ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1978

Seria: Mechanika z.65 Nr kol. 569

Gabriel KNIAGININ, Andrzej CHOJECKI, Ireneusz TELEJKO

Instytut Technologii i Mechanizacji Odlewnictwa
Akademia Górniczo-Hutnicza - Kraków

STALIWO PRZEZNACZONE NA KOŁA JEZDNE CIĘŻKICH SUWNIC x/

Streszczenie. W artykule przedstawiono badania nowego gatunku staliwa L35H2N4M o znacznie wyższych własnościach mechanicznych i odporności na ścieranie niż dotychczas stosowane z przeznaczeniem na koła jezdne ciężkich suwnic.

1. Wstęp

Staliwo, z którego wykonywane są koła jezdne do suwnic można podzielić na dwie grupy podstawowe:

a/ staliwo do normalizowania lub ulepszania cieplnego,

b/ staliwo do powierzchniowego hartowania.

Pierwsza grupa obejmuje staliwo konstrukcyjne węglowe o zawartości węgla 0,45 - 0,60 % oraz niskostopowe o zawartości węgla 0,35 - 0,60 % z dodatkami najczęściej krzemu, chromu, manganu, molibdenu. Koła ze staliwa należącego do tej grupy poddaje się normalizowaniu /staliwo węglowe/ lub ulepszaniu cieplnemu /niskostopowe/. O ich odporności na zużycie decyduje w znacznej mierze twardość, która jednak nawet w przypadku staliwa stopowego nie powinna być wyższa niż 400 HB. Przy wyższej twardości zachodzi obawa, że właściwości plastyczne staliwa mogą być niewystarczające przy ciężkich warunkach pracy suwnicy. W kraju koła do suwnic wykonuje się najczęściej ze staliwa 45G2, 45G2M i 50G2.

Druga grupa obejmuje gatunki staliwa, w których dużą odporność na zużycie uzyskuje się przez powierzchniowe hartowanie. Twardość powierzchni roboczych koła wynosi wtedy około 500 HV, przy czym ważne jest, aby pomiędzy perlityczną strefą środka koła a martenzytem bieżni nie następowała gwałtowna zmiana właściwości mechanicznych, co mogłoby osłabić spójność strefy zahartowanej z resztą koła. Ze względu na trudności technologiczne, koła takie wytwarzają tylko wyspecjalizowane firmy. Wytwórcy z reguły nie podają bliższych danych odnośnie ich technologii. Prospekty firmowe przedstawiają najczęściej tylko zalety wytwarzanych kół.

x/ W badaniach udział brali: dr inż.J.Głownia, mgr inż.E.Turcza-Kniaginin,J.Ciupiński. Patent tymczasowy nr P-194730

2. Założenia do doboru składu chemicznego staliwa

Analiza mechanizmu zużycia kół, przeprowadzona na podstawie danych literaturowych oraz obserwacji własnych pozwoliła wytypować następujące właściwości staliwa, decydujące o odporności na zużycie [1]:

a/ granica sprężystości,

b/ wytrzymałość na zmęczenie,

c/ twardość,

d/ wrażliwość na działanie karbu,

e/ stabilność struktury przy wzroście temperatury wywołanej tarciem,

f/ stabilność cieplna właściwości mechanicznych.

W oparciu o dane zamieszczane w prospektach reklamowych przodujących firm produkujących koła jezdne do suwnic o dużych udźwigach przyjęto, że staliwo powinno zapewnić następujące właściwości:

1/ mechaniczne:

a/ po podwójnym normalizowaniu i wysokim odpuszczaniu:
$R_e \geq 500\ N/mm^2$, $A_5 \geq 10\ \%$, $K_M \geq 50\ J/cm^2$,

b/ po hartowaniu: $A_5 \geq 480 - 500\ daN/mm^2$, $Re \geq 850\ N/mm^2$, $A_5 \geq 5\ \%$, $K_M \geq 20\ J/cm^2$, $Z_{mog} \geq 38\ daN/mm^2$

2/ głębokość warstwy zahartowanej większa niż 15 mm,

3/ spadek twardości w warstwie przejściowej pomiędzy bieżnią a rdzeniem koła nie większy niż 50 HV/10 mm.

Hartowanie wywołuje zawsze w materiale naprężenia, których wartość jest tym mniejsza im wolniejsze jest odprowadzenie ciepła, a więc im łagodniejszy jest ośrodek chłodzący. Aby przy stosowaniu wolnego studzenia otrzymać warstwę zahartowaną o założonej głębokości, staliwo musi posiadać odpowiednią hartowność. Za tym ostatnim warunkiem przemawia również konieczność zapewnienia niewielkiego spadku twardości w warstwie przejściowej. Najmniejsze naprężenia w odlewie wywołuje hartowanie powietrzem. Dlatego założono, że staliwo powinno być samohartowne.

3. Dobór składu chemicznego staliwa o założonej hartowności i badania laboratoryjne wytypowanych gatunków staliwa

Ilość dodatków stopowych koniecznych do otrzymania założonej grubości strefy zahartowanej wyliczono, posługując się metodą obliczania hartowności wg M.A.Grossmanna [2]. Ogólny wzór do obliczania hartowności na podstawie składu chemicznego jest następujący:

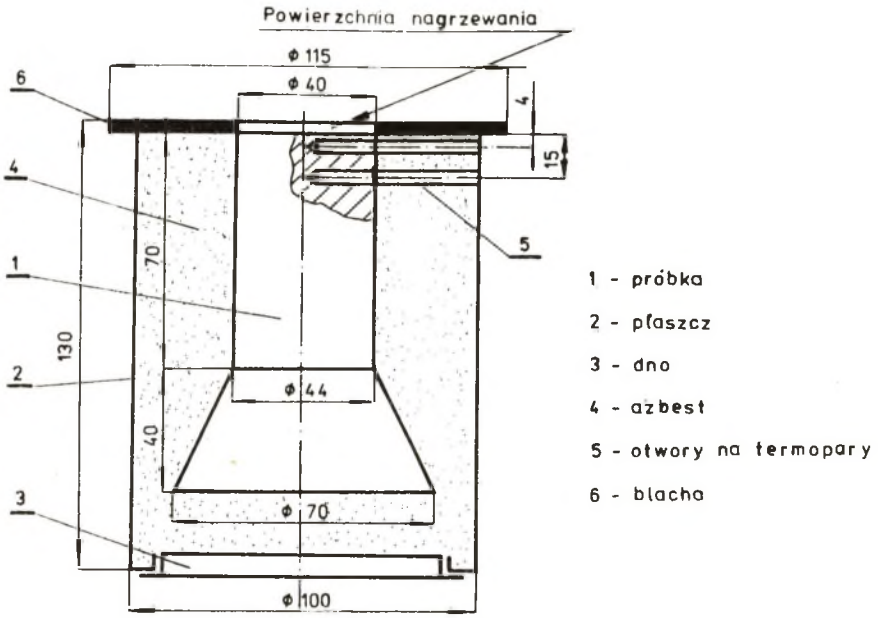
$$D_i = D_{iw} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \ldots \qquad 1$$

gdzie: D_i - idealna średnica krytyczna,

D_{iw} - idealna średnica krytyczna dla procentowej zawartości węgla [3],

k_1, k_2, k_3 - współczynniki dla odpowiedniego składnika stopowego [3].

Aby można było wykorzystać wzór 1 należało przede wszystkim ustalić zawartość węgla. Ze wzrostem zawartości węgla rośnie twardość, decydująca w znacznej mierze o odporności na ścieranie staliwa niskostopowego, a także odporności na tworzenie wgłębień.



Rys.1 Schemat urządzenia do pomiaru hartowności stali samohartownej

To z kolei wiąże się z koncentracją naprężeń podczas pracy koła. Z drugiej strony węgiel obniża plastyczność i udarność staliwa, a także zwiększa jego skłonność do tworzenia pęknięć hartowniczych. Dlatego ilość jego nie powinna być wyższa od koniecznej dla zapewnienia założonej twardości. Badania [4] wykazały, że twardość powierzchni roboczej koła wynoszącą około 500 HV można uzyskać przy zawartości węgla ok. 0,35 %.

Poszczególne składniki działają niezależnie i można droższe z nich zastąpić tańszymi przy zachowaniu tego samego wpływu na hartowność. Mają one jednak indywidualny wpływ na właściwości staliwa. Wprowadzenie większej ilości pierwiastków w znacznie większym stopniu polepsza odporność na ścieranie, niż wprowadzenie jednego pierwiastka w dużej ilości [5].

Uwzględniając powyższe rozważania przyjęto możliwie najwyższe zawartości składników stopowych najtańszych, a równocześnie silnie podwyższających hartowność /Mn,Cr/. Dodatek niklu, który powinien zapewnić uzyskanie założonej głębokości warstwy zahartowanej przy hartowaniu powietrzem wyliczono ze wzoru /1/. Do badań laboratoryjnych wytypowano wstępnie trzy grupy gatunków staliwa, których skład chemiczny podano w tabeli 1.

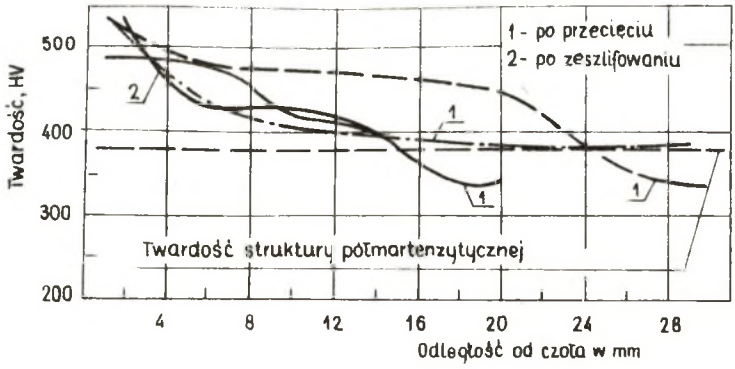
Tabela 1

Skład chemiczny staliwa wytypowanego do badań laboratoryjnych. Część wytopów ze staliwa II wykonano z dodatkiem około 0,1 % V

Gatunek staliwa	Skład chemiczny w %					
	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo
I	0,30-0,40	0,35-0,70	około 0,5	2,0-3,5	1,7-2,0	-
II	0,30-0,45	0,40-0,90	około 0,5	3,5-4,5	1,7-2,2	0,3-0,4
III	0,35-0,40	1,35-1,50	około 0,5	1,7-1,9	2,7-3,0	około 0,5

Staliwo wytapiano w piecu indukcyjnym o pojemności 10 kG. Część próbek staliwa II wykonano z niewielkim /poniżej 0,1 %/ dodatkiem wanadu, wprowadzonym dla rozdrobnienia ziarna. W pierwszym etapie odlewano jedynie cylindryczne próbki do badania hartowności. Ponieważ stwierdzono, że dotychczas opracowane metody pomiaru hartowności nie nadają się do badań staliwa samohartownego zaprojektowano nowy sposób, którego schemat pokazano na rys.1. Próbkę o średnicy 40 mm i długości 70 mm umieszczono razem z nadlewem, osiowo w cylindrze metalowym o średnicy 100 mm i długości 130 mm. Do cylindra wsypywano sproszkowany azbest, lekko ubijając go, a następnie przykrywano pokrywką z otworem odpowiadającym średnicy próbki. W uprzednio wywiercone w próbce otwory ustawiano w odległości 4 i 15 mm od hartowanej powierzchni termopary Pt-PtRh10. Grubość izolacyjnej warstwy azbestu dobrano w taki sposób, aby wymiana ciepła z otoczeniem następowała jedynie poprzez górną odkrytą powierzchnię. Odkrytą

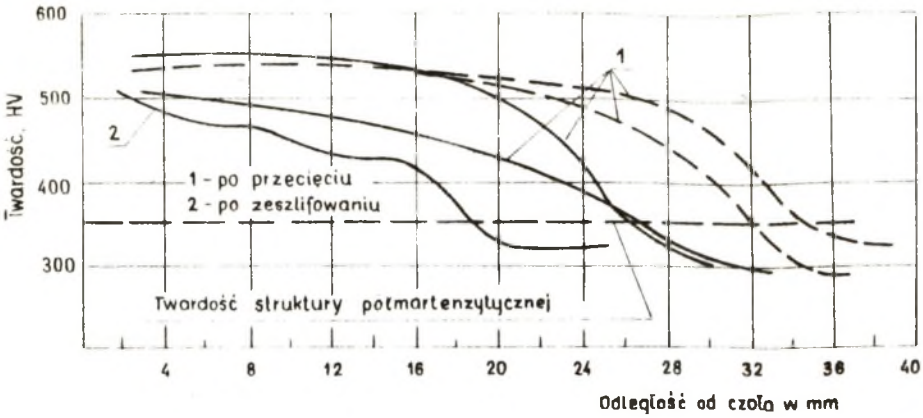
powierzchnię próbki nagrzewano palnikiem gazowo-powietrznym aż do osiągnięcia założonego rozkładu temperatur, potrzebnego do zahartowania warstwy o grubości 16 mm od czoła próbki. Studzenie przeprowadzono sprężonym powietrzem. Próbkę przecinano wzdłuż osi podłużnej i zeszlifowywano jej boczną powierzchnię, a następnie mierzono twardość.



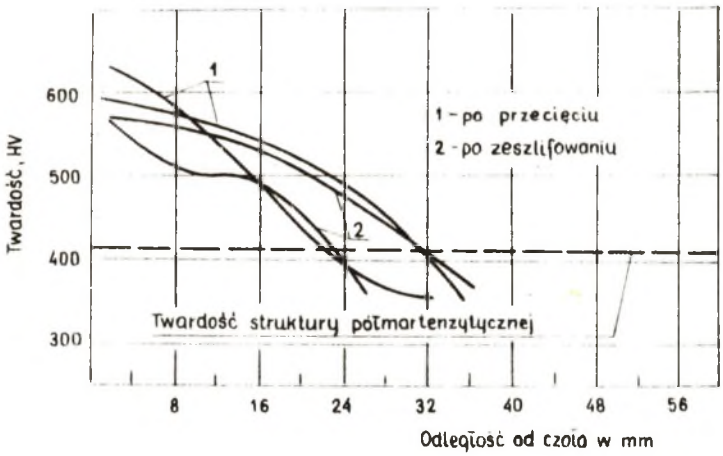
Rys.2 Rozkład twardości w próbkach ze staliwa I.

Wyniki ujęto wykresem w układzie: odległość od powierzchni hartowanej - twardość. Wyniki pomiarów twardości i głębokości strefy zahartowanej przedstawiono na rys. 2-4. Z otrzymanych wyników badań wynikają następujące wnioski:

1. Wszystkie trzy badane gatunki staliwa wykazują założoną głębokość warstwy zahartowanej; staliwo I - 18 do 25 mm, staliwo II - 23 do 31 mm, staliwo III - 17 do 32 mm.
2. Twardość na powierzchni warstwy zahartowanej odpowiada przyjętej w założeniach i wynosi 500 - 540 HV. W staliwie II twardość na głębokości do 20 mm nie spada poniżej 500 HV.
3. Przejście pomiędzy strefą zahartowaną i niezahartowaną jest dla staliwa II bardzo łagodne. Spadek twardości w warstwie zahartowanej wynosi 20 do 40 HV/10 mm.
4. W staliwie III stwierdzono spadek twardości ok. 50 HV/10 mm, a więc bardzo bliski najwyższej wartości dopuszczalnej. Staliwo III charakteryzuje się spadkiem twardości w warstwie zahartowanej większym od założonego.



Rys.3 Rozkład twardości w próbkach ze staliwa II



Rys.4 Rozkład twardości w próbce ze staliwa III

W dalszych badaniach zmierzono właściwości mechaniczne staliwa grupy I i II zgodnie z PN. Próbki obrobiono cieplnie w sposób następujący: wyżarzanie w temperaturze 900°C, pierwsze normalizowanie w temperaturze 900°C, drugie normalizowanie w temperaturze 860°C, odpuszczanie w temperaturze 680°C. Część próbek tak obrobionych cieplnie dodatkowo hartowano z temperatury 860°C w strumieniu sprężonego powietrza i odpuszczano w temperaturze 220°C. Uzyskano następujące właściwości mechaniczne staliwa I i II:

- w próbkach wyżarzanych, podwójnie normalizowanych i odpuszczanych średnio:

  $R_m = 110$ daN/mm^2, $A_5 = 14$ %, $Z = 15$ %,

- w próbkach dodatkowo hartowanych, średnio:

  $R_m = 170$ daN/mm^2, $A_5 = 10$ %, $Z = 15$ %, $K_M = 20$ J/cm^2.

Ze względu na mniejszy spadek twardości w warstwie zahartowanej, do badań odporności na zużycie wytypowano staliwo grupy II, które oznaczono jako L35H2N4M. Przy wyborze tego staliwa kierowano się również tym, że molibden powinien zapobiegać charakterystycznej dla staliwa chromowo-niklowego kruchości odpuszczania.

Badania odporności na ścieranie przeprowadzono na maszynie typu Amsler. Zmierzono zużycie próbek staliwa L35H2N4M współpracujących z próbkami wyciętymi z szyn. Wyniki porównano z otrzymanymi dla staliwa 50 G2 współpracującego ze stalą szynową /tabele 2-4/.

Tabela 2

Badanie ścieralności współpracujących próbek ze staliwa L50G2 i L35H2N4M

Staliwo L50G2				Staliwo L35H2N4M			
Obróbka cieplna	Twardość HV	Zużycie mg	Zużycie średnie mg	Obróbka cieplna	Twardość HV	Zużycie mg	Zużycie średnie mg
H-830°C O-500°C	346 384 384	785 685 609	695	Dwukrotnie normalizowanie. Hartowanie powierzchniowe 860°C. Studzenie sprężonym powietrzem odpuszczanie 220°C.	525	438 424 383	414

Badania wykazały że:

- zużycie staliwa 50 G2 ulepszonego cieplnie o twardości 360 HB przy współpracy z szyną jest średnio 1,8 razy większe, niż staliwa L35H2N4M,
- zużycie szyny współpracującej ze staliwem L35H2N4M jest 2,5 razy mniejsze niż przy współpracy ze staliwem 50 G2.

Tabela 3

Badania ścieralności współpracujących próbek ze stali szynowej staliwa L35H2N4M

Stal szynowa			Staliwo L35H2N4M			
Twardość HV	Zużycie mg	Zużycie średnie mg	Obróbka cieplna	Twardość HV	Zużycie mg	Zużycie średnie mg
260 249 264	325 391 362	357	Dwukrotne normalizowanie. Hartowanie powierzchniowe w 860°C. Studzenie sprężonym powietrzem. Odpuszczanie 220°C.	525	130 169 145	148

Tabela 4

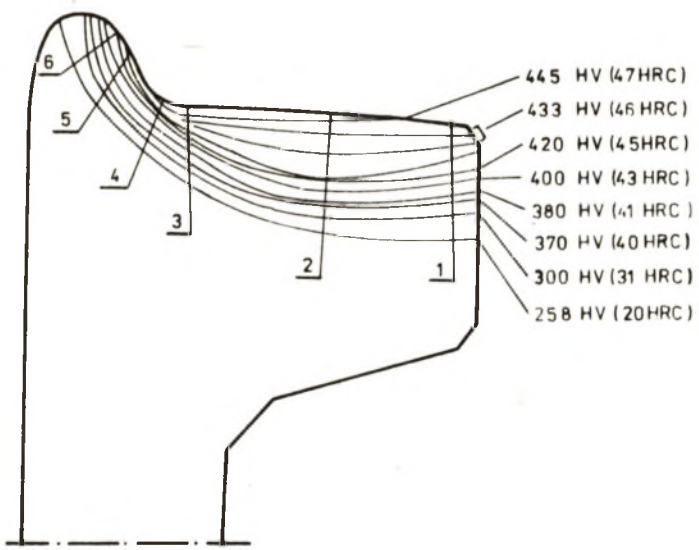
Badania ścieralności współpracujących próbek ze stali szynowej i staliwa L50G2

Stal szynowa			Staliwo L50G2			
Twardość HV	Zużycie mg	Zużycie średnie mg	Obróbka cieplna	Twardość HV	Zużycie mg	Zużycie średnie mg
średnio 250	923 832 885 727 896 828	890	H - 880 °C O - 500 °C	średnio 360	254,5 355,2 292,0 175,5 262,5 241,3	264

Staliwo po obróbce cieplnej odpowiadającej rdzeniowi koła, tj. podwójnemu normalizowaniu i wysokiemu odpuszczaniu wykazano wytrzymałość na zmęczenie równą 28 kG/mm^2. Badania zmęczeniowe próbek hartowanych i nisko odpuszczanych, a więc obrobionych cieplnie, tak jak bieżnia koła, napotkały na trudności ze względu na mały zakres pomiarowy maszyny używanej do badań /możliwe do uzyskania na tej maszynie maksymalne obciążenia 33 kG/mm^2 okazało się niewystarczające dla zniszczenia.

3. Badania na skalę półprzemysłową

Ze stali L35H2N4M wytopionej w piecu indukcyjnym o pojemności 1 t odlano w formach wykonanych z masy CMS, cztery koła /po dwa z jednym i po dwa z dwoma obrzeżami/ oraz komplet próbek do badań właściwości mechanicznych i struktury. Masa jednego koła w stanie surowym wahała się od około 680 - 900 kg. Temperatury obróbki cieplnej kół i próbek były analogiczne jak w badaniach laboratoryjnych /podano je w punkcie 2/. Hartowanie powierzchni roboczych wykonano na specjalnym urządzeniu[x/] palnikami gazowo - tlenowymi. Na rys.5 pokazano rozkład twardości na przekroju warstwy roboczej koła. Do głębokości 5 mm twardość wynosi 460 - 445 HV, a na głębokości ok. 20 mm nie spada poniżej 400 HV. Badania struktury wykazały silny rozrost ziarna po wyżarzaniu zupełnym. Korzystne okazało się obniżenie temperatury z 900°C do 850°C oraz niewielki dodatek wanadu. Właściwości mechaniczne próbek wynosiły:



Rys.5 Rozkład twardości na przekroju warstwy roboczej koła jezdnego

- po wyżarzaniu, dwukrotnym normalizowaniu i wysokim odpuszczaniu średnio:
  R_m = 99,3 daN/mm^2, A_5 = 12,5 %, Z = 25,3, K_M = 40 J/cm^2
- dodatkowo hartowanych sprężonym powietrzem i nisko odpuszczanych średnio:
  R_m : 168 daN/mm^2, A_5 = 10 %, Z = 15,4 %, K_M = 20 J/cm^2.

4. Wnioski

1. Wyniki badań wskazują, że staliwo L35H2N4MF odpowiada w zupełności wymaganiom stawianym materiałowi na koła jezdne ciężkich suwnic ponieważ:
   a/ charakteryzuje się wysokimi właściwościami mechanicznymi zarówno po podwójnym normalizowaniu jak i w stanie hartowanym,
   b/ wykazuje bardzo wysoką odporność na zużycie,
   c/ hartuje się do głębokości ponad 17 mm za pomocą sprężonego powietrza,
   d/ spadek właściwości mechanicznych w strefie pomiędzy zahartowaną warstwą roboczą a rdzeniem koła jest płynny,
   e/ posiada dobre właściwości odlewnicze.
2. Do cech ujemnych nowego staliwa można zaliczyć:
   a/ wysoki koszt i deficytowość składników,
   b/ czas wytopu dłuższy o 15-20 min od czasu wytopu stali niskostopowych,
   c/ droższa obróbka cieplna.

LITERATURA

[1.] SOLSKI P.: Zużycie cierne metali. WNT, Warszawa 1968

[2.] GROSSMAN M.A.: Transaction AIME 1942, t.150, str.227

[3.] BOYD L.H., FIELD J.: Calculation of the Standard End - Quench Hardenability Curve from Chemical Composition and Grain Size. Contribution to the Metallurgy of Steel nr 12, American Iron and Steel Institute, New York 1946, str.25.

[4.] BURNES J.L., More T.L., ARCHER R.S.: Transaction ASM 1938, t.26, str.1.

[5.] CRAFTS W., LAMONT J.: Hartowność i dobór stali. PWT, Warszawa 1958.

[6.] KACZANOW N.N.: Prokaliwajemost´stali. Mietałłurgia. Moskwa 1964.

[7.] KNIAGININ G. i inni: Opracowanie nowego staliwa przeznaczonego na koła biegowe suwnic, cechujące się wyższą odpornością na ścieranie oraz wyższą trwałością niż koła ze staliwa 50 G2. Praca wykonywana na zlecenie Huty im. Lenina /niepublikowana/. Kraków 1970.

[8.] KNIAGININ G. i inni: Staliwo na koła suwnicowe o bardzo dużej trwałości. Prace RN -T Huty im. Lenina. Kraków 1972, nr 25, str.86.

[9.] KARAMARA A.: Metody pomiaru naprężeń w odlewach staliwnych. VI Konferencja Odlewników. Staliwa. Kraków - Kielce 1967.

CAST STEEL FOR WHEELS USED IN HEAVY CRANES

S u m m a r y

The paper describes investigations of a new grade L35H2N4M of cast steel with mechanical properties and wear resistance considerably superior to those of existing cast steels used for wheels in heavy cranes.

ЛИТАЯ СТАЛЬ ПРЕДНАЗНАЧЕННАЯ ДЛЯ ХОДОВЫХ КОЛЕС ТЯЖЕЛЫХ МОСТОВЫХ КРАНОВ

Р е з ю м е

В статье рассматриваются исследования новой марки литой стали L35H2N4M, обладающей высшими механическими свойствами и износостойкостью, чем применяемые до настоящего времени марки, предназначенные для ходовых колес тяжелых мостовых кранов.