

Tadeusz WIECZOREK, Romuald KADZIMIERZ, Czesław SAJDAK

Katedra Podstaw Procesów Metalurgicznych

Wydział Metalurgii i Inżynierii Materiałowej

Politechnika Śląska

Kazimierz KUCIA, Wacław MEIXNER

Huta Batory

## OPRACOWANIE NOWEJ TECHNOLOGII WYTWARZANIA TRZIPIENI PIELGRZYMOWYCH STOSOWANYCH W PROCESIE WYTWARZANIA RUR METODĄ MANNESMANN

### Część II

#### WYNIKI BADAŃ I PRÓB EKSPLOATACYJNYCH

*Streszczenie.* W artykule przedstawiono wyniki badań mających na celu poprawę własności trzpieni stosowanych w procesie walcowania rur. Rozpatrzono różne warianty ich wytwarzania. Dobrano optymalne parametry hartowania indukcyjnego oraz obróbki cieplnej przed i po hartowaniu. Eksploatacja trzpieni pielgrzymowych wykonanych według opracowanej technologii wykazała 2,5 - 3,5-krotne zmniejszenie ich zużycia.

*Summary.* The paper presents the investigations results which are to improve the mandrel properties applied in the pipes rolling process. Different alternatives of their production have been analysed. The optimum parameters of induction hardening and heat treatment before and after hardening have been selected. The operating of mandrels made according to elaborated technology showed 2,5 - 3,5 times smaller wear.

*Резюме.* В статье представлены итоги исследований, целью которых являются улучшение свойств стрежней применяемых в процессе пилигримовой прокатки труб. Рассмотрены различные варианты их производства. Подобраны оптимальные параметры индукционной закалки и термообработки до и после закалки. Эксплуатация стрежней выпущенных по разработанной технологии показала уменьшение износа в 2,5 - 3,5 раза.

## 1. PRÓBY HARTOWANIA INDUKCYJNEGO TRZPIENI

Na przedstawionym w pracy [1] stanowisku doświadczalnym przeprowadzono próby indukcyjnego hartowania trzpieni pielgrzymowych o różnych średnicach. W trakcie prób mierzono parametry elektryczne oraz temperaturę powierzchni trzpienia przed wejściem pod natryskiwacz (za pomocą pirometru optycznego). Po zakończeniu hartowania ponownie mierzono temperaturę powierzchni trzpienia (termometrem dotykowym) w celu oceny warunków samoodpuszczania oraz twardość powierzchniową w różnych punktach trzpienia [2,3].

Trzpienie  $\Phi 102$  mm i  $\Phi 104$  mm nagrzewano za pomocą wzbudnika cylindrycznego o średnicy wewnętrznej  $\Phi 113$  mm. Część z nich, ze względu na znaczne odkształcenia od prostoliniowości, nagrzewano we wzbudniku  $\Phi 121$  mm. Wybrane wyniki pomiarów parametrów hartowania trzpieni  $\Phi 102$  mm podano w tab.1,

Tabela 1

Parametry hartowania trzpieni  $\Phi 102$  mm

$U_g$	$I_g$	$P_g$	$I_1$	$U_2$	$v$	$T$	Chłodzenie
V	A	kW	A	V	mm/s	$^{\circ}\text{C}$	-
360	262	83	615	83	2,5	1010	spręż. pow., $p=0,5$ MPa
361	279	90	680	80	2,5	960	wodn. -pow. +dod. woda
350	270	85	625	80	2,5	950	wodn. -pow., $p=0,25$ MPa
321	244	69	550	75	2,5	945	swobodne na powietrzu
340	230	68	600	84	1,6	960	swobodne na powietrzu

$U_g$  - napięcie generatora,  $I_g$  - prąd generatora (skompensowany),  $P_g$  - moc czynna wydawana przez generator,  $I_1$  - prąd pierwotny transformatora dopasowującego,  $U_2$  - napięcie na zaciskach wzbudnika,  $v$  - prędkość ruchu trzpienia,  $T$  - temperatura powierzchni trzpienia.

natomiast dla trzpieni  $\Phi 104$  mm w tab.2. Zmiany napięcia wzbudnika ( $U_2$ ) i mocy czynnej ( $P$ ) wynikały ze stosowanych różnych przekładni transformatora dopasowującego, różnych szybkości przesuwu oraz temperatur nagrzewa-

nia. Trzpienie  $\Phi 125$  mm nagrzewano we wzbudniku cylindrycznym o średnicy wewnętrznej 140 mm. Wybrane wyniki uzyskanych dla nich parametrów hartowania przedstawiono w tab.3.

