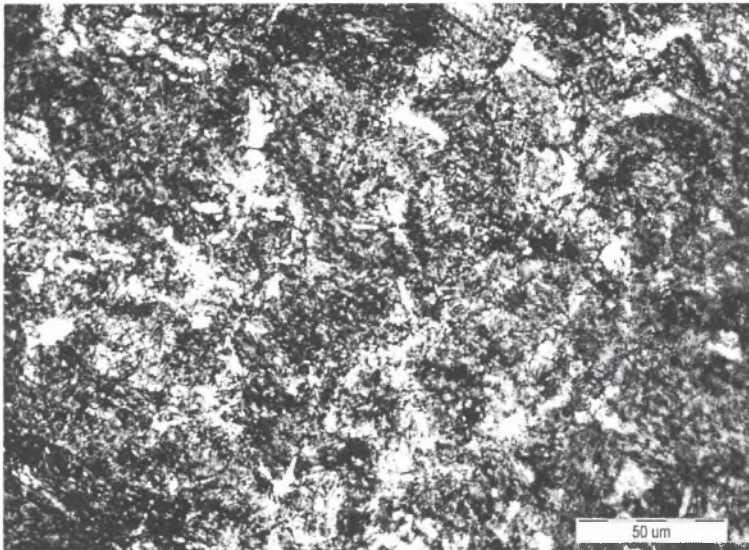
Fig. 5. The graphic shape of mechanic proprieties of the rings of wheels in the P60 type, hardening and tempering in water

Na rysunku 6 i 7 zaprezentowano przykładowe mikrostruktury obręczy kolejowych w gatunku P60, ulepszanych cieplnie z hartowaniem w chłodziwie polimerowym. Na zdjęciu nr 6 przedstawiono mikrostrukturę warstwy przy powierzchniowej. Zdjęcie nr 7 obrazują mikrostrukturę w odległości około 25-30 mm od powierzchni obręczy.



Rys. 6. Mikrostruktura ulepszonej cieplnie obręczy przy powierzchni po hartowaniu w Aqua Quench EC/WE (pow. 500x)

Fig. 6. The microstructure of quenched and tempered ring of a wheel near the surface after quenching in Aqua Quench EC/WE



Rys. 7. Mikrostruktura ulepszonej cieplnie obręczy w odległości 25-30 mm od powierzchni (pow. 500x)

Fig. 7. The microstructure of quenched and tempered ring of a wheel 25-30 mm from the surface

### Analiza wyników badań

Na podstawie przeprowadzonej analizy porównawczej właściwości stali P60, po obróbce cieplnej z wykorzystaniem wody oraz chłodziwa polimerowego Aqua Quench EC/WE jako chłodziwa hartowniczego, można sformułować następujące wnioski.

Dla badanych obręczy stwierdzono wzrost właściwości plastycznych po chłodzeniu w chłodziwie polimerowym, tj. wydłużenia, przewężenia oraz udarności. Na podstawie analizy statystycznej przeprowadzonej na próbie reprezentatywnej można stwierdzić pozytywny wpływ chłodziwa polimerowego na właściwości obręczy i ich powtarzalność. Na podstawie analizy porównawczej twardości obrabianych cieplnie obręczy stwierdzono niewielką różnicę twardości, nie przekraczającą 3 HB. Rozrzut wyników prób po hartowaniu w chłodziwie polimerowym jest znacznie mniejszy aniżeli po hartowaniu w wodzie. Świadczy to o większych możliwościach procesu pod względem dotrzymania założonych właściwości wyrobu w produkcji masowej. Podobny efekt zauważalny jest przy analizie udarności. Dla wszystkich badanych właściwości wartości odchylenia standardowego, wariancji oraz przedziału ufności były korzystniejsze dla prób po hartowaniu w chłodziwie polimerowym. Wzrost wspomnianych właściwości materiału wraz ze znaczną powtarzalnością wyników badań potwierdza przydatność chłodziw polimerowych w procesie hartowania obręczy kuto-walcowanych.

Obserwowane struktury były prawidłowe i typowe dla obręczy kolejowych ulepszonych cieplnie. W analizowanych obręczach stwierdzono obecność struktury odpuszczonego martenzytu.

#### 4. PODSUMOWANIE

Wyniki badań oraz analiza statystyczna właściwości obręczy kolejowych poddanych operacjom ulepszenia cieplnego z zastosowaniem jako chłodziwa hartowniczego wody oraz chłodziwa polimerowego Aqua Quench EC/WE wykazały, iż niezależnie od zastosowanego medium chłodzącego, obręcze spełniają wymagania określone w PN-84/H-84027/06.

Rozrzut wyników badań, określony na podstawie przedziałów ufności, świadczy o wyższej powtarzalności właściwości po operacjach ulepszenia cieplnego w chłodziwie polimerowym.

Przyjmując, że jakość obręczy kolejowych uzależniona jest w dużym stopniu od jakości technologicznej, należy stwierdzić, że niewielki spadek granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie rekompensowany jest wzrostem właściwości plastycznych, a przede wszystkim udarność. Kilkuprocentowy (3,2%) wzrost udarność przy zachowaniu prawidłowej struktury świadczy o wzroście walorów eksploatacyjnych kompletnego układu jezdnego. Po uwzględnieniu powyższych wniosków oraz na podstawie możliwości oferowanych przez nowoczesne chłodziwa polimerowe w zakresie sterowania parametrami chłodzenia, można potwierdzić przydatność chłodziw polimerowych w obróbce cieplnej obręczy kolejowych.

#### Literatura

1. Houghton on Quenching – katalog handlowy firmy Houghton.
2. Szewieczek D.: Obróbka cieplna materiałów metalowych, Politechnika Śląska, Gliwice 1998.
3. Moore D.: Developments in Liquid Quenchants, Heat Treatment of Metals, 3, 1999.
4. Houghton Fluid Technology & Service Worldwide – katalog handlowy.
5. PN-84/H-84027/06 – Stale dla kolejnictwa. Obręcze do kół pojazdów szynowych. Gatunki.
6. PN-93/K-91042 – Obręcze nieobrobione do zestawów kołowych. Wymagania i badania.
7. PN-EN 10002-1/2002 – Metale. Próba rozciągania. Metoda badań w temperaturze otoczenia.

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