ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1971

Seria: MECHANIKA z. 45 Nr kol. 306

ŁUCJA CIEŚLAK, ANDRZEJ MAJEWSKI
Katedra Metaloznawstwa

NORMALIZOWANIE UDAROWE STALI WĘGLOWYCH

Streszczenie. W pracy podjęto próbę przeprowadzenia wyżarzania normalizującego drutu ze stali węglowych metodą ciągłą, wykorzystując nagrzewanie udarowe sposobem indukcyjnym w zakresie temperatur 700-1100°C.

Wpływ nagrzewania udarowego na własności stali badano za pomocą prób wytrzymałościowych i technologicznych oraz badań metalograficznych. Stwierdzono, że własności mechaniczne badanych stali wzrosły w porównaniu z własnościami po normalizowaniu sposobem konwencjonalnym o kilkanaście procent.

1. Wstęp

Normalizowanie jest zabiegiem obróbki cieplnej zapewniającym drobnoziarnistą strukturę stali o wysokich własnościach wytrzymałościowych.

Wyżarzanie normalizujące konwencjonalne polega na nagrzaniu i wygrzaniu stali w temperaturach o 30-50°C wyższych od Ac_3-Acm z następnym chłodzeniem na powietrzu. Zabieg ten realizowany jest najczęściej przy maksymalnych szybkościach nagrzewania rzędu kilkudziesięciu °C/sek. Przekroczenie właściwego zakresu temperatury normalizacji, szczególnie dla stali eutektoidalnej, powoduje niekorzystny rozrost ziarn.

W pracy przeprowadzono badania nad możliwością zastosowania do normalizowania stali nagrzewania udarowego z szybkościami powyżej 500°C/sek metodą indukcyjną, co nie było dotychczas stosowane do celów normalizowania.

Zalety nagrzewania udarowego są szczególnie korzystne dla zabiegu normalizowania. Duże szybkości nagrzewania wpływają na znaczne przesunięcie linii przemian A_1 i A_3 do wyższych temperatur i przyspieszają procesy dyfuzyjne (5). Przemiany fazowe zachodzą w tych warunkach w określonym zakresie temperatur, zależnym od szybkości nagrzewania. W stalach podeutektoidalnych przemiana perlitu w austenit może zachodzić równocześnie z przemianą ferrytu, gdyż dostarczona udarowo duża ilość energii cieplnej zapewnia stały, ciągły wzrost temperatury, umożliwiający osiągnięcie i przekroczenie temperatury przemiany ferrytu nim zakończy się przemiana perlitu (2).

Udarowe nagrzewanie stwarza więc optymalne warunki powstawania dużej ilości zarodków ziarn austenitu przy równoczesnym zahamowaniu szybkości ich wzrostu, ze względu na bardzo krótkie czasy zabiegu. Przesłanki te za-

decydowały o podjęciu badań w tym zakresie dla stali konstrukcyjnych węglowych.

2. Badania własne

2.1. Materiał do badań i obróbka cieplna próbek

Badania przeprowadzono na drutach o średnicy 1,2 mm ze stali St1, D45A, D85A oraz N10E o składzie chemicznym podanym w tablicy 1.

Tablica 1

Skład chemiczny badanych stali

Gatunek	Zawartości procentowe							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
St1	0,09	0,43	0,00	0,015	0,026	–	–	–
D45A	0,42	0,55	0,18	0,030	0,040	0,15	0,1	0,1
D85A	0,83	0,50	0,14	0,020	0,015	0,06	0,1	0,1
N10E	0,98	0,22	0,20	0,030	0,020	0,15	0,2	0,2

Drut poddano następującej obróbce wstępnej:

- patentowaniu z 850°C w kąpieli ołowiowej o temperaturze 560°C z następnym przeciąganiem na zimno z 50%-owym stopniem zgniotu,
- wyżarzaniu w temperaturze 1300°C w kąpieli solnej $BaCl_2$ w czasie ok. 10 min.

