

Marcin STAŃCZYK, Jan ŁUKOWSKI

JEDNORODNOŚĆ WŁASNOŚCI PRĘTÓW ULEPSZANYCH CIEPLNIE STOSOWANYCH W BUDOWIE MASZYN

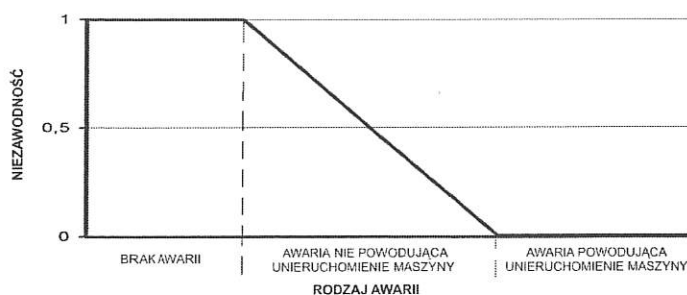
Streszczenie. W opracowaniu zaprezentowano analizę własności mechanicznych prętów gorącowalcowanych ulepszanych cieplnie. Analizie badawczej poddano pręty stanowiące materiał wyjściowy do budowy części maszyn o określonym przeznaczeniu.

THE HOMOGENEITY MECHANIC PROPERTIES OF THE BARS ROUND IRON AFTER QUENCHING AND TEMPERING

Summary. The papers presents the mechanic properties of the bars round iron after quenching and tempering. The bars round iron which are the basic material for construction of special machine elements were analyzed.

1. WSTĘP

Współczesne maszyny i urządzenia składają się z wielu podzespołów i detali, których jakość technologiczna i eksploatacyjna (rozumiana jako ogół cech i właściwości decydujących o zdolności wyrobu do zaspokajania stwierdzonych lub przewidywanych potrzeb) decyduje o trwałości i niezawodności całego układu [1]. Każda maszyna z założenia posiada ściśle określone zastosowanie i przeznaczenie. Wszelkiego rodzaju awarie i uszkodzenia w większości przypadków są efektem zaniedbań, błędów konstrukcyjnych, wad materiałowych, jak również błędnej diagnozy danego elementu lub zespołu. W wielu przypadkach awaria jest przyczyną unieruchomienia urządzenia, oznacza to, że dana jednostka nie jest w stanie prawidłowo funkcjonować w myśl założeń, do których została skonstruowana. Można więc przyjąć, że niezawodność takiego urządzenia spada do zera. Istnieje również możliwość wystąpienia takiego uszkodzenia, którego wpływ na dalszą eksploatację nie jest tak katastroficzny, jak wspomniane poprzednio. Zdolności maszyny zostają ograniczone tylko w pewnym stopniu. Na rysunku 1 przedstawiono schematycznie wpływ rodzaju uszkodzenia na niezawodność maszyny. Analizując tę charakterystykę można zauważyć, że niewielkie uszkodzenie zaczyna znacząco wpływać na ogólną sprawność urządzenia. Wszelkiego rodzaju niedomagania, nie tylko układu napędowego, ale pozostałych podzespołów, wpływają na wiele czynników związanych z prawidłową pracą układu, a przede wszystkim na koszty eksploatacji i utrzymania całego urządzenia.



Rys. 1. Wpływ rodzaju awarii na niezawodność maszyny

Fig. 1. The kinds of failure with their influence on the machine reliability

Pomimo ogromnego postępu inżynierii materiałowej we wprowadzaniu do budowy maszyn coraz nowszych i doskonalszych materiałów, należy stwierdzić, że stal nadal jest najczęściej stosowanym materiałem konstrukcyjnym. Szeroki asortyment gatunkowy oferowany przez obecny przemysł hutniczy charakteryzuje się coraz lepszymi własnościami mechanicznymi, plastycznymi, technologicznymi itp.

Wzrost własności mechanicznych, jak również możliwość ich projektowania z uwzględnieniem warunków pracy, wpływa znacząco na jakość i niezawodność gotowego wyrobu. Jednym z kierunków podnoszenia własności mechanicznych jest obróbka cieplna. Przemysł hutniczy do tej pory dostarczał wyroby w stanie surowym lub normalizowanym. Duże naddatki na obróbkę skrawaniem oraz konieczność wprowadzania dodatkowych operacji technologicznych przed obróbką wykańczającą stanowiły znaczne utrudnienia techniczne. Obecnie przemysł hutniczy oferuje swoim odbiorcom wyroby ulepszone cieplnie. Materiał taki posiada dobrą skrawalność przy zachowaniu wysokich własności wytrzymałościowych. Wyroby tego typu stanowią alternatywę dla projektanta i technologa podczas wstępnej analizy technologiczności konstrukcji, jak również kosztów produkcji [2].

