ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1978

Seria: HUTNICTWO z. 15 Nr kol. 546

Kazimierz DUCKI, Eugeniusz KRZEMIEŃ,
Ryszard BARCIK, Grzegorz NIEWIELSKI

Instytut Inżynierii Materiałowej

PRÓBA OSZACOWANIA WPŁYWU ULEPSZANIA CIEPLNEGO NA STRUKTURĘ I WŁASNOŚCI WALCÓW ZE STALI 55H W STOSUNKU DO ZABIEGÓW NORMALIZOWANIA I ODPUSZCZANIA

Streszczenie. Podjęto próbę oszacowania wpływu ulepszania cieplnego na strukturę i własności walców ze stali 55H w stosunku do zabiegów normalizowania i odpuszczania. Stwierdzono znacznie wyższe własności wytrzymałościowe i plastyczne próbek po ulepszaniu cieplnym niż po normalizowaniu i odpuszczaniu. Wskazano na możliwość poprawy jakości walców w wyniku zastosowania zamiast tradycyjnej obróbki cieplnej - procesu ulepszania cieplnego.

1. Wstęp

Walce hutnicze są jednym z najważniejszych elementów walcowni do walcowania na gorąco. Zagadnieniem niezwykle ważnym dla wykonania zadań walcowni jest jakość walców, która wpływa w decydującym stopniu na ich trwałość eksploatacyjną. Czynnik ten zależy między innymi od jakości i własności fizykomechanicznych tworzywa walców, technologii wytapiania, warunków przeróbki plastycznej i technologii obróbki cieplnej [1, 2]. Stosowane w warunkach walcowania na gorąco walce hutnicze powinny posiadać następujące własności [3, 4, 5]:

- dobrą odporność na obciążenia dynamiczne i zmęczenie mechaniczne warstwy powierzchniowej;
- wysoką odporność na ścieranie;
- dobrą odporność na powierzchniowe pęknięcia zmęczenia cieplnego;
- zadowalającą odporność na korozję.

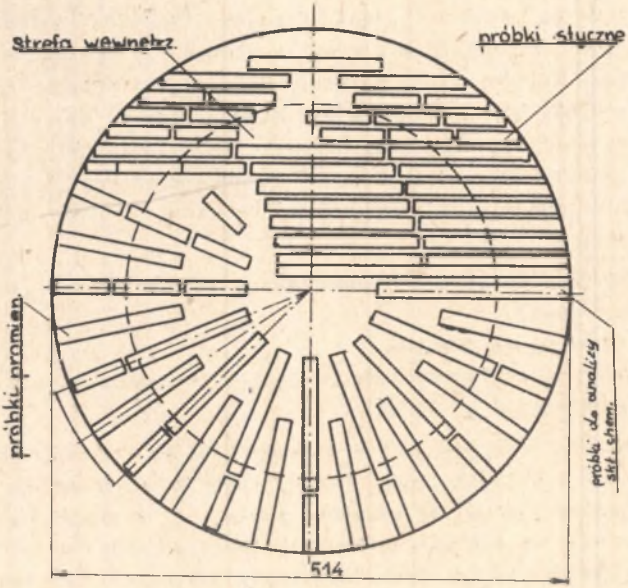
Do walcowania na gorąco mogą być stosowane walce stalowe kute, walce staliwne odlewane i walce żeliwne. Rodzaj zastosowanych walców w konkretnej walcowni zależy głównie od wymagań, jakie mają spełniać, a więc który czynnik - odporność na obciążenia dynamiczne, odporność na ścieranie, odporność na zmęczenie cieplne jest decydujący. Walce stalowe kute stosowane są w warunkach wymagających większej odporności na obciążenia dynamiczne i lepszej powierzchni końcowej wyrobów walcowanych [6, 7, 8].

Znaczny wpływ na własności wytrzymałościowe i plastyczne tworzywa walców, a tym samym na jakość walców, wywierają procesy obróbki cieplnej. Walce stalowe kute z niskostopowych stali poddaje się najczęściej zabiegom normalizowania i odpuszczania. Istnieją jednak nieliczne literaturowe przesłanki [6, 7] wskazujące na możliwość stosowania dla tego typu walców procesu ulepszania cieplnego.

W celu oszacowania wpływu ulepszania cieplnego na strukturę i własności walców ze stali 55H w stosunku do zabiegów normalizowania i odpuszczania podjęto niniejsze badania.

2. Przedmiot badań

Badania przeprowadzono na próbkach pobranych z kutego walca ze stali 55H przeznaczonego dla walcowni ciągłej kęsów Huty Katowice. Walec był w stanie dostawy, tj. po całkowitej obróbce cieplnej i mechanicznej. Stosowana dotychczas w Hucie im. M. Nowotki w Ostrowcu Świętokrzyskim obróbka cieplna tego typu walców polega na normalizowaniu (840÷850°C) i wysokim odpuszczaniu (580÷620°C). Twardość powierzchni beczki walca po takiej obróbce cieplnej winna wynosić 208÷239 HB. Z czopów wybranego walca wycięto dwie tarcze o grubości 30 mm w odległości 320 i 550 mm od czoła. Z pobranych tarcz wycięto w sposób identyczny wg schematu przedstawionego na rysunku 1 próbki do badań wytrzymałościowych i udarnościowe oraz próbki pro-



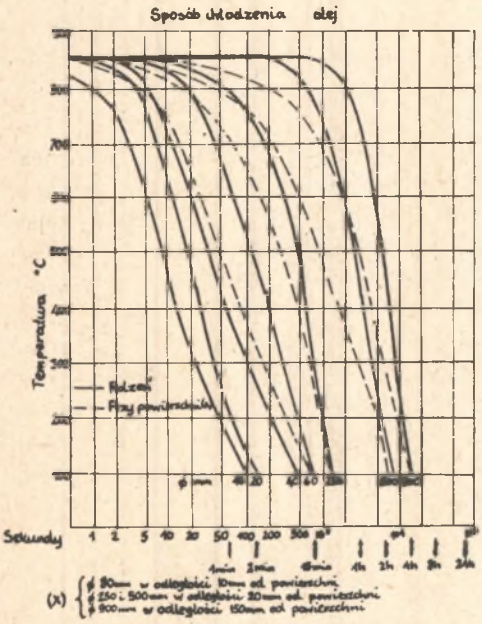
Rys. 1. Schemat wycinania próbek z tarcz

mieniowe do analizy składu chemicznego. Analizę chemiczną materiału przeprowadzono w pięciu kolejnych obszarach w kierunku od powierzchni do rdzenia. Średni skład chemiczny materiału obu tarcz podano w tablicy 1.

Tablica 1

Średni skład chemiczny materiału tarcz walca

Numer tarczy	Skład chemiczny, [%]								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Cu	P	S
I	0,591	0,250	0,423	1,196	0,086	0,020	0,170	0,013	0,017
II	0,578	0,316	0,492	1,180	0,108	0,032	0,160	0,017	0,019



Rys. 2. Przebiegi stygnięcia prętów o różnych średnicach, chłodzonych w oleju (IRSID) [9]

Na próbkach pobranych z tarczy I przeprowadzono badania własności mechanicznych i strukturalne. Próbki z tarczy II poddano procesowi ulepszania cieplnego, przy czym starano się osiągnąć na nich takie szybkości chłodzenia, które odpowiadają szybkościom w poszczególnych strefach walca hartowanego w oleju. Pomocne do tego celu są przebiegi stygnięcia prętów o różnych średnicach chłodzonych w oleju - rys. 2. Obliczone na podstawie tego wykresu czasy chłodzenia dla prętów o średnicy 900 mm z temperatury 850°C wyniosły dla rdzenia i strefy w odległości 150 mm od powierzchni około 3,3 godziny. Taką szybkość chłodzenia osiągano na próbkach ze strefy wewnętrznej tarczy II chłodzonych w dylatometrze optycznym produkcji IMŻ z szybkością 260°C/h do temperatury około 100°C. Próbki z zewnętrznej strefy tarczy II chłodzono w oleju, a twardość próbek po hartowaniu wynosiła 52÷55 HRC. Następnie próbki odpuszczano przy temperaturze 580 ÷ 620°C z chłodzeniem na powietrzu. Czas odpuszczania dobierano tak, aby uzyskać poziom twardości zbliżony do próbek po normalizowaniu i odpuszczaniu, tj. 208÷239 HB. Próbki chłodzone w dylatometrze odpuszczano w czasie 20 i 40 minut, przy czym nie stwierdzono istotnego wpływu czasu odpuszczania na

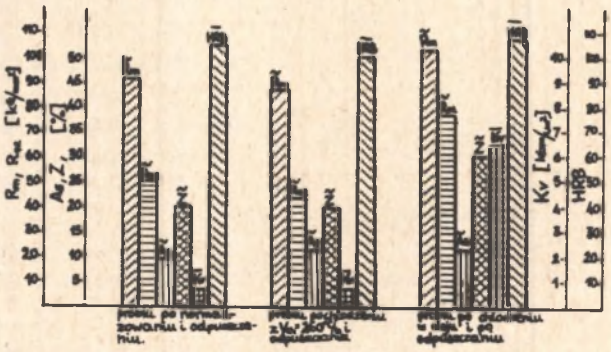
twardość po odpuszczaniu. Znacznie dłuższy czas odpuszczania trzeba było zastosować dla próbek chłodzonych w oleju, które dla uzyskania podanego poziomu twardości odpuszczano przez około 100 minut. Tak obrobione cieplnie próbki z tarczy II podlegały analogicznym badaniom własności mechanicznych i strukturalnych jak próbki z tarczy I.

3. Badania własności mechanicznych

Badania własności mechanicznych obejmowały badania wytrzymałościowe, badania udarności oraz pomiar twardości. Badania własności wytrzymałościowych przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej typu "INSTRON" - model 1251 stosując próbki wytrzymałościowe pięciokrotne. Z danych otrzymanych podczas próby rozciągania wyznaczono i obliczono:

- wytrzymałość na rozciąganie (R_m);
- umowną granicę plastyczności ($R_{0,2}$);
- wydłużenie względne (A_5);
- przewężenie względne (Z).

Próbę udarności przeprowadzono na młocie typu VEB produkcji NRD na próbkach udarnościowych ISO - Charpy V w temperaturze otoczenia. Pomiaru twardości dokonano metodą Rockwella (skala B) na twardościomierzu typu "Łucznik". Otrzymane wyniki badań własności wytrzymałościowych dla poszczególnych grup próbek poddano statystycznej analizie wyników. Poszczególne wielkości zestawiono w postaci szeregów rozdzielczych, sporządzono histogramy oraz obliczono średnią arytmetyczną, średnią ważoną i odchylenie przeciętne. Przy sporządzaniu szeregów rozdzielczych i histogramów odrzucono wartości najbardziej skrajne oraz zestawiono oddzielnie wartości próbek stycznych i promieniowych, a także ujęto je łącznie [10]. Wyniki badań własności mechanicznych dla poszczególnych grup próbek podano w tablicy 2 oraz przedstawiono graficznie na rys. 3.



Rys. 3. Własności mechaniczne poszczególnych grup próbek po różnych zabiegach obróbki cieplnej

Tablica 2

Własności mechaniczne poszczególnych grup próbek po różnych zabiegach obróbki cieplnej

Rodzaj obróbki cieplnej	Wytrzymałość na rozciąganie R_m [kG/mm²]			Umowna granica plastyczności $R_{0,2}$ [kG/mm²]			Wydłużenie względne A_5 [%]			Przewężenie względne Z [%]			Udarność KV [kGm/cm²]	Twardość HRB
	$\overline{R_m}$	$\widetilde{R_m}$	dx	$\overline{R_{0,2}}$	$\widetilde{R_{0,2}}$	dx	$\overline{A_5}$	$\widetilde{A_5}$	dx	$\overline{Z}$	$\widetilde{Z}$	dx	$\overline{KV}$	$\overline{HRB}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Próbki po normalizowaniu i odpuszczaniu														
- promieniowe	89,4	89,6	0,77	50,2	49,4	1,15	9,00	9,02	2,40	18,30	18,20	3,85		
- styczne	89,5	90,4	0,74	48,8	48,6	0,90	8,65	8,82	1,08	16,10	18,55	4,52		
- łącznie	89,4	89,8	1,10	49,6	49,2	4,17	8,82	8,92	0,77	17,50	19,20	1,55	0,5	102,1
Próbki po chłodzeniu w dylatometrze z szybkością 260°/h i odpuszczaniu														
- promieniowe	94,2	86,3	8,11	41,1	41,0	1,00	11,04	11,00	1,00	21,55	21,20	3,75		
- styczne	87,0	87,3	0,66	39,3	42,4	3,00	8,95	9,75	1,15	15,65	17,99	2,93		
- łącznie	90,6	86,5	4,75	40,2	41,8	2,00	10,00	10,40	1,19	18,60	19,60	3,37	0,6	99,5
Próbki po chłodzeniu w oleju i odpuszczaniu														
- promieniowe	97,5	96,3	1,69	76,7	76,0	2,30	10,60	10,20	0,96	32,80	30,20	4,22		
- styczne	97,3	97,5	1,45	77,2	79,1	2,30	10,40	10,30	0,98	29,10	29,00	3,99		
- łącznie	97,4	96,8	1,54	76,9	77,6	2,30	10,50	10,20	0,97	30,95	29,40	4,10	6,2	106,5

Próbki z tarczy I po normalizowaniu i odpuszczaniu charakteryzowały się poprawnymi własnościami wytrzymałościowymi (R_m = 88 ÷ 90 kG/mm^2, $R_{0,2}$ = = 48÷50 kG/mm^2) i plastycznymi (A_5 = 8÷9%, Z = 16÷19%), ale posiadały bardzo niską udarność rzędu 0,5÷0,7 kGm/cm^2. Prawie identyczne własności posiadały próbki ze środkowej strefy tarczy II chłudzone w dylatometrze i odpuszczane. Próbki te cechowała niższa umowna granica plastyczności ($R_{0,2}$= = 41÷43 kG/mm^2) oraz podobna bardzo niska udarność - ok. 0,6 kGm/cm^2. Znacznie lepszymi własnościami mechanicznymi charakteryzowały się próbki ze strefy powierzchniowej tarczy II chłodzone w oleju i odpuszczane. Przy zbliżonym poziomie twardości (HRB = 104÷106) i wytrzymałości (R_m = 96÷98 kG/mm^2) próbki te posiadały w stosunku do próbek normalizowanych znacznie wyższą umowną granicę plastyczności ($R_{0,2}$ = 76÷79 kG/mm^2), znacznie większe przewężenie względne (Z = 29÷32%) oraz około 10-krotnie lepszą udarność (KV = 4,5÷7,5 kGm/cm^2).

4. Badania strukturalne

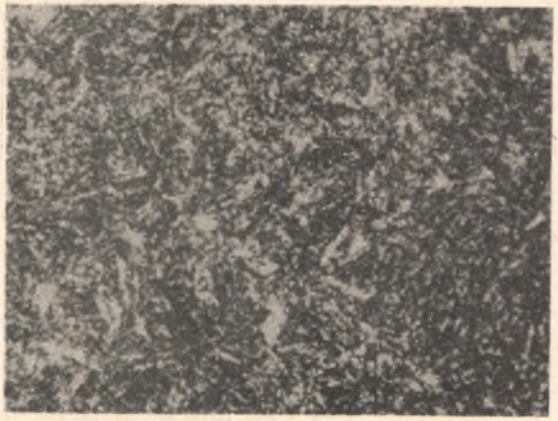
Obrobione cieplnie próbki z tarczy I i II poddano badaniom strukturalnym. Badania te objęły obserwację struktur na mikroskopie świetlnym, badania mikrofraktograficzne przełomów na mikroskopie skaningowym oraz badania elektronomikroskopowe na transmisyjnym mikroskopie elektronowym.

4.1. Badania metalograficzne

Badania te przeprowadzono na mikroskopie świetlnym typu MeF-2 produkcji firmy REICHERT. Struktury badanych próbek z poszczególnych grup przedstawiono na rys. 4, 5, 6. Próbki z tarczy I po normalizowaniu i odpusz-

Rys. 4 Struktura po normalizowaniu i odpuszczaniu - perlit cienkopłytkowy o zróżnicowanej postaci. Pow. 500x

Rys. 5. Struktura po chłodzeniu z kontrolowaną szybkością i odpuszczaniu - perlit cienkopłytkowy z niewielkimi obszarami ferrytu. Pow. 500x



Rys. 6. Struktura po hartowaniu w oleju i odpuszczaniu - sorbit z zachowanym częściowo układem pomartenzytycznym. Pow. 500x

czaniu posiadały strukturę cienkopłytkowego perlitu o dość zróżnicowanej budowie (rys. 4). Podobną strukturą charakteryzowały się próbki ze strefy wewnętrznej tarczy II chłodzone z kontrolowaną szybkością i odpuszczane (rys. 5). Natomiast chłodzone w oleju i odpuszczane próbki ze strefy zewnętrznej tarczy II posiadały zupełnie odmienny typ struktury. Składała się ona z produktów rozpadu martenzytu podczas wysokiego odpuszczania - sorbitu, z zachowanym częściowo układem pomartenzytycznym (rys. 6).

4.2. Badania mikrofraktograficzne

Badania te przeprowadzono na mikroskopie skaningowym JSM-S1 produkcji firmy JEOL. Obserwacji poddano przełomy próbek udarnościowych. Badania wykazały występowanie zróżnicowanych postaci przełomów próbek w zależności od ich struktury, co zgodne jest z wytycznymi podanymi w pracy [11]. W próbkach normalizowanych oraz chłodzonych z kontrolowaną szybkością i odpuszczanych, posiadających strukturę cienkopłytkowego perlitu, stwierdzono występowanie typowych przełomów transkrystalicznych łupliwych z bogato rozwiniętymi płaszczyznami rozdziału - rys. 7, 8. Próbki chłodzone w oleju i odpuszczane, posiadające strukturę sorbityczną, charakteryzowały się przełomem transkrystalicznym ciągliwym ze śladami znacznego odkształcenia plastycznego w postaci kraterów w miejscach występowania skoagulowanych i płytkowych wydzieleń cementytu - rys. 9.

Rys. 7. Próbka po normalizowaniu i odpuszczaniu. Przełom transkrystaliczny łupliwy ze śladami częściowego odkształcenia plastycznego. Pow. 500x

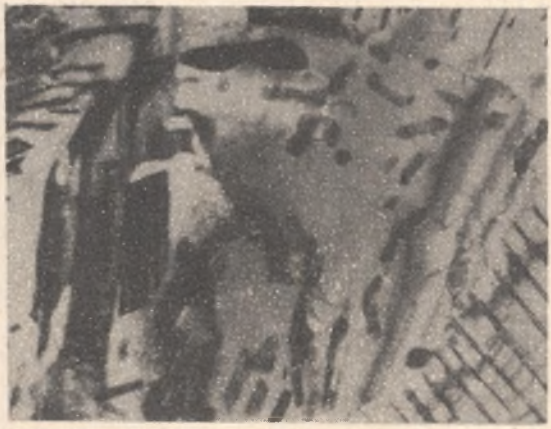
4.3. Badania elektronomikroskopowe

Badania substruktury próbek przeprowadzono na transmisyjnym mikroskopie elektronowym typu JEM-100B produkcji firmy JEOL, stosując technikę cienkich folii. Płytki na folie ucinano elektroiskrowo z próbek udarnościowych po złamaniu, ścieniano mechanicznie, a następnie polerowano elektrolitycznie w odczynniku złożonym z 10 części butyloglikolu ($C_4H_9OC_2H_4OH$) i 1 części kwasu nadchlorowego ($HClO_4$), przy napięciu 20,5 V. W próbkach normalizowanych ujawniono strukturę perlitu płytkowego o zróżnicowanej grubości płytek i ze śladami częściowej koagulacji cementytu (rys. 10,