Próbki obrobione wstępnie nagrzewano udarowo metodą indukcyjną, stosując stałą częstotliwość pola elektromagnetycznego ok. 60 kHz. Drut przeciągano przez dwuzwojowy wzbudnik o długości 27 mm, zamontowany na piecu indukcyjnym typu ŁGZ67 produkcji "Test elektropiecz" ZSRR o mocy wyjściowej 60 kW. Nie stosowano wygrzewania w temperaturze wyżarzania. Temperaturę drutu mierzono pirometrem z dokładnością ± 20°C. Chłodzenie próbek prowadzono w powietrzu.

Parametry nagrzewania udarowego zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Parametry udarowego nagrzewania próbek

Gatunek stali	Temperatura wyżarzania °C	Szybkość nagrzewania °C/sek	Gatunek stali	Temperatura wyżarzania °C	Szybkość nagrzewania °C/sek
St1	800	1000	D85A	800	1000
	900	1000		900	1000
	960	1000		960	1000
	1000	1000		1050	1000
D45A	700	1000	N10E	800	1000
	800	1000		900	1000
	920	1000		960	1000
	1000	1000		1050	1000
				1100	1000

2.2. Przebieg badań

Wpływ udarowego nagrzewania na własności mechaniczne drutu normalizowanego określono metodami pomiaru twardości, prób rozciągania i skręcania oraz badań metalograficznych.

Twardości mierzono twardościomierzami firmy Hauser metodą Veckersa przy obciążeniu 5 kG.

Próby rozciągania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej firmy Amsler.

Pomiar ilości skręceń wykonano na skręcarce pionowej firmy Amsler. Badania metalograficzne przeprowadzono na mikroskopie optycznym.

Wyniki badań i dyskusja

Wyniki pomiarów twardości, wytrzymałości na rozciąganie i liczby skręceń zestawiono na rys. 1-4, natomiast wyniki badań metalograficznych na rys. 5-12.

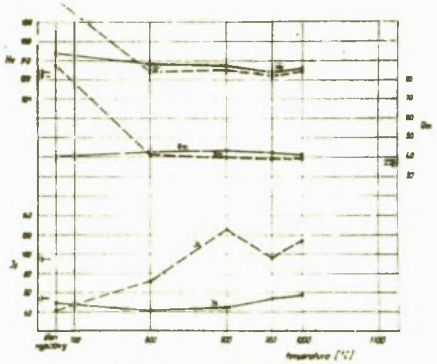
Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wszystkie badane stale można wyżarzać normalizująco metodą udarową, przy czym najkorzystniejsza temperatura tego zabiegu, zależnie od gatunku stali jest znacznie wyższa od konwencjonalnej temperatury normalizacji i obejmuje zakres powyżej 1000°C.

Własności drutów normalizowanych tą metodą są wyższe w porównaniu ze stanem normalizowanym konwencjonalnie o około:

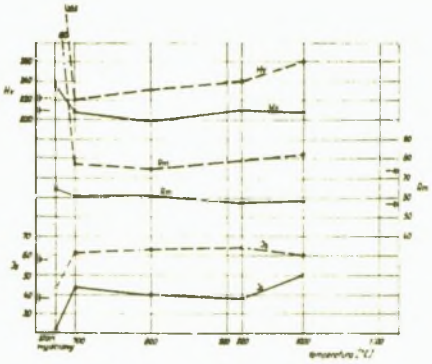
- wytrzymałość na rozciąganie do 15%
- twardość do 10%
- ilość skręceń do 20%

przy wielkości powierzchni ziarn kilkadziesiąt razy mniejszej (rys. 6, 9, 12).