2. WŁASNOŚCI MATERIAŁU ULEPSZANEGO CIEPLNIE

Biorąc pod uwagę znaczący udział materiałów ulepszanych cieplnie w budowie maszyn należy przeanalizować szereg czynników wpływających na jakość gotowego wyrobu. Do jednego z najistotniejszych czynników należy rozkład własności mechanicznych na przekroju wyrobu hutniczego po ulepszaniu cieplnym. Od jednorodności własności mechanicznych oraz struktury w całej objętości wyrobu zależy jego jakość i trwałość.

W celu przeanalizowania rozkładu własności oraz struktury wyrobów hutniczych ulepszanych cieplnie przeprowadzono badania. Badania były prowadzone pod kątem możliwości stosowania tego typu wyrobów do budowy części maszyn.

Materiał do badań

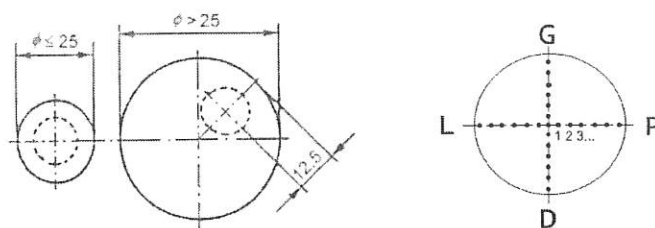
Materiał do badań stanowiły cztery pręty w gatunku 42CrMo4 gorącowalcowane o średnicy 135 i 180 mm, o długości 6000 mm ulepszone cieplnie. Pręty poddane zostały zabiegom hartowania z chłodzeniem w wodnym roztworze polimerowym Aqua Quench MK, a następnie poddane odpuszczaniu. Skład chemiczny prętów poddanych badaniom przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Skład chemiczny								
Skład chemiczny w %:								
C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo
0,45	0,67	0,25	0,022	0,010	0,04	1,07	0,02	0,169
V	Sn	As	Ti	Al	N	Fe		
0,005	0,001	0,004	0,003	0,035	0,006	97,245		

Zakres badań

Zakres badań obejmował analizę struktury, własności mechanicznych oraz rozkład twardości na przekroju prętów. Próbkę do badań wytrzymałościowych wykonano zgodnie z normą PN-EN 10083 [3] (rys. 2). Próbkę statycznego rozciągania wykonano wg PN-EN 10002-1/2002 [4] na maszynie wytrzymałościowej AMSLER 60ZD 1368 ze zmodernizowanym układem sterowania i pomiaru w systemie DUPS I firmy Zwick. Obserwację mikroskopową prowadzono na mikroskopie Axiovet 200MAT z oprogramowaniem „Image Express”, przy powiększeniu 500x, na zglądach trawionych odczynnikiem „Nital”. Strukturę obserwowano w strefie przypowierzchniowej w $\frac{1}{2}$ promienia oraz w rdzeniu pręta.



Rys. 2. Miejsce pobierania próbek do badań oraz schemat wykonywania pomiarów twardości
Fig. 2. The point of samples drawing for researching and checking the hardness

Parametry obróbki cieplnej

W tablicy 2 zamieszczono parametry obróbki cieplnej prętów gorącowalcowanych o średnicy 135 i 180 mm o długości 6000 mm.

Tablica 2

Parametry obróbki cieplnej [5]			
		Pręt Ø 135 mm	Pręt Ø 180 mm
HARTOWANIE	Temperatura hartowania	860 °C	860 °C
	Czas nagrzewania	2,0 h	2,5 h
	Czas wygrzewania	0,5 h	0,6 h
	Ośrodek chłodzący	Aqua Quench MK	Aqua Quench MK
	Stężenie	7 %	7 %
	Czas studzenia	13 min.	22 min.
	Temperatura ośrodka	25 °C	25 °C
ODPUSZCZANIE	Intensywność mieszania	1,6 m/s	1,6 m/s
	Temp. odpuszczania	620 °C	630 °C
	Czas odpuszczania	4 h	4 h
	Studzenie	Powietrze	Powietrze

Wyniki badań

Wyniki badań własności mechanicznych zamieszczono w tablicy 3, udarność poprzeczną i wzdłużną w tablicy 4, natomiast wyniki pomiarów twardości na przekroju poprzecznym bada-

nych prętów przedstawiono w tablicy 5 i na rysunku 3. W tablicy 6 zaprezentowano porównawcze zestawienie zdjęć wybranych struktur badanych prętów.

Tablica 3

Wyniki badań własności mechanicznych prętów

Pręt Ø 135 mm							
Próba		d ₀ mm	S ₀ mm ²	R _e MPa	R _m MPa	A ₅ %	Z %
Pręt 1	Próba A	10,0	78,5	729	941	17,3	62,2
	Próba B			718	930	17,1	61,1
Pręt 2	Próba A			685	907	18,3	59,9
	Próba B			698	914	17,9	60,5
Wartość średnia				710	923	17,7	60,9

Pręt Ø 180 mm							
Próba		d ₀ mm	S ₀ mm ²	R _e MPa	R _m MPa	A ₅ %	Z %
Pręt 1	Próba A	10,0	78,5	691	867	21,3	58,6
	Próba B			684	851	20,0	61,8
Pręt 2	Próba A			682	850	21,0	61,5
	Próba B			675	842	20,3	60,0
Wartość średnia				683	853	20,7	60,5

Tablica 4

Wyniki badań udarności wzdłużnej i poprzecznej

Udarność dla pręta Ø 135 mm KV [J] , temp. +20 °C					
Próba		Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Wartość średnia
Pręt 1	W	97	97	92	95
	P	39	44	41	41
Pręt 2	W	94	96	97	96
	P	37	42	42	40

Udarność dla pręta Ø 180 mm KV [J] , temp. +20 °C					
Próba		Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Wartość średnia
Pręt 1	W	102	105	105	104
	P	42	42	46	43
Pręt 2	W	98	104	100	101
	P	44	46	46	45

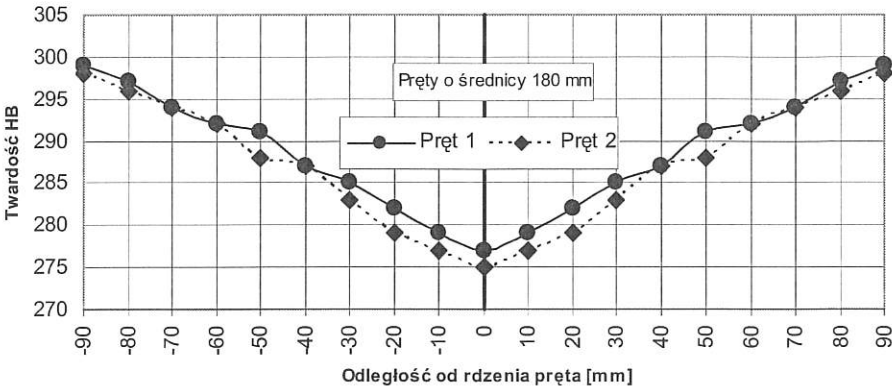
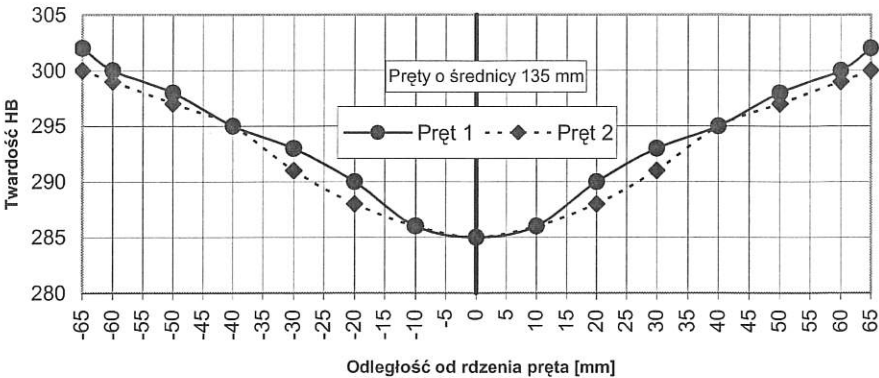
Tablica 5