Część z zahartowanych trzpieni o różnych średnicach pocięto, przeznaczając je do badań metalograficznych, wytrzymałościowych i pomiarów rozkładów twardości. Pozostałe przekazano do eksploatacji, przy czym te, które hartowane były na dużą twardość, poddano wcześniej odpuszczaniu w piecu gazowym.

## 2. BADANIA LABORATORYJNE ZAHARTOWANYCH TRZPIENI

Opracowując nową technologię wytwarzania trzpieni pielgrzymowych kierowano się założeniem, że stosowany będzie jeden gatunek stali dla wszystkich średnic. Wybrano stal 50NHMF ze względu na jej korzystne własności w podwyższonych temperaturach.

Rezultaty wstępnych badań i obliczeń wskazują, że gatunek 50NHMF spełnia założone wymagania, tzn. dobrze nadaje się do hartowania indukcyjnego oraz może zastąpić wszystkie dotychczas używane gatunki dla całego zakresu średnic trzpieni pielgrzymowych.

### 2.1. Badania metalograficzne oraz pomiary twardości w przekroju poprzecznym wybranych trzpieni

Ze względu na złożony charakter zjawisk występujących w czasie nagrzewania indukcyjnego obliczenia teoretyczne oraz wyniki pomiarów dylatometrycznych stanowić mogą jedynie dane orientacyjne dla doboru podstawowych warunków technologicznych. Ostateczne parametry procesu można ustalić tylko doświadczalnie drogą prób przeprowadzonych w różnych warunkach na rzeczywistych trzpieniach.

Z tych powodów zahartowano indukcyjnie szereg trzpieni przy różnych temperaturach i szybkościach przesuwu materiału oraz różnych warunkach chłodzenia. Wybrane, najbardziej reprezentatywne, parametry zebrano w tab.4. Z zahartowanych trzpieni wycięto poprzecznie tarcze, na których po wytrawieniu warstwy zahartowanej wykonano wzdłuż promienia pomiary twardości HRc. Z tarcz wycięto próbki do badań mikroskopowych i po wytrawieniu nitalem wykonano na nich obserwacje struktury w płaszczyznach prostopadłej i równoległej do osi trzpienia.

Tabela 2

Parametry hartowania trzpieni  $\Phi$  104 mm

$U_g$	$I_g$	$P_g$	$I_1$	$U_2$	$v$	T	Chłodzenie
V	A	kW	A	V	mm/s	$^{\circ}\text{C}$	-
360	248	75	580	87	2,5	950	swobodne na powietrzu
362	230	75	585	83	2,5	950	swobodne na powietrzu
366	242	74	580	85	2,5	943	swobodne na powietrzu
390	260	86	650	89	2,5	970	wodn.-pow., p=0,34 MPa
380	260	85	625	88	2,5	960	wodn.-pow., p=0,30 MPa
382	258	85	640	88	2,5	950	wodn.-pow., p=0,31 MPa

(oznaczenia jak pod tab.1)

Tabela 3

Parametry hartowania trzpieni  $\Phi$  125 mm

$U_g$	$I_g$	$P_g$	$I_1$	$U_2$	$v$	T	Chłodzenie
V	A	kW	A	V	mm/s	$^{\circ}\text{C}$	-
520	220	100	630	104	2,5	1000	wodn.-pow., p=0,40MPa
480	240	88	550	111	2,5	850	wodn.-pow., p=0,40MPa
490	224	90	570	112	2,5	870	wodn.-pow., p=0,40MPa
518	225	97	590	107	2,5	900	wodn.-pow., p=0,40MPa
480	225	95	650	104	2,5	960	wodn.-pow., p=0,40MPa
470	240	94	680	104	2,5	950	wodn.-pow., p=0,40MPa

(oznaczenia jak pod tab.1)

Tabela 4

Parametry hartowania indukcyjnego trzpieni pielgrzymowych  
wybranych do badań

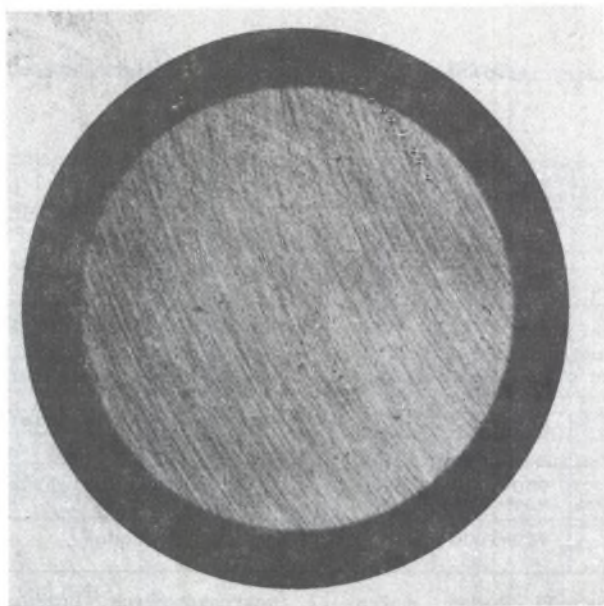
Nr trzpienia	Temp. hartowania °C	Szybkość przesuwu mm/min.	Chłodzenie
1	850-900	120	mieszanka wodno-powietrzna
2	1000-1050	80	mieszanka wodno-powietrzna
3	950-1000	100-120	mieszanka wodno-powietrzna
4	950-1000	100-120	mieszanka wodno-powietrzna + woda
5	950-1000	100-120	sprężone powietrze
160	950-1000	100-120	swobodne