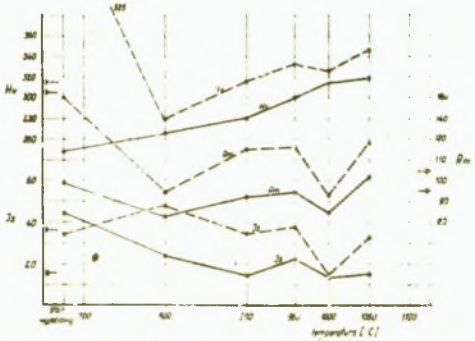
Zjawiska zachodzące przed przemianą austenityczną zależne są od zawartości procentowej węgla i stanu wyjściowego stali. Dla stali St1 temperatura początku przemiany wynosi ok. 900°C, zaś poniżej tej temperatury w próbkach uprzednio odkształconych na zimno zachodzi rekrystalizacja. W temperaturze 960°C około 50% objętości stali ulega przemianie w austenit, a dopiero po nagrzaniu udarowym do 1000°C zachodzi całkowite przekrystalizowanie, przy czym po ochłodzeniu w powietrzu stal osiąga wielkość ziarna Nr 7 wg ASTM (przy ziarnie wyjściowym Nr 2 wg ASTM). Dla stali D45A przemiana w austenit przy nagrzewaniu udarowym rozpoczyna się w temperaturze ok. 800°C. Dla stali D65A i N10E pełna austenityzacja zachodzi w temperaturze ok. 900°C. Poniżej tych temperatur zachodzą: rekrystalizacja ferrytu oraz zjawiska sferoidyzacji cementytu (rys. 11). Struktura wykazuje dużą dyspersję, co wpływa na wzrost własności. Odkształcenie przed nagrzewaniem przyspiesza koagulację cementytu.



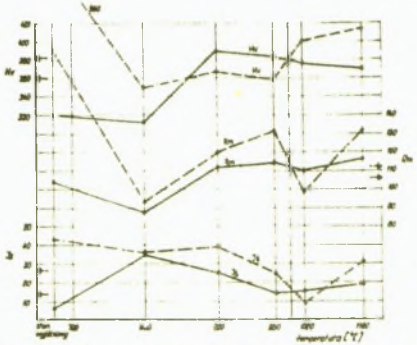
Rys. 1. Zależność wytrzymałości na rozciąganie, twardości i ilości skręceń od temperatury wyżarzania udarowego dla stali St1
—— własności próbek wstępnie przegrzanych
--- własności próbek wstępnie patentowanych
⟵ własności po normalizowaniu konwencjonalnym



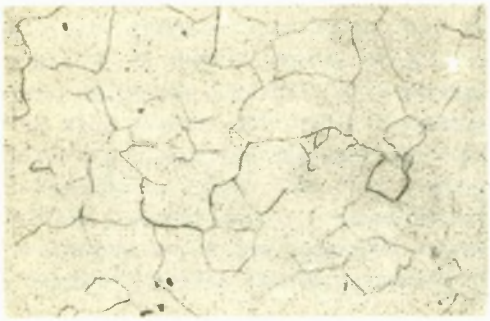
Rys. 2. Zależność wytrzymałości na rozciąganie, twardości i ilości skręceń od temperatury wyżarzania udarowego dla stali D45A
—— własności próbek wstępnie przegrzanych
--- własności próbek wstępnie patentowanych
⟵ własności po normalizowaniu konwencjonalnym



Rys. 3. Zależność wytrzymałości na rozciąganie, twardości i ilości skręceń od temperatury wyżarzania udarowego dla stali D65A
—— własności próbek wstępnie przegrzanych
--- własności próbek wstępnie patentowanych
⟵ własności po normalizowaniu konwencjonalnym



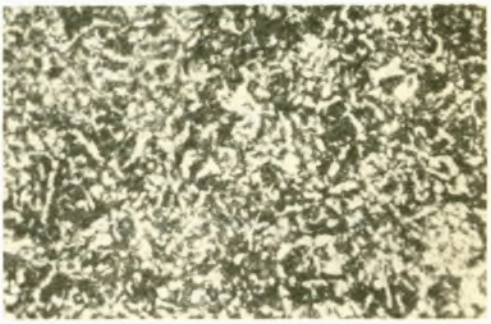
Rys. 4. Zależność wytrzymałości na rozciąganie, twardości i ilości skręceń od temperatury wyżarzania udarowego dla stali N10E
—— własności próbek wstępnie przegrzanych
--- własności próbek wstępnie patentowanych
⟵ własności po normalizowaniu konwencjonalnym



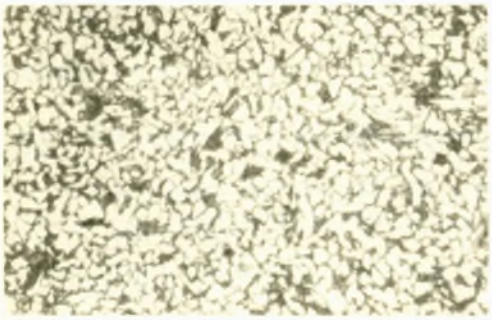
Rys. 5

Rys. 6

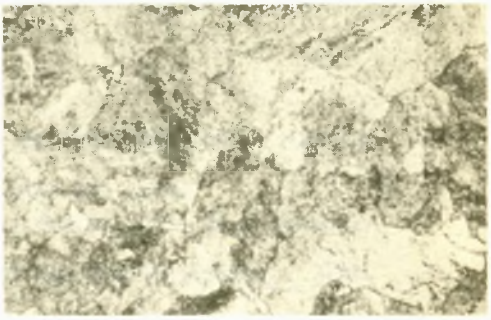
Rys. 7



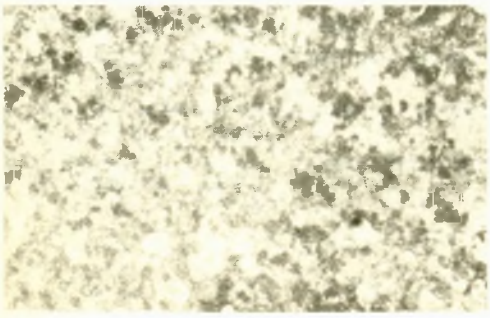
Rys. 8



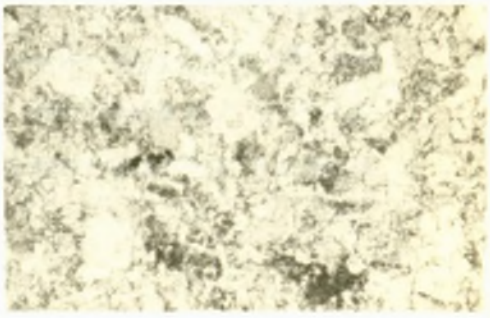
Rys. 9



Rys. 10



Rys. 11



Rys. 12

Nr rys.	Gatunek stali	Obróbka cieplna a) temperatura b) szybkość nagrzewania	Opis struktury	Powiększenie
5	St1	a) 1300°C/10 min. b) konwencjonalnie	Struktura stali po przegrzaniu: ferryt o wielkości ziarn Nr 2 wg ASTN	100 x
6	St1	a) 1000°C b) 1000°C/sek.	Struktura stali po normalizowaniu udarowym: ferryt o wielkości ziarn Nr 7 wg ASTM	100 x
7	D45A	a) 1300°C/10 min. b) konwencjonalnie	Struktura stali po przegrzaniu: ferryt i perlit w układzie widmanstetena.	100 x
8	D45A	a) 700°C b) 1000°C/sek.	Struktura stali normalizowanej udarowo: ferryt i perlit z częściowo skoagulowanym cementytem.	500 x
9	D45A	a) 1000°C b) 1000°C/sek.	Struktura stali normalizowanej udarowo: drobnoziarnisty ferryt z perlitem o wielkości ziarn Nr 9 wg ASTM	500 x
10	D85A	a) 1300°C/10 min. b) konwencjonalnie	Struktura stali po przegrzaniu: perlit gruboziarnisty.	500 x
11	D85A	a) 800°C b) 1000°C/sek.	Struktura stali normalizowanej udarowo: drobnoziarnista struktura z cementytem sferoidalnym.	500 x
12	N10E	a) 1100°C b) 1000°C/sek.	Struktura stali normalizowanej udarowo: perlit ścisły.	500 x