Wyniki pomiarów twardości na przekrojach prętów

Pręt	Punkt pomiarowy	Odległość od rdzenia [mm]	Twardość HB – pręt Ø 135 mm				Wartość średnia
			w kierunku P	w kierunku L	w kierunku G	w kierunku D	
1	Rdzeń	0	285				285
	1	10	285	285	285	288	286
	2	20	290	290	285	293	290
	3	30	293	293	293	293	293
	4	40	295	293	293	300	295
	5	50	300	295	293	302	298
	6	60	302	300	297	302	300
2	Rdzeń	0	285				285
	1	10	285	290	285	285	286
	2	20	285	290	285	293	288
	3	30	285	293	293	293	291
	4	40	293	293	293	302	295
	5	50	293	302	293	302	297
	6	60	297	302	297	302	299

cd. tablicy 5

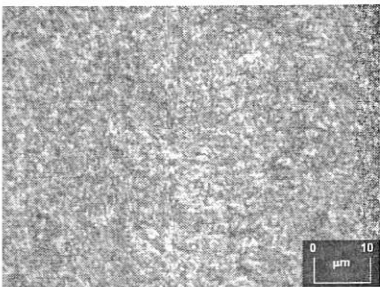
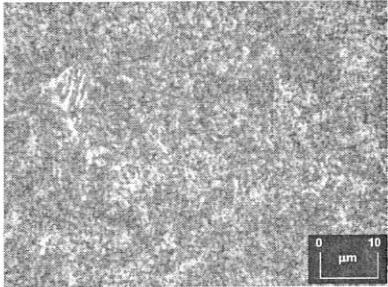
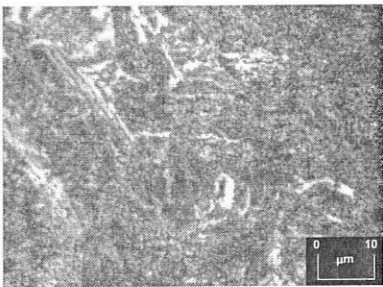
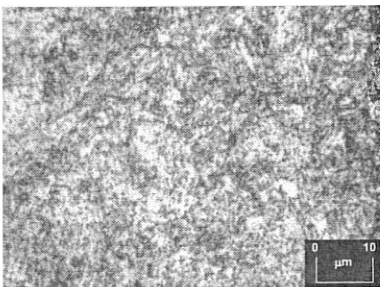
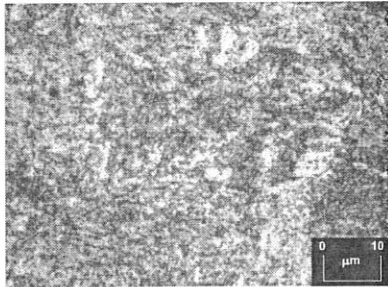
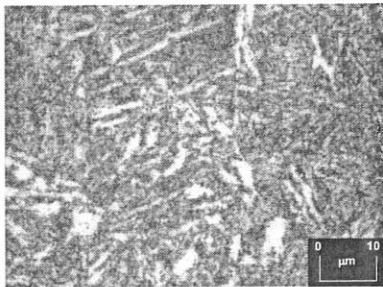
Pręt	Punkt pomiarowy	Odległość od rdzenia [mm]	Twardość HB – pręt Ø 180 mm				Wartość średnia
			w kierunku P	w kierunku L	w kierunku G	w kierunku D	
1	Rdzeń	0	277				277
	1	10	277	280	280	277	279
	2	20	280	285	285	280	282
	3	30	285	285	285	285	285
	4	40	285	288	285	288	287
	5	50	290	293	290	290	291
	6	60	293	293	293	290	292
	7	70	293	297	293	293	294
	8	80	297	297	297	297	297
	9	90	300	300	297	297	299
2	Rdzeń	0	275				275
	1	10	275	277	277	277	277
	2	20	277	280	277	280	279
	3	30	280	285	285	280	283
	4	40	285	290	288	285	287
	5	50	285	290	290	285	288
	6	60	290	293	293	290	292
	7	70	293	295	295	293	294
	8	80	295	295	297	295	296
	9	90	297	297	300	297	298



Rys. 3. Rozkład twardości na przekroju badanych prętów
Fig. 3. The hardness penetration pattern on the bars cross-section

Tablica 6

Fotografie porównawcze struktur badanych prętów (powiększenie 500x)

Pręt Ø135		
		
	Struktura w rdzeniu pręta	
Pręt Ø180		
		
	Struktura w rdzeniu pręta	

Analiza wyników badań

Na podstawie przeprowadzonych badań własności prętów gorącowałcowanych ulepszanych cieplnie z zastosowaniem chłodziwa polimerowego Aqua Quench MK można sformułować następujące wnioski.