Przykładowe wyniki badań makro- i mikroskopowych przedstawiono na rys.1. Jak widać na zamieszczonych zdjęciach, trzpienie posiadały warstwę zahartowaną o grubości ok. 12-15 mm i stosunkowo drobną strukturę martenzytyczną w warstwie zahartowanej.

W celu przebadania wpływu odpuszczania na własności warstwy zahartowanej trzpien nr 4 (tab.4) zahartowano indukcyjnie przy maksymalnej intensywności chłodzenia. Wycięto z niego tarczę do badań makro- i mikroskopowych oraz dwa fragmenty, które poddano odpuszczaniu w temperaturze 600°C przez 4h i 8h. Po odpuszczeniu z fragmentów trzpienia nr 4 wycięto tarcze do dalszych badań. Wyniki pomiarów twardości warstwy hartowanej po 4h i 8h odpuszczania są praktycznie identyczne (rys.2).

## 2.2. Badania własności mechanicznych zahartowanych trzpieni

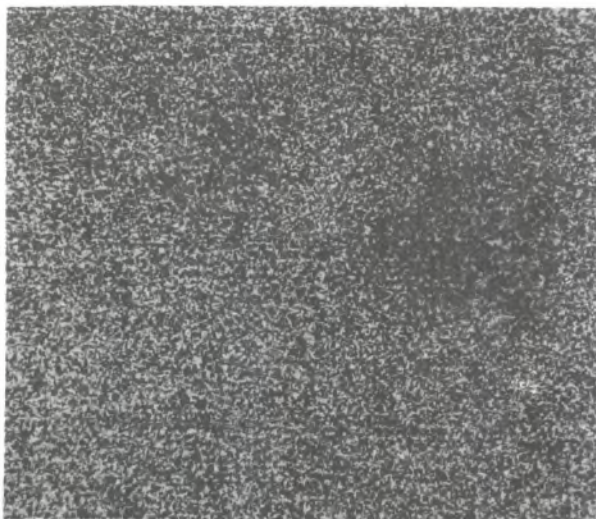
Uzyskiwana grubość zahartowanej indukcyjnie warstwy nie pozwalała na określenie wszystkich jej własności mechanicznych. Z tych względów przeprowadzono badania modelowe, nagrzewając próbki materiału w laboratoryjnym piecu rezystancyjnym, przy czym niemożliwe okazało się dokładne odtworzenie warunków, które panują w czasie nagrzewania indukcyjnego trzpienia. Znaczna szybkość nagrzewania materiału powoduje, że przemiana  $\alpha \rightarrow \gamma$  zachodzi w znacznie wyższej temperaturze niż w warunkach równowagowych. Ze względu na bardzo krótki czas wygrzewania nie powoduje to jednak niekorzystnych zmian struktury i własności materiału. Hartowanie próbek modelowych, nag-



Rys.1a. Przykładowa makrostruktura trzpienia pielgrzymowego zahartowanego indukcyjnie

Fig.1a. Exemplary macrostructure of mandrel inductively hardened

rzewanych w piecu laboratoryjnym w temperaturze równej temperaturze uzyskiwanej przy nagrzewaniu indukcyjnym, doprowadzić musiałoby do znacznego rozrostu ziarna austenitu, a co za tym idzie, do nieporównywalnych własności mechanicznych. W celu zamodelowania własności, jakie materiał powinien posiadać w warstwie zahartowanej indukcyjnie, zastosowano metodę pośrednią. Wstępnie obrobione mechanicznie próbki przeznaczone do badań wytrzymałościowych poddano różnym wariantom obróbki cieplnej w piecu laboratoryjnym. Hartowanie odbywało się w temperaturze  $850^{\circ}\text{C}$ , co zapewniało uzyskanie struktury zbliżonej do struktury warstwy zahartowanej indukcyjnie. Pozwala to założyć, że własności próbek modelowych odpowiadają własnościom warstwy hartowanej indukcyjnie. Na próbkach tych wykonano badania mechaniczne i metalograficzne (tab.5) [4]. Dla celów porównawczych wybrano losowo dwa trzpienie pielgrzymowe wykonane wg dotychczasowej technologii i wycięto z nich próbki do badań własności mechanicznych (tab.5, poz.1-6). Porównanie wyników prób wytrzymałościowych materiału ulepszanego



Rys.1b. Przykładowa mikrostruktura trzpienia pielgrzymowego zahartowanego indukcyjnie

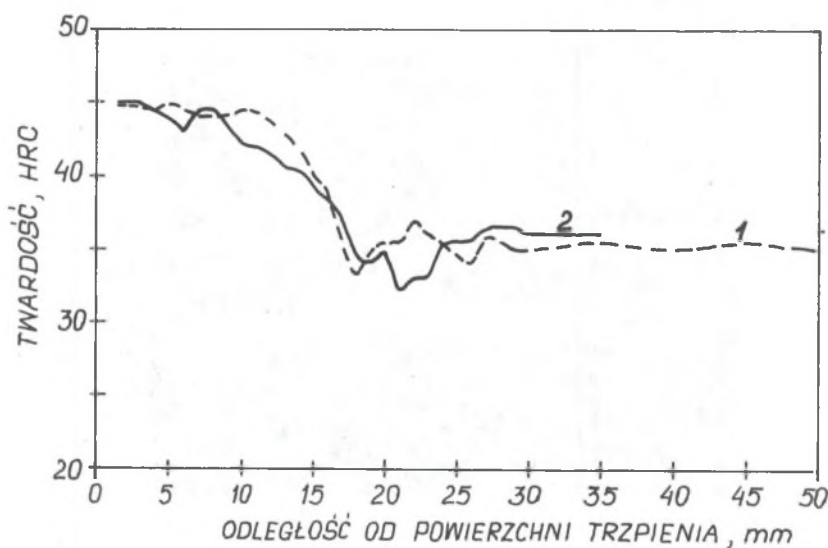
Fig.1b. Exemplary microstructure of mandrel inductively hardened

cieplnie oraz próbek trzpieni (tab.5, poz.11) wskazuje na możliwość znacznego zwiększenia trwałości trzpieni hartowanych indukcyjnie, przy czym należy zaznaczyć, że uwaga ta dotyczy jedynie warstwy hartowanej.

W celu zbadania możliwości poprawy własności mechanicznych rdzenia, trzy fragmenty trzpienia nr 160 o wymiarach  $\Phi$  102 mm i długości ok. 450 mm poddano obróbce cieplnej w różnych warunkach. Z fragmentów tych wycięto próbki do badań mechanicznych. Z czwartego fragmentu trzpienia, po stoczeniu warstwy zahartowanej, wycięto próbki do badań mechanicznych w celu określenia własności materiału, w stanie wyżarzonym. Wyniki prób zebrano w tab.5, poz.7-10.

### 3. PRÓBY EKSPLOATACYJNE ZAHARTOWANYCH TRZPIENI

Próby te prowadzono na trzpieniach o różnych średnicach w trakcie walcowania rur o różnych grubościach ścianek. Trzpienie hartowane były różnymi metodami: część z nich hartowana była na wysoką twardość i następnie po hartowaniu dodatkowo odpuszczana w piecu, a część hartowana tylko powietrzem przekazano do eksploatacji bez odpuszczania. Pierwsze



Rys.2. Rozkład twardości w przekroju poprzecznym trzpienia hartowanego indukcyjnie po odpuszczeniu przez 4 h (1) i 8 h (2)

Fig.2. The distribution of the hardness in the cross-section of the mandrel hardened inductively after tempering for 4 hours (1) and 8 hours (2)

partie trzpieni hartowanych ulegały deformacjom i przewężeniom już po pierwszych cyklach walcowania. Związane to było z niewłaściwie dobranymi parametrami obróbki cieplnej i znacznymi naprężeniami hartowniczymi. Wyników eksploatacyjnych dla tych trzpieni nie podaje się w opracowaniu. Eksploatację następnych partii trzpieni prowadzono aż do ich całkowitego zużycia się albo do zakończenia programu walcowania rur o danej średnicy. Uzyskane wyniki zebrano w tab.6.

#### 4. ANALIZA WYNIKÓW PRÓB I BADAŃ

Jak wykazały przeprowadzone badania, stal w gat. 50NHMF cechuje bardzo duża hartowność i stabilna twardość w warunkach odpuszczania, co powoduje, że może być stosowana jako materiał na trzpienie pielgrzymowe dla wszystkich średnic. Ponieważ na strukturę materiału po hartowaniu zasadniczy wpływ wywiera wielkość ziarna austenitu, istotny jest taki dobór temperatury i czasu wygrzewania, by uzyskać całkowitą austenityzację, nie dopusz-



Tabela 5

## Własności mechaniczne trzpieni pielgrzymowych

Lp	Obróbka cieplna	Re	Rm	A <sub>s</sub>	Z	U	Twardość		Uwagi
		MPa	MPa	%	%	J/cm <sup>2</sup>	HRC	HB	
1.	hartowanie: 850°C - olej odpuszczanie: 575°C/4h-pow.	1320	1390	11	34	52	43,7	364	próbki wstępnie obrabione cieplnie
		1370	1410	13	45	52			
		1330	1410	12	42	52			
2.	hartowanie: 850°C - olej odpuszczanie: 600°C/4h-pow.	1300	1370	10	45	68	43,5	360	
		1320	1370	12	44	65			
		1320	1380	13	47	57			
3.	hartowanie: 850°C - olej odpuszczanie: 625°C/4h-pow.	1150	1240	12	51	92	39,5	334	
		1150	1280	13	51	87			
		1130	1220	14	52	92			
4.	hartowanie: 850°C - olej odpuszczanie: 650°C/4h-pow.	926	978	17	55	108	32,3	259	
		925	988	16	55	108			
		916	980	17	56	113			
5.	normalizacja: 850°C - pow.	-	-	-	-	-	46,4	451	
6.	normalizacja: 850°C - pow. odpuszczanie: 625°C/4h-pow.	1150	1290	12	50	87	37,7	321	
		1130	1270	12	50	80			
		1150	1290	12	51	80			
7.	materiał w stanie wyżarzonym	640	795	21	52	50	17,6	202	
		636	790	20	52	57			
		614	819	22	54	52			
8.	normalizacja: 850°C/2h-pow.	1330	1540	10	30	32	41,6	372	
		1270	1500	12	34	35			
		1300	1520	11	37	34			
9.	normalizacja: 850°C/2h-pow. odpuszczanie: 600°C/4h-pow.	1110	1250	15	48	50	36,2	316	
		1120	1260	14	52	50			
		1080	1230	13	52	52			
10	hartowanie: 850°C/2h - spręż. pow. odpuszczanie: 625°C/4h-pow.	1275	1390	12	51	76	38,6	339	
		1250	1350	12	49	81			
		1255	1325	13	48	86			
11	trzpienie wykonane wg dotychczas. technologii	916	1090	12	47	33	28,8	283	
		968	1090	10	44	40			
		968	1070	12	44	20			
OZNACZENIA									
Re, Rm - granica wytrzymałości i plastyczności, A <sub>s</sub> , Z - wydłużenie i przewężenie względne, U - udarność									
wyniki uzyskano na próbkach pochodzących z 2 losowo wybranych trzpieni wyk. wg dot.tech.									

Tabela 6

Wyniki eksploatacyjne trzpieni wykonanych wg nowej technologii

Nr	Trzpień		Walcowa- ne rury	Liczba i masa rur		Walcowa- ne rury	Liczba i masa rur		Łącznie liczba i masa szt/t			
	Φ mm	m kg		szt	t		szt	t				
512	92	154	Φ121/16 mm	91	28.21	Φ101/ 6.3 mm	25	6.0	116/34			
513				92	28.52		"	"	"			
517				91	28.21		"	"	"			
518				92	28.52		"	"	"			
378	94	163	Φ108/8mm	114	29.65	Φ127/ 17.5 mm	6	1.92	120/36			
408	98	176	Φ108/6.3 mm	82	18.00	Φ127/16 mm	61	13.7	143/32			
409				181	48.69		"	"	242/63			
410				119	35.69		"	"	180/50			
411*				181	48.69		"	"	242/63			
412				"	"		"	"	"			
413				"	"		"	"	"			
415				"	"		"	"	"			
416				"	"		"	"	"			
417	"	"	"	"	"							
339	104	198	Φ133 16 mm	103	24.8	-	-	34	12.1	137/38		
341				79	28.1	58	9.84	8	3.28	145/41		
345				142	51.1	58	9.84	8	3.28	208/64		
346				79	28.1	Φ114	-	Φ146	8	3.28	87/31,3	
347*				142	51.1	6.3	58	9.84	22.2	34	12.1	234/73
350*				142	51.1	mm	58	9.84	mm	34	12.1	234/73
352*				142	51.1	mm	58	9.84	mm	34	12.1	234/73
442	96	170	Φ121/ 14.8 mm	155	49.54							
443				174	49.54							
445				155	44.64							
446				174	49.54							
447				155	44.64							
448				155	44.64							
449				174	49.54							
450				155	44.54							
412				155	44.54							
516				155	44.54							

m - masa trzpienia

\* - trzpień, które uległy zużyciu

czając jednak do rozrostu ziarna. Jak wykazują wyniki badań metalograficznych, dobierając odpowiednio temperaturę i czas przetrzymywania materiału we wzbudniku (szybkość przesuwu) można uzyskać w warstwie zahartowanej strukturę porównywalną, a nawet lepszą od otrzymywanej przy nagrzewaniu w piecu. Złożony charakter zmian temperatury w przekroju trzpienia zarówno podczas nagrzewania, jak i chłodzenia powoduje konieczność eksperymentalnego doboru parametrów hartowania. Szczególnie ważny jest dobór odpowiedniej intensywności chłodzenia. Badania wykazały, że przy intensywnym chłodzeniu wodno-powietrznym uzyskuje się w warstwie zahartowanej strukturę martenzytyczną, która stopniowo przechodzi w bainit dolny. W strefie przejściowej występuje struktura mieszana, będąca wynikiem niepełnej austenitizacji, złożona z bainitu oraz pozostałości struktury wyjściowej. Stosując mniejszą intensywność chłodzenia w warstwie zahartowanej uzyskuje się strukturę bainityczną lub (przy chłodzeniu swobodnym) strukturę mieszaną złożoną z bainitu i perlitu.

Wstępne próby walcowania rur na trzpieniach zahartowanych indukcyjnie przy dużej intensywności chłodzenia wykazały, że trzpienie, których nie poddano odpuszczaniu, ulegały wyginaniu, prawdopodobnie na skutek wyzwolania się znacznych naprężeń hartowniczych. Poza tym w warstwie zahartowanej występowały liczne pęknięcia. Niemożliwe więc okazało się stosowanie trzpieni, których warstwa zewnętrzna posiada strukturę martenzytyczną bez odpuszczania.

W celu doświadczalnego określenia temperatury odpuszczania, fragmenty trzpienia nr 4 po zahartowaniu indukcyjnym poddano odpuszczaniu w temperaturze 600°C w czasie 4 h i 8 h. Uzyskano praktycznie takie same twardości dla materiału odpuszczanego w tych samych czasach (rys.2), co wskazuje na stabilność jego własności. Wyniki te potwierdzają, że stal 50NMF ulepszoną cieplnie cechuje duża odporność na trudne warunki termiczne występujące w trakcie eksploatacji trzpienia pielgrzymowego.

Na podstawie wyników badań wytrzymałościowych oraz prób eksploatacyjnych można stwierdzić, że przy warstwie zahartowanej o grubości 12-15 mm wytrzymałość statyczna rdzenia powinna wynosić  $R_{e_{min}} = 900 \text{ MPa}$  i  $R_{m_{min}} = 1000 \text{ MPa}$ . W przeciwnym wypadku trzpień będzie ulegał szybkiemu zużyciu w części roboczej.

Spśród trzpieni, które uległy zniszczeniu w eksploatacji, wybrano dwa do badań laboratoryjnych. Warstwa zahartowana miała równą grubość, co świadczy o stabilności parametrów hartowania. Pomiar twardości wykazał jej spadek w odległości ok. 1 m od uchwytu, co jest niewątpliwie wynikiem

warunków eksploatacji związanych z kontaktem tej części trzpienia z gorącym wsadem. Zjawisko to jednak nie wpływa w istotny sposób na żywotność trzpienia. Na obu badanych trzpieniach wystąpiły pęknięcia zmęczeniowe ułożone podłużnie. Badania metalograficzne wykazały, że pęknięcia te powstają w warstwie zewnętrznej. Ze względu na dużą ciągliwość materiału hartowanego rozwój pęknięcia w warstwie zahartowanej zachodzi kosztem zużycia znacznej energii oraz towarzyszą mu duże odkształcenia plastyczne. Natomiast po przekroczeniu warstwy zahartowanej pęknięcie rozwija się łatwo i ma cechy pęknięcia kruchej.

Z badań wynika, że najkorzystniejsze rezultaty (wytrzymałość statyczna, własności plastyczne, udarność i twardość) uzyskuje się stosując po hartowaniu odpuszczanie w temperaturze 625-630<sup>0</sup>C przez 4 h. Odpuszczanie w temperaturze 650<sup>0</sup>C przez 4 h zwiększyłoby wprawdzie żywotność części roboczej trzpienia, lecz nastąpiłaby utrata twardości w części uchwytovej i z tego względu szybkie wycofanie z eksploatacji.

W celu oceny poprawy własności trzpieni po hartowaniu indukcyjnym wybrano losowo dwa trzpienie wykonane według dotychczasowej technologii i pobrano z nich materiał do badań. Uzyskane wyniki zamieszczono w tab.5. poz.11. Porównanie własności potwierdza możliwości znacznego zwiększenia żywotności trzpieni hartowanych. Zwrócić należy przy tym uwagę na fakt, że metodą hartowania indukcyjnego uzyskuje się poprawę własności jedynie w stosunkowo cenniejszej warstwie zewnętrznej, podczas gdy rdzeń trzpienia pozostaje nadal kruchy i ma nadal nieodpowiednie własności.

W celu zbadania możliwości poprawy własności rdzenia trzpienia pielnym, fragmenty trzpienia nr 160 obrobiono cieplnie stosując normalizowanie, normalizowanie i odpuszczanie oraz hartowanie sprężonym powietrzem i odpuszczanie. Uzyskane wyniki zamieszczono w tab.5, poz.8-10. Dla porównania podano własności i strukturę materiału w stanie wyżarzonym (tab.5, poz.7). Z uwagi na to, że badania zostały przeprowadzone na stosunkowo dużych fragmentach trzpienia, wyniki mogą być uznane za reprezentatywne dla całego trzpienia poddanego analogicznym obróbkom cieplnym. Porównując wyniki badań trzpieni normalizowanych lub hartowanych sprężonym powietrzem (tab.5, poz.9 i 10) z własnościami trzpieni dotychczas stosowanych (tab.5, poz.11) stwierdza się znaczne możliwości zwiększenia trwałości trzpieni poprzez poprawę własności mechanicznych rdzenia. Wynika stąd, że trzpienie przed hartowaniem indukcyjnym powinny zostać wstępnie znormalizowane.

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone badania procesu indukcyjnego hartowania powierzchniowego znacznej ilości różnorodnych trzpieni pielgrzymowych umożliwiły kompleksową ocenę przydatności technicznej stanowiska doświadczalnego [1] oraz własności eksploatacyjnych zahartowanych trzpieni. Zaprojektowany i wykonany układ zezwala na osiągnięcie żądanych parametrów hartowania, a zbudowane wzbudniki, natryskiwacz wodno-powietrzny oraz zmodyfikowany samotok mogą zostać, bez większych zmian konstrukcyjnych, zastosowane w urządzeniu przemysłowym. Konieczne jednak jest w rozwiązaniu docelowym, z uwagi na znaczne zużycie wody chłodzącej, wykonanie zamkniętego obiegu chłodzenia. Pomiar temperatury, dokonywany w czasie prób jedynie dorywczo, w stanowisku przemysłowym powinien zostać zautomatyzowany. Zmiany wymaga również sposób regulacji prędkości samotoku (w trakcie prób odbywał się ręcznie, poprzez zmianę kąta pochylenia rolek samotoku).

Wyniki badań metalograficznych, wytrzymałościowych i eksploatacyjnych zahartowanych trzpieni potwierdziły słuszność przyjętej koncepcji. Uzyskane w trakcie eksploatacji partii próbnych trzpieni hartowanych wskaźniki zużycia są od 2,5- do 3,5-krotnie niższe w porównaniu ze wskaźnikami zużycia trzpieni wykonywanych wg dotychczasowej technologii. Badania laboratoryjne wykazują, że poprawa tych wskaźników może być jeszcze większa, jeśli tylko wyeliminowane zostaną błędy popełniane w fazie przygotowania trzpieni do hartowania. Zapewni to odpowiednią wytrzymałość i właściwą strukturę rdzenia trzpienia. Właściwie przygotowany trzpień poddany hartowaniu indukcyjnemu uzyska własności odpowiadające poz.3 (tab.5) w warstwie zahartowanej i poz.10 (tab.5) w rdzeniu, a więc znacznie wyższe od obecnie osiąganych (tab.5, poz.11). Poprawna obróbka cieplna trzpieni przed hartowaniem jest w warunkach każdej huty możliwa i nie wymaga żadnych nakładów inwestycyjnych, a jedynie przestrzegania zaproponowanej w tym opracowaniu technologii.

Przedstawione w [2] warianty zmiany dotychczasowej technologii wytwarzania trzpieni pielgrzymowych pokazują, jak znaczne i różnorodne są możliwości rozwiązania problemu. W celu wyboru optymalnej (w warunkach danej huty) koncepcji konieczne jest przeanalizowanie (oparte na przedstawionych opracowaniach) przez wyspecjalizowane służby technologiczne, energetyczne i ekonomiczne, strony technicznej, nakładów i spodziewanych efektów. Powinno to, zdaniem autorów, pozwolić na rozwiązanie, w krótkim cza-

się, problemu trzpieni pielgrzymowych, nie tylko w warunkach Huty Batory, lecz także innych stosujących sposób walcowania rur metodą Mannesmana lub zbliżony.

#### LITERATURA

- [1] Kazimierz R., Sajdak C., Wieczorek T., Kucia K., Meixner W.: Opracowanie nowej technologii wytwarzania trzpieni pielgrzymowych stosowanych w procesie walcowania rur metodą Mannesmana. Cz.I Stanowisko do indukcyjnego hartowania powierzchniowego trzpieni pielgrzymowych. ZN Pol.Śl., seria Hutnictwo nr 43, Gliwice 1992.
- [2] Kazimierz R., Sajdak C., Wieczorek T., Kucia K., Kazimierz T., Partyka S., Meixner W., Warwas L.: Opracowanie nowej technologii wytwarzania trzpieni pielgrzymowych dla zespołu MM II. Sprawozdanie z pracy n-b Katowice 1989 (materiały niepublikowane).
- [3] Kazimierz R., Sajdak C., Wieczorek T., Kucia K., Kazimierz T., Partyka S., Meixner W., Warwas L.: Wpływ indukcyjnego hartowania powierzchniowego trzpieni pielgrzymowych na poprawę ich własności mechanicznych i zwiększenie trwałości eksploatacyjnej. IV Konferencja "Badania naukowe w elektrotermii", Wisła 1989, ss.66-79.
- [4] Kazimierz R., Sajdak C., Wieczorek T., Kucia K., Kazimierz T., Partyka S., Meixner W.: Issledowanija nowego mietoda termiczeskoi obrabotki strieznej dla prokatki trub w prokatnom agregacie Mannesmana 34. Int.Wiss. Kolloquium, Ilmenau 1989.

#### DEVELOPING OF A NEW TECHNOLOGY IN PRODUCTION OF PILGER MANDRELS APPLIED FOR PIPES ROLLING IN THE MANNESMANN METHOD

##### PART II

#### THE RESULTS OF RESEARCHES AND EXPLOITATION TESTS

##### Abstract

In the experimental stand (described in [1]) researches of induction hardening of pilger mandrels with various diameters were led. During investigations some electrical parameters and the surface temperature of a

mandrel (before its cooling) were measured (by an optical pyrometer). To end with hardening, the surface temperature of the mandrel for estimation of self-tempering was measured once again (by a contact thermometer) as well as surface hardness on the whole mandrel's length was measured [2,3].

The mandrels  $\Phi$  102 mm and  $\Phi$  104 mm in diameter were heated by the cylindrical inductor  $\Phi$  113 mm in diameter. Chosen results of hardening parameters have been presented in Tables 1 and 2. The changes of the inductor voltage ( $U_2$ ) and active power ( $P_g$ ) were resulted by various transformation ratios, speeds of travel and end temperatures of mandrels. The mandrels  $\Phi$  125 mm in diameter were heated by the cylindrical inductor  $\Phi$  140 mm in diameter. Chosen results of hardening parameters have been shown in Table 3.

Due to complication of the induction hardening process, the final parameters were able to obtain only by an experimental way. Therefore, many mandrels were hardened either in various temperatures and speeds of travel or various cooling conditions. Chosen (most representative) results were collected in Table 4. Exemplary results of macro- and microscopic tests were shown in Fig. 1. The hardened zone of the mandrels was 12-15 mm in thickness and had the close-grained, martensitic structure.

The tempering process was tested on mandrel No 4 (Table 4). This mandrel was inductively hardened and tempered (in a gas furnace) in temperature of 600 °C for 4 and 8 hours. Hardness of the mandrel (after tempering) was measured and the obtained results have been shown in Fig. 2.

For estimation of mechanical properties of inductively hardened mandrels the simulation of the induction process was led in an electrical resistance furnace. Some test bars were cut out from a mandrel and then hardened in temperature of 850 °C, which conditions ensured the obtaining of the structure similar to the structure of inductively hardened mandrels. On these test bars, mechanical and metallographic researches were carried out (Table 5). For comparison of obtained results, two pilger mandrels made of the present technology (without hardening - see [1]) were tested additionally (Table 6, position 1 - 6).

Some exploitation investigations of hardened mandrels in various diameters were led during the tubes rolling process. The obtained results were collected in Table 6.

On the basis of obtained results there is able to ascertain, that steel in grade 50NHMF has got high hardenability and tempering resistance, therefore it might be use as a material for pilger mandrels. Because, the

properties of this material (after hardening) strongly depend how big the grains of austenit are, the choice of a temperature range and a heating time are very important. The complicated form of temperature changes in the mandreł's cross-section during induction heating, makes necessary to choose the main hardening parameters (like temperature, heating time, speed of travel, intensity of cooling) on the experimental way only. Especially important is the choice of cooling intensity. Investigations made clear, that by intensive water-air cooling has been able to obtain a martensitive structure (in hardened zone) and a bainitive structure (in transient zone).