Rys. 8. Próbka po chłodzeniu z kontrolowaną szybkością i odpuszczaniu. Przełom transkrystaliczny łupliwy z wyraźnie zaznaczonym systemem "rzek" na płaszczyznach rozdziału. Pow. 500x

Rys. 9. Próbka po hartowaniu w oleju i odpuszczaniu. Przełom transkrystaliczny ciągliwy ze śladami znacznego odkształcenia plastycznego w miejscach występowania płytkowych i skoagulowanych wydzieleń cementytu. Pow. 500x

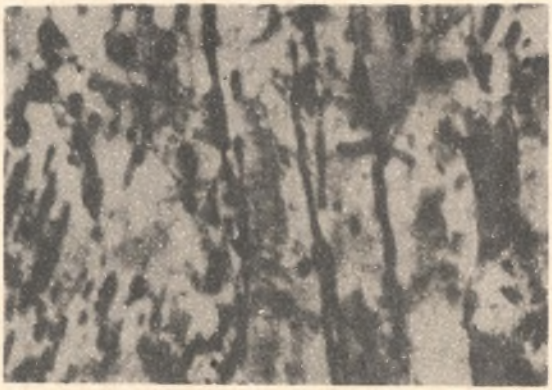
Rys. 10. Substruktura po normalizowaniu i odpuszczaniu. Perlit płytkowy ze śladami częściowej koagulacji cementytu oraz obszar wolnego ferrytu. Pow. 10000x



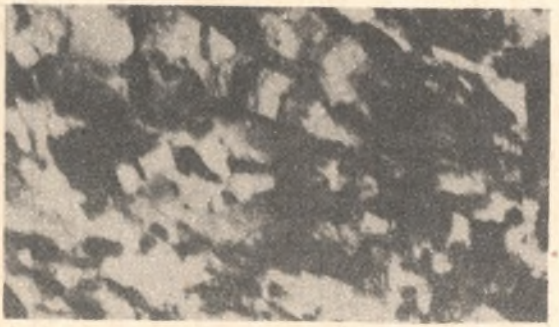
Rys. 11. Substruktura po normalizowaniu i odpuszczaniu. Perlit płytkowy i obszar ferrytu z wydzieleniami cementytu. Widoczne blokowanie dyslokacji na granicach ziarn i podziarn oraz prążki efektu mory. Pow. 10000x

11). Między przeważającymi obszarami cienkopłytkowego perlitu ujawniono występowanie nielicznych obszarów wolnego ferrytu o niewielkim stopniu zdefektowania. W przypadku wzajemnego przenikania płytek ferrytu i cementytu uzyskano charakterystyczny układ prążków efektu mory z obrazami dyslokacji krawędziowych (rys. 11, 12) [12]. W próbkach ulepszanych cieplnie ujawniono strukturę składającą się z ferrytu o zróżnicowanym stopniu zdefektowania i wydzieleń węglika Fe_3C o bardzo różnorodnym kształcie (rys. 13, 14). Wydzielenia cementytu posiadały kształt cienkich, iglastych pły-

Rys. 12. Próbka po normalizowaniu i odpuszczaniu. Widoczne prążki efektu mory z licznymi ujawnionymi dyslokacjami krawędziowymi w ferrycie. Pow. 17000x



Rys. 13. Substruktura po ulepszaniu cieplnym. Ferryt o niewielkim stopniu zdefektowania oraz igłaste i częściowo skoagulowane wydzielenia cementytu. Pow. 27000x



Rys. 14. Substruktura po ulepszeniu cieplnym. Wydzielenia cząstek cementytu o bardzo nieregularnym kształcie w osnowie ferrytycznej o znacznym stopniu zdefektowania. Pow. 27000x

tek i drobnych częściowo skoagulowanych wydzieleń (rys. 13) oraz większych nieregularnych cząstek, w pobliżu których stwierdzono znaczne zdefektowanie osnowy (rys. 14).

