

Sposób krótkotrwałej obróbki cieplnej stali umacnianej wydzieleniowo

Przedmiotem wynalazku jest sposób krótkotrwałej obróbki cieplnej stali umacnianej wydzieleniowo.

Stosowana obecnie finalna obróbka cieplna znanych gatunków stali stopowych wysokowytrzymałych umacnianych wydzieleniowo, kształtująca ich właściwości użytkowe, polega na wygrzewaniu (starzeniu) w temperaturze z typowego zakresu $T_o = 450 - 550^{\circ}\text{C}$ w czasie kilku godzin (t_o). W trakcie tej obróbki w przesyconej osnowie martenzytycznej lub ferrytycznej powstają wydzielenia faz (związków międzymetalicznych, metali, faz międzywęzłowych) zapewniające wysoką wytrzymałość, udarność oraz wymagane właściwości plastyczne. Przykładowymi stalami stopowymi, w których stosuje się do umocnienia nanocząstki faz międzymetalicznych (Ni_3Mo , FeMo), są gatunki stali typu „maraging”, takie jak 18Ni250, 18Ni300 i 18Ni350 zawierające 18% niklu i pierwiastki stopowe Co, Mo, Al i Ti. Uzyskiwana po standardowym starzeniu plastyczność nie zawsze zapewnia zadowalające właściwości użytkowe wyrobów o wysokiej wytrzymałości. Zastosowanie standardowych parametrów obróbki cieplnej prowadzi do wydzielenia cząstek umacniających głównie na dyslokacjach, co powoduje ich zakotwiczenie i obniżenie plastyczności stali.

Celem wynalazku jest poprawa właściwości plastycznych i jednocześnie uzyskanie wysokiej wytrzymałości stali umacnianej wydzieleniowo, w odniesieniu do wartości tych właściwości otrzymywanych po standardowej obróbce cieplnej.

Sposób według wynalazku polega na tym, że nagrzewanie prowadzi się z regulowaną szybkością w zakresie temperatury $T_w - T_s$ w piecu o temperaturze T_k , a następnie stosuje się wytrzymanie w temperaturze T_s w czasie t_s , po czym chłodzi się z regulowaną szybkością w zakresie temperatury $T_s - T_w$ w czasie t_c , przy czym temperatura obróbki cieplnej T_s zawiera się w przedziale od 530 do 600°C, a czas krótkotrwałego starzenia zawiera się w przedziale od 0 do 900 sekund, temperatura pieca w trakcie nagrzewania wynosi od 600 do 700°C, a sumaryczny czas przebywania stali w zakresie temperatury $T_w - T_s$ nie przekracza 600 sekund.

Nowość obróbki cieplnej będącej przedmiotem wynalazku polega na tym, że jest to krótkotrwałe starzenie w temperaturze wyższej od temperatury starzenia standardowego, z wymuszonym szybkim nagrzewaniem do temperatury obróbki i z szybkim wymuszonym chłodzeniem po krótkim regulowanym wytrzymaniu w temperaturze starzenia.

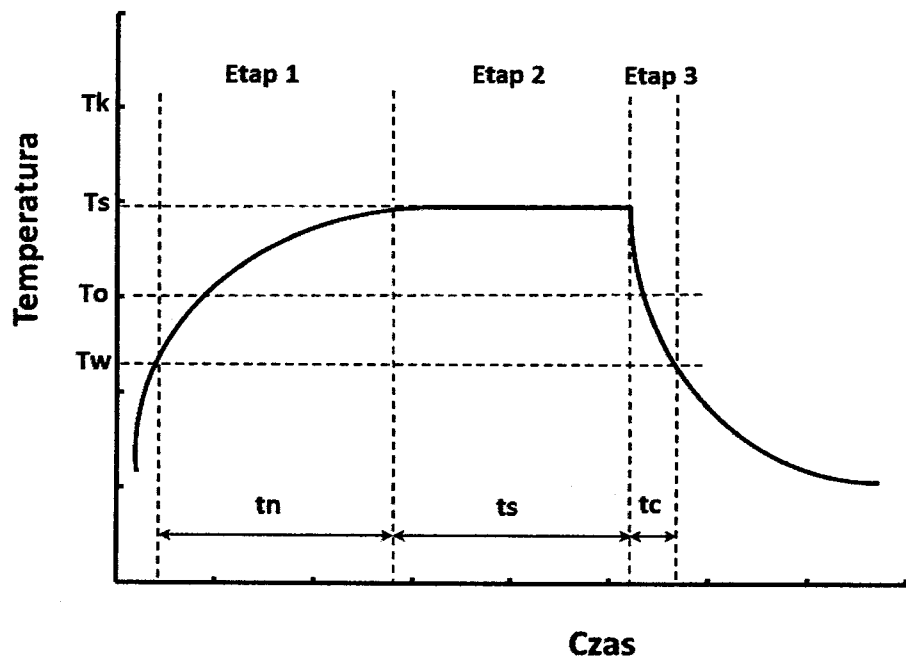
Krótkotrwałe starzenie składa się z trzech etapów, w trakcie których następuje proces umacniania w wyniku wydzielania nanocząstek i/lub powstawania nanostref segregacji pierwiastków. Poszczególne etapy przedstawiono schematycznie na wykresie.