Pręty Ø135 mm

Dla wszystkich badanych własności mechanicznych nie stwierdzono większych różnic pomiędzy kolejnymi próbami. Dla granicy plastyczności R_e różnica wynosi 4,3%, dla R_m wynosi 2,3%, natomiast dla przewężenia i wydłużenia nie przekracza 3%. Podobnie kształtują się różnice udarności. Dla udarności wzdłużnej i poprzecznej różnice wynoszą odpowiednio 1% i 2,5%.

Analizując rozkład twardości na przekroju badanych prętów nie stwierdzono znaczących rozbieżności pomiędzy kolejnymi pomiarami. Twardość maksymalna 300-302 HB odnotowana w okolicach powierzchni prętów w równomiernym stopniu maleje do twardości 285 HB w rdzeniu pręta. Charakterystyka taka jest przewidywalna i uzależniona od mechanizmu chłodzenia prętów.

Struktura prętów jest poprawna. W warstwach przypowierzchniowych oraz w głębszych partiach materiału stwierdzono struktury odpuszczonego drobnogłastego martenzytu. W okolicach rdzenia prętów odnotowano dodatkowo drobne wydzielenia ferrytu.

Pręty Ø180 mm

Różnice odnośnie wyników badań własności mechanicznych dla prętów o średnicy 180 mm kształtują się w podobny sposób jak dla prętów o średnicy 135 mm. Różnice dla granicy plastyczności, wytrzymałości materiału na rozciąganie, wydłużenia oraz przewężenia mieszczą się w 3%. Różnica dla udarności wzdłużnej wynosi 2,9% natomiast dla udarności poprzecznej około 4,5 %.

Rozkład twardości na przekroju prętów Ø 180 mm kształtuje się w podobny sposób, co dla prętów o mniejszej średnicy. Porównywalna twardość warstwy przypowierzchniowej (298-299 HB) maleje w równomiernym stopniu do twardości 275-277 HB w rdzeniu pręta.

Analiza mikrostruktury wykazała obecność struktur odpuszczonego martenzytu z drobnymi wydzieleniami ferrytu w głębszych partiach materiału pręta.

3. PODSUMOWANIE

Uwzględniając coraz szersze oferty przemysłu hutniczego w odniesieniu do wyrobów ulepszanych cieplnie należy stwierdzić, że stanowią one doskonałą bazę materiałową dla konstruktorów i technologów. Dobre własności prętów ulepszanych cieplnie, jak również równomierny rozkład tychże własności w całej objętości wyrobu, wpływa znacząco na możliwość ich wykorzystania w budowie części maszyn. Szeroki asortyment wymiarowy sprawia, iż produkcja podzespołów z materiału wstępnie ulepszanego cieplnie, przy niewielkich naddatkach obróbkowych i eliminacji dodatkowych zabiegów i operacji technologicznych, jest opłacalna. Stosowanie tego typu wyrobów hutniczych znacząco wpływa na skrócenie czasu produkcji, rozbudowę niezbędnego zaplecza technicznego, innymi słowy, wpływa na obniżenie kosztów produkcji i wzrost konkurencyjności przedsiębiorstwa na rynku.

Literatura

1. ISO-8402 – Norma terminologiczna. Zarządzanie jakością i zapewnienie jakości.
2. Sprawozdanie z projektu celowego nr 6 T08 2003 C/06163 - Opracowanie założeń techniczno-ekonomicznych produkcji prętów ulepszanych cieplnie.
3. PN-EN 10083 - Stale do ulepszania cieplnego
4. PN-EN 10002-1/2002 - Metale. Próba rozciągania. Metoda badań w temperaturze otoczenia.
5. Sprawozdanie z projektu celowego nr 6 T08 2003 C/06163 - Opracowanie przemysłowej technologii obróbki cieplnej prętów i kęsów walcowanych ze stali węglowych i stopowych.

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