5. Wnioski

Analiza uzyskanych wyników badań pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Próbki ze stali 55H posiadają po normalizowaniu i odpuszczaniu strukturę cienkopłytkowego perlitu ze śladami częściowej koagulacji cementytu oraz nielicznymi obszarami wolnego ferrytu. Charakteryzują się niskimi własnościami plastycznymi (A, Z) oraz małą udarnością.

2. Zastosowanie dla tego typu próbek hartowania w oleju i wysokiego odpuszczania pozwala uzyskać znacznie wyższe własności wytrzymałościowe (R_m, $R_{0,2}$) i plastyczne (A, Z) oraz około 10-krotny wzrost udarności. Uzyskane wyniki związane są z otrzymaną po ulepszeniu cieplnym strukturą sorbityczną złożoną z ferrytu i wydzieleń cementytu o bardzo różnorodnym kształcie.

3. Uzyskane wyniki pozwalają przypuszczać, że celowe dla walców ze stali 55H byłoby zastosowanie zamiast normalizowania i odpuszczania - procesu ulepszania cieplnego z hartowaniem w oleju. Przy podobnym poziomie twardości można by prawdopodobnie tą drogą uzyskać znacznie korzystniejsze własności wytrzymałościowe i plastyczne tworzywa walca oraz istotną poprawę udarności.

4. Celem sprawdzenia wyników uzyskanych na badanych próbkach należałoby je porównać z wynikami prób półtechnicznych lub przemysłowych na gotowym walcu.

LITERATURA

[1] Kudrna R.: Hutn. Listy, t. 21, 1966, nr 10, s. 712-720.
[2] Raczyński B.: Wiad. Hutnicze, 1975, nr 9, s. 298-303.
[3] Lorang F.: Rev. Univ. des Mines, t. 18, 1962, nr 12, s. 676-680.
[4] Stevens P.G., Ivens K.P. i inni: J. Iron Steel Inst., t. 209, 1971, nr 1, s. 1-11.
[5] Linhart J.W.: Iron Steel Eng., t. 49, 1972, nr 12, s. 69-75.
[6] Kenschal G.E.: Steel Times, t. 202, 1974, nr 7-8, s. 499-506.
[7] Kazuyoshi K.: Trans. Iron Steel Inst. Jap., t. 12, 1972, nr 2, s. 172-182.
[8] Dugan J.M.: The Magazin of Metal Producing, t. 11, 1973, nr 11, s. 44-47.
[9] Karty materiałowe IMŻ, część II-3; charakterystyka hartowania.
[10] Ducki K. i inni: Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej IIM (niepublikowane), Katowice 1976.

[11] Maciejny A.: Kruchość metali, Wyd. "Śląsk", Katowice 1973.
[12] Schimmel G.: Metodyka mikroskopii elektronowej. PWN, Warszawa 1976.

ПОПЫТКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО УЛУЧШЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВАЛКОВ ИЗ СТАЛИ 55Х В ОТНОШЕНИИ К ПРИЁМАМ НОРМАЛИЗАЦИЙ И ОТПУСКА

Р е з ю м е

В статье дана попытка оценки влияния термического улучшения на структуру и свойства валков из стали 55Х в отношении к приёмам нормализаций и отпуска. Установлено значительно высшие прочностные и пластические свойства образцов после термического улучшения чем после нормализаций и отпуска. Указано на возможность улучшения качества валков в результатие применения процесса термического улучшения вместо обыкновенной термической обработки.

THE ATTEMPT OF THE ESTIMATION OF THE TOUGHENING INFLUENCE ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF 55H-STEEL ROLLS IN COMPARISON WITH NORMALIZATION AND TEMPERING

S u m m a r y

The attempt of the estimation of the thoughening influence on the structure and properties of 55H-steel rolls has been undertaken. Both strength and ductility improvement after toughening in comparison with standard heat treatment has been recorded. The quality increasing of the rolls through toughening process instead of normalization and tempering has been shown.