Istotne charakterystyki etapów krótkotrwałego starzenia są następujące:

Etap 1. Nagrzewanie z regulowaną szybkością w zakresie temperatury $T_w - T_s$ w piecu o temperaturze T_k : $T_k = T_s + \Delta T$ (czas nagrzewania t_n).

Etap 2. Wytrzymanie w temperaturze T_s w czasie t_s w drugim piecu lub w innej strefie pieca grzewczego.

Etap 3. Chłodzenie z regulowaną szybkością w zakresie $T_s - T_w$ (czas chłodzenia t_c).



T_w – temperatura początku wydzielania

T_o – optymalna temperatura starzenia standardowego

T_s – temperatura starzenia krótkotrwałego ($T_s > T_o$)

t_s – czas starzenia krótkotrwałego

T_k – temperatura pieca lub strefy pieca w trakcie nagrzewania

t_n – czas nagrzewania w zakresie temperatury wydzielania $T_w - T_s$

t_c – czas chłodzenia w zakresie temperatury wydzielania $T_s - T_w$

t_w – całkowity czas wydzielania faz umacniających w zakresie temperatury $T_w - T_s$

t_o – czas starzenia standardowego.

Zastosowanie regulowanego nagrzewania i chłodzenia w przedziale temperatury $T_s - T_w$ pozwala na kontrolę czasu starzenia przed osiągnięciem temperatury T_s (czas t_n) oraz po zakończeniu obróbki cieplnej podczas stygnięcia (czas t_c). Całkowity czas procesu wydzielania faz umacniających t_w jest sumą czasów $t_n + t_s + t_c$. Dynamika i mechanizm starzenia są różne w fazie nagrzewania, fazie wygrzewania i fazie chłodzenia.

Regulowane nagrzewanie i chłodzenie polega na kontroli czasu przebywania materiału w zakresie pomiędzy temperaturą początku wydzielenia a temperaturą starzenia. Praktycznie można to zrealizować przez wzorcowy pomiar temperatury próbki testowej za pomocą termopar i wyznaczenie w ten sposób czasu do osiągnięcia temperatury starzenia podczas nagrzewania w piecu o temperaturze wyższej niż temperatura obróbki cieplnej.

Sposób krótkotrwałej obróbki cieplnej według wynalazku szczególnie nadaje się do gatunków stali „maraging” o podanym w poniższej tabelicy zakresie zawartości pierwiastków (% masowe).

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	Co	Ti	Cu	Al
max	max	max	max	max	max	4,0	16,0	8,0	0,7	max	max
0,015	0,08	0,08	0,01	0,01	0,10	6,0	20,0	14,0	1,8	0,10	0,03

Wartości parametrów krótkotrwałej obróbki cieplnej są następujące:

1. Temperatura starzenia krótkotrwałego T_s zawiera się w przedziale od 530°C do 600°C.
2. Czas starzenia krótkotrwałego t_s zawiera się w przedziale od 0 do 900 sekund.
3. Temperatura pieca w trakcie nagrzewania, zależna od grubości nagrzewