ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1975

Seria: Mechanika z. 55 Nr kol. 446

Łucja Cieślak, Danuta Szewieczek,
Ryszard Nowosielski

Instytut Metaloznawstwa i Spawalnictwa
Politechniki Śląskiej

INTENSYFIKACJA PROCESU SFEROIDYZACJI STALI ŁOŻYSKOWEJ GATUNKU ŁH 15

Streszczenie. W pracy określono parametry przyspieszonego indukcyjnego wyżarzania sferoidyzującego stali łożyskowej gatunku ŁH 15. Zbadano wpływ struktury wyjściowej na intensyfikację procesu sferoidyzacji przy cyklicznym nagrzewaniu indukcyjnym.
Wykazano, że wśród badanych struktur najszybciej ulega sferoidyzacji struktura perlityczna, a o przyspieszonym jej przebiegu decydują pierwsze cykle nagrzewania.

Wstęp

Wyroby hutnicze ze stali łożyskowej, przeznaczone do dalszej obróbki ubytkowej lub plastycznej na zimno, powinny posiadać strukturę zapewniającą optymalne własności zarówno ze względu na dalsze operacje technologiczne jak i wymagania stawiane gotowym wyrobom. Strukturę taką uzyskuje się po wyżarzaniu sferoidyzującym, które w wersji konwencjonalnej jest zabiegiem długotrwałym, sięgającym niekiedy kilkunastu i więcej godzin. Stąd też wiele prac zmierzających do przyspieszenia tego zabiegu. Mechanizm powstawania sferoidalnych węglików w osnowie ferrytycznej podczas procesów sferoidyzacji zależy w dużym stopniu od struktury wyjściowej stali, która może być perlityczna, bainityczna lub martenzytyczna. Wyżarzanie sferoidyzujące perlitu prowadzi się zazwyczaj w zakresie temperatur oscylujących w pobliżu A_{c1}. Podczas wygrzewania perlitu tuż poniżej A_{c1} proces sferoidyzacji przebiega według schematu: fragmentacja - koagulacja [1-5]. Dobre efekty sferoidyzacji, przy jednoczesnej dużej jednorodności struktury i równomiernym rozłożeniu węglików uzyskać można przez hartowanie i odpuszczanie tuż poniżej temperatury A_{c1} [6]. W stali o strukturze bainitycznej całkowitą sferoidyzację uzyskuje się po 10 godzinach wyżarzania [6].

Znajomość mechanizmów sferoidyzacji umożliwia oddziaływanie w celu przyspieszenia tego procesu. Istotny wpływ na intensyfikację procesu sferoidyzacji wywiera uprzednie odkształcenie plastyczne stali na zimno [7]. Połączenie tej obróbki z następnym bezpośrednim przyspieszonym nagrzewaniem indukcyjnym skraca czas wyżarzania sferoidyzującego do kilku sekund [8].

Również samo cyklicznie wyżarzanie indukcyjne z szybkościami nagrzewania powyżej 50°C/s powoduje znaczne skrócenie czasu sferoidyzacji stali [9]. Przyspieszenie sferoidyzacji cementytu można również uzyskać przez obróbkę cieplno - mechaniczną, szczególnie w zakresie temperatur 680 - 700°C, po zakończeniu przemiany perlitycznej [3]. W pracy tej podjęto próbę intensyfikacji procesu wyżarzania sferoidyzującego stali łożyskowej ŁH 15 stosując cykliczne nagrzewanie indukcyjne walcówki o strukturze wyjściowej, otrzymanej po walcowaniu na gorąco z następnym chłodzeniem z różnymi [illegible] ściami.

Badania własne

Materiały do badań, obróbka cieplna, metody badawcze

Do badań użyto walcówki ze stali ŁH15 o średnicy 10 mm po regulowanym walcowaniu na gorąco z temperatury ok. 900°C i następnym chłodzeniu:

- w powietrzu (wariant I);
- w wodzie do temperatury ok. 550°C i następnie w powietrzu (wariant II);
- w wodzie do temperatury otoczenia (wariant III).

Po wariancie I uzyskano strukturę perlityczną, po wariancie II - martenzytyczno-bainityczną, a po III - martenzytyczną. Obróbka cieplna obejmowała nagrzewanie indukcyjne w 1, 3, 6, 10 i 12 cykłach złożonych z:

- nagrzania z szybkością ok. 60°C/s do temperatury ok. 20°C poniżej A_{c1} tj. ok. 750°C;
- wygrzania w tej temperaturze przez 30 s i chłodzenia w spokojnym powietrzu przez 120 s.

Nagrzewanie realizowano przy pomocy pieca indukcyjnego GIS 10, a pomiaru temperatury dokonywano pirometrem monochromatycznym typu Pyrolux - 1.

W celu określenia własności i zmian strukturalnych zachodzących po zastosowanej obróbce cieplnej przeprowadzono pomiar twardości oraz badania metalograficzne przy pomocy mikroskopu świetlnego i mikroskopu elektronowego na cinekich foliach. Przeprowadzone badania pozwoliły na prześledzenie procesów zachodzących podczas cyklicznego udarowego wyżarzania sferoidyzującego w temperaturze ok. 20°C poniżej A_{c1} w stali łożyskowej o strukturze wyjściowej perlitycznej, bainityczno-martenzytycznej i martenzytycznej.

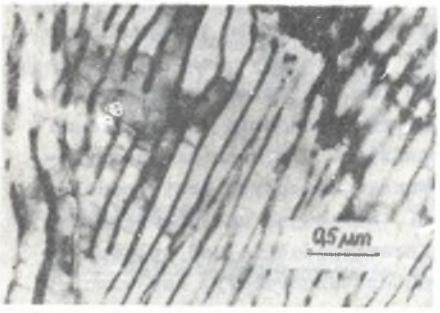
Wyniki badań i ich dyskusja

Stal po chłodzeniu z temperatury walcowania na powietrzu (wariant I), posiada strukturę perlitu drobnopłytkowego (rys. 1) o twardości około 330 HB. W wyniku cyklicznego wyżarzania zachodzi przebudowa płytkowej postaci cementytu w sferoidalną. Początkowym etapem przebudowy jest fragmentacja

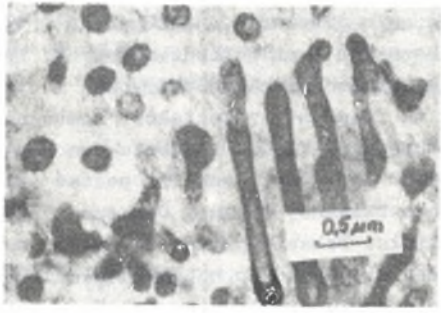
cementytu, zachodząca według różnych mechanizmów, takich jak tworzenie narostów (rys. 2) i przewężeń (rys. 3) [3,4] lub przez pękanie płytek na segmenty o charakterystycznym kształcie [5] (rys. 4). Fragmentacja przez tworzenie narostów i przewężeń na styku fwóch faz zostaje przyspieszona podczas nagrzewania indukcyjnego w wyniku lokalnego wzrostu temperatury w w obszarach granic międzyfazowych. Ten wzrost temperatury jest wywołany różną przewodnością elektryczną i cieplną obu faz. Natomiast podział płytek na fragmenty w kształcie rombu następuje prawdopodobnie w miejscach występowania błędów ułożenia cementytu. Wprawdzie w płytkach nie ujawniono tych defektów, jednakże postać fragmentowanego cementytu jest podobna do obserwowanej w pracy Darkena i Fishera [5], wskazując na ten mechanizm podziału. Pękanie płytek cementytu zachodzi prawdopodobnie pod wpływem naprężeń cieplnych, wywołanych gwałtownym wzrostem temperatury, zaś w mniejszym stopniu przebiegiem procesów dyfuzji. Po 1-3 cykli uzyskuje się strukturę wskazującą na znaczną niejednorodność przebiegu procesu sferoidyzacji. Cząstki cementytu są zróżnicowane pod względem kształtu i wielkości (rys. 2-5). W tym okresie równocześnie z fragmentacją kolejnych płytek następuje koagulacja uprzednio powstałych cząstek. Decydujący wpływ na przyspieszenie procesu sferoidyzacji wywierają początkowe etapy szybkiego wyżarzania indukcyjnego wskutek istnienia dużych niejednorodności strukturalnych oraz współdziałania kilku mechanizmów fragmentacji. Późniejsze etapy charakteryzują się wolniejszym przebiegiem procesu. Można o tym sądzić na podstawie wolnego wzrostu sferoidytów po następnych cyklach nagrzewania. Po 10 cyklach proces sferoidyzacji jest zakończony. Stal posiada strukturę ferrytu o zmiennej gęstości dyslokacji ze sferoidalnymi węglikami (rys. 6).

Przebiegowi sferoidyzacji towarzyszy zmiana twardości (rys. 7) Fragmentacja płytek cementytu po 1 i 3 cyklach wyżarzania powoduje obniżenie twardości do około 200 i 215 HB, stosownie do liczby cykli. Zastosowanie 6 cykli wyżarzania umożliwia uzyskanie drobnych węglików sferoidalnych o wielkości 3/2 wg PN, [10, 11]. Strukturę taką osiąga stal w łącznym czasie 15 minut o twardości ok. 200 HB. Po 10 cyklach zachodzące procesy koagulacji powodują zwiększenie wielkości ziarn sferoidytu do 4/2 wg PN. Następuje przy tym obniżenie twardości stali do ok. 190 HB. Wymagania dotyczące odbioru wyrobów po wyżarzaniu sferoidyzującym są spełnione już po 6 cyklach wyżarzania tj. po 15 minutach (rys. 8).

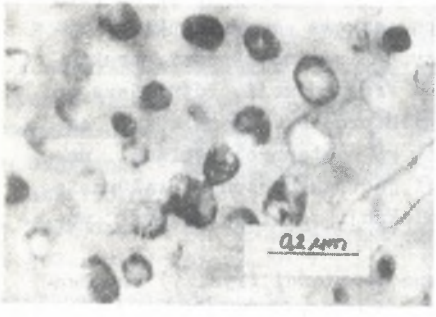
Proces sferoidyzacji struktur bainityczno-martenzytycznych powstających po chłodzeniu stali z temperatury walcowania wg wariantu II jest zapoczątkowany wewnątrz ziarn i na granicach igieł bainitu. Po 1 cyklu wyżarzania zachowuje się znaczne zróżnicowanie cech morfologicznych struktury. Wewnątrz igieł bainitu przeważa struktura o zróżnicowanej dyspersji węglików co należy przypisać bardziej intensywnej koagulacji węglików na granicach igieł i bloków (rys. 9). W tych warunkach w martenzycie następuje zapo-



Rys.1

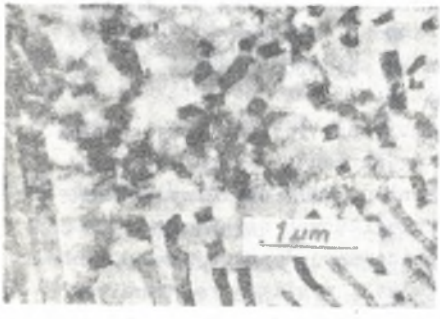


Rys.2

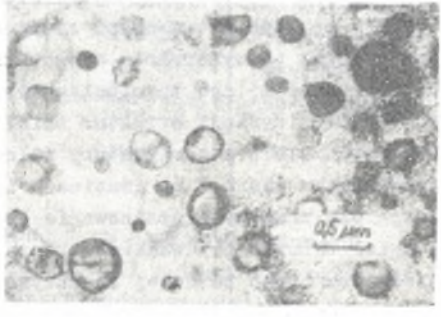


Rys. 3

Rys. 4

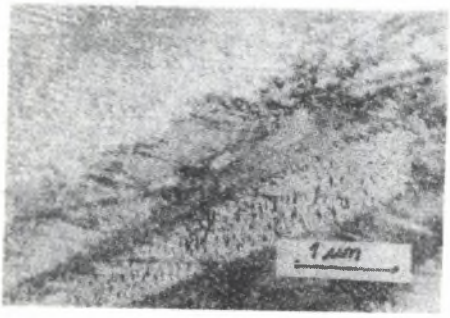


Rys. 5

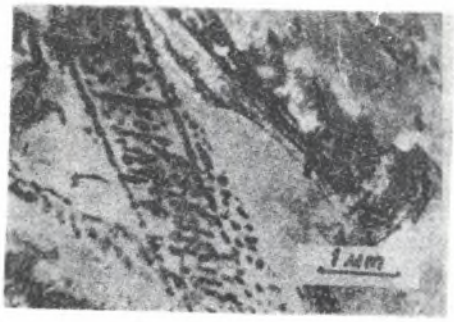


Rys. 6

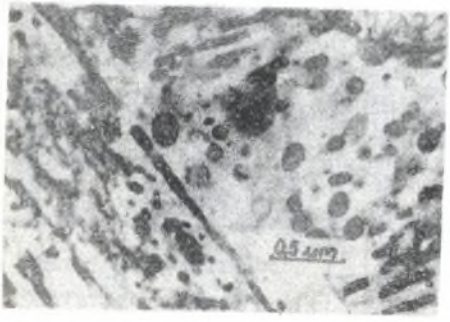
Nr rys.	Obróbka cieplna	Struktura
1	Chłodzenie z temperatury walcowania wg wariantu L	Perlit drobnopłytkowy
2	Wyżarzanie sferoidyzujące liczba cykli - 3	Płytki cementytu z narostami i przewężeniami
3	Wyżarzanie sferoidyzjące liczba cykli - 3	Cementyt sfragmentowany przez przewężenie
4	Udarowe wyżarzanie sferoidyzujące liczba cykli - 1	Sfragmentowane płytki cementytu miejscami o kształcie rombu
5	Udarowe wyżarzanie sferoidyzujące liczba cykli - 3	Sfragmentowany oraz częściowo skoagulowany cementy w osnowie ferrytu o zróżnicowanej gęstości dyslokacji
6	Udarowe wyżarzanie sferoidyzujące liczba cykli - 10	Węgliki sferoidalne w osnowie ferrytu o zróżnicowanej gęstości dyslokacji



Rys. 8



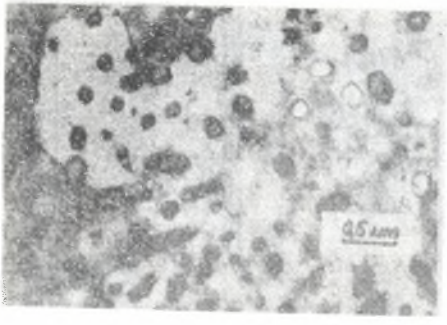
Rys. 9



Rys. 10

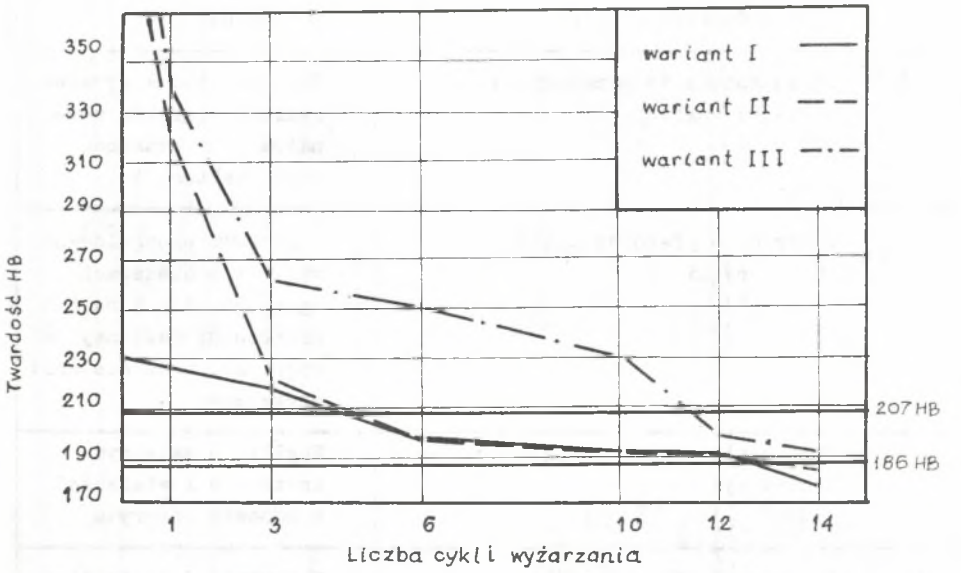
Rys. 11

Rys. 12



Rys. 13

Nr rys.	Obróbka cieplna	Struktura
8	Chłodzenie z temperatury walcowania wg wariantu II	Igły bainitu z wydzieleniami węglików wewnątrz i na granicach ziarn martenzytu
9	Wyżarzanie sferoidyzujące liczba cykli -1	Częściowo skoagulowane węgliki w obszarach igieł bainitu i na ich granicach; martenzyt z węglikami oraz austenit szczątkowy
10	Wyżarzanie sferoidyzujące Liczba cykli - 3	Węgliki o zmiennym kształcie i wielkości w osnowie ferrytu
11	Wyżarzanie sferoidyzujące liczba cykli - 10	W osnowie ferrytu ziarniste węgliki
12	Chłodzenie z temperatury walcowania wg wariantu III	Martenzyt z austenitem szczątkowym
13	Wyżarzanie sferoidyzujące liczba cykli - 10	W osnowie ferrytu o niewielkiej ilości dyslokacji skoagulowany cementyt



Rys. 7. Zależność twardości od liczby cykli wyżarzania dla trzech struktur wyjściowych: perlitycznej - wariant I, bainityczno-martenzytycznej - wariant II i martenzytycznej - wariant III

czątkowanie procesów wydzielenia węglików. Zjawiskom tym towarzyszy obniżenie twardości stali do ok. 320 HB. Po 3 cyklach wyżarzania stal osiąga strukturę ferrytu zrekrystalizowanego ze znaczną ilością węglików skoagulowanych. Miejscami występują jeszcze węgliki płytkowe (rys. 10). Stal w tym stanie posiada twardość ok. 220 HB. Dalszy wzrost liczby cykli prowadzi do zakończenia procesów koagulacji węglików, przy jednoczesnej fragmentacji węglików płytkowych (rys. 10). Po 10 cyklach wyżarzania ziarna cementytu osiągają wielkość 4/2 wg PN (rys. 11) przy twardości stali ok. 190 HB.

Struktura martenzytyczna (rys. 12) o twardości ok. 55 HRC uzyskana w w wyniku chłodzenia stali wg wariantu III doznaje rozpadu już w pierwszym cyklu nagrzewania. Z przesyconego roztworu wydzielają się węgliki przy jednoczesnej rekrystalizacji osnowy oraz przemianie austenitu szczątkowego. Powoduje to obniżenie twardości stali do ok. 340 HB. Zwiększenie liczby cykli powoduje wzrost wydzieleń cementytu i dalsze obniżenie twardości stali. Po 10 cyklach nagrzewania stal osiąga strukturę ferrytu z węglikami ziarnistymi (rys. 13) i twardość ok. 230 HB. Wymaganą przez PN strukturę i twardość uzyskuje stal dopiero po 12 cyklach wyżarzania tj. po czasie ok. 30 minut.

Przeprowadzone badania nad intensyfikacją wyżarzania sferoidyzującego stali ŁH 15 wykazały, że decydujący wpływ na sferoidyzację przy cyklicznym nagrzewaniu ma struktura wyjściowa i liczba cykli wyżarzania. Najkorzystniejszymi strukturami wyjściowymi, pozwalającymi na znaczne skrócenie czasu obróbki są struktury perlityczne oraz bainityczno-martenzytyczna. Opracowana technologia przyspiesza wydatnie procesy sferoidyzacji stali łożyskowej w porównaniu z równoważnym procesem konwencjonalnym.

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono:

Cykliczne wyżarzanie przyspieszone realizowane przy nagrzewaniu indukcyjnym jest efektywną metodą sferoidyzacji stali łożyskowej ŁH 15, umożliwiającą wybitne skrócenie czasu zabiegu, przez dobór odpowiedniej struktury wyjściowej oraz liczby cykli wyżarzania. Proces sferoidyzacji węglików przebiega najbardziej intensywnie w pierwszych cyklach nagrzewania; w dalszych cyklach następuje dyfuzyjny wzrost wydzieleń.

Głównymi zaletami cyklicznego wyżarzania sferoidyzującego przy nagrzewaniu indukcyjnym są: duża szybkość procesu (max. 30 minut) oraz dobra jakość struktury z równomiernie rozłożonymi węglikami ziarnistymi.

LITERATURA

[1] K.M. Bedula, R.W. Heckel: Met. Trans. 1, 1970, 9.
[2] R.W. Heckel. P.L. de Gregorio: Trans. AIME. 1965, 233.
[3] H. Paqueton, A. Pineau: J. of The Iron and steel Inst. 10,1971,991.
[4] A.A. Baranow: Izwest. A.N. ZSSR, 1969, 104.
[5] G. Tomas: Transmission Elektron Microscopy of Metals, John Wiley,New York, London, 1962.
[6] W. Luty: Stale łożyskowe, WNT, Warszawa, 1972.
[7] L. Jack i inni: Iron and Steel Institute, 10, 1964, 804.
[8] Ł. Cieślak: Zesz. Nauk. Pol. Śl.: Mechanika 28, Gliwice 1967.
[9] J.N. Kidin: Fiziczeskije osnowy elektrotermiczeskoj obrabotki mietałłow i spławow, Mietałłurgija. Moskwa 1969.
[10] Mikrostruktura stalowych wyrobów hutniczych - PN-66/M-04505.
[11] Stale na łożyska toczne - PN-67/M-84041.
[12] M. Biełous i inni: Prewaraszczenija pri otpuskie stali, Mietałłurgija, Moskwa, 1973.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СФЕРОИДИЗАЦИИ
ШАРИКОПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ ТИПА ШХ15

Р е з ю м е

В работе определено параметры индикационного сфероидизирующего отжига шарикоподшипниковой стали типа ШХ15. Изучено влияние структуры исходной на интенсификацию процесса сфероидизации при индукционным терноциклированию. Представлено, что в области исследованых структур найбыстрее происходит процесс сфероидизации в перлите, а о ее успехе решают первые этапы нагрева.

ACCELERATION OF SPHEROIDIZATION THE BEARING STEEL
TYPE ŁH 15

S u m m a r y

In this paper the parameters of the rapid induction anealing of the bearing steel type ŁH 15 have been determined. Influence of the initial structure for acceleration of spheroidization by cyclic induction heating have been investigated. It has been found that among the investigated structures the best structure for spheroidization is pearlite, and the process acceleration is due to the first cycles of heating.