Całkowite rozpuszczenie cementytu w austenicie następuje dopiero w temperaturze około 1000°C. Bardzo krótkie czasy zabiegu nie pozwalają jednak na ujednorodnienie austenitu przy nagrzewaniu do temperatur niższych od 1000°C, stąd podczas chłodzenia w spokojnym powietrzu z obszarów o dużym stężeniu węgla wydziela się cementyt wtórny na granicach pierwotnych ziarn austenitu. Zjawisko to daje w efekcie obniżenie własności wytrzymałościowych i plastycznych. W temperaturach wyższych od 1000°C w miarę ujednorodnienia austenitu własności mechaniczne stali polepszają się w wyniku powstania bardzo drobnoziarnistej struktury.

Wnioski

1. Normalizowanie udarowe stali węglowych może być realizowane metodą ciągłą, przez bezpośrednie nagrzewanie indukcyjne drutu z szybkościami około 1000°C/sek. do zakresu temperatur 1000 - 1100°C.
2. Własności mechaniczne i technologiczne stali węglowych po udarowym wyżarzaniu normalizującym są o kilkanaście procent wyższe w porównaniu z własnościami tych stali po normalizowaniu konwencjonalnym.
3. Podczas udarowego nagrzewania stali wysokowęglowych, przemianę w austenit poprzedza sferoidyzacja cementytu w perlicie.
4. Wyniki pracy wskazują na możliwość zastosowania normalizowania udarowego drutu w przemyśle.

LITERATURA

[1] Brian N.J.: Nagriew w elektriczeskim pole wysokoj czastoty, Maszgiz 1954.

[2] Cieślak Ł.: Zesz. Naukowe Pol. Śl., Mechanika 28, 1967.

[3] Cieślak Ł., Szewieczek D., Zwonek J.: Zesz. Naukowe Pol. Śl., Mechanika 23, 1967 s. 37.

[4] Kaczyński J., Prowans S.: Podstawy teoretyczne metaloznawstwa, WGH, Katowice 1961.

[5] Kidin J.N.: Fyzowyje priewraszczenija w stali pri indukcjonnom nagriewie, Trudy Institutu Metałłurgii im. A. Bajkowa, 1955.

[6] Kidin J.N.: Termiczeskaja obrabotka stali pri indukcjonnom nagriewie, Metałłurgizdat, Moskwa 1960.

[7] Knoch-Kaźmierczak H., Kaźmierczak J.: Hartowanie indukcyjne, WNT, Warszawa 1959.

[8] Łoziński M.G.: Ionierchnostnaja zakałka i indukcjonnyj nagriew stali, Maszgiz, Moskwa 1949.

[9] Simpson I.G.: Grzejniki indukcyjne - Projektowanie wzbudników i układów, WNT, Warszawa 1964.

СКОРОСТНАЯ НОРМАЛИЗАЦИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Р е з ю м е

Скоростная термическая обработка является одным из наиболее современных и экономических методов получения хороших свойств металлов.

В работе сделано пробы нормализации проволовки непрерывным методом используя скоростный нагрев индуктивным способом.

Сделано исследования на проволовках из углеродистых сталей, нагревая её индуктивным способом со скоростью приблизительно 100°C/сек в интервале температур 700-1100°C и следующим охлаждением на воздухе. Влияние скоростново нагрева на свойства стали исследовано при помощи технологических, механических и металлографических проб.

Константировано, что механические свойства исследованных сталей были большими-ряда несколько процент, чем свойства сталей после обычной нормализации.

IMPACT NORMALIZATION OF CARBON - STEEL

S u m m a r y

The paper deals with the investigations concerning to continious normalization of carbon - steel by means of induction heating. The test were performed on carbon - steel wires, which were inductionally heated up at a rate of about 1000°C/sek within a temperature range of 700 + 1100°C. After heating, wires were cooled down in still air, without soaking.

The effect of so called "impact heating" upon the properties of examined steels was investigated by means of mechanical tests as well as metallographic investigations. It has been found, that the mechanical properties of tested steels after impact normalization are greater by about several per cent if compared with these properties after the conventional normalization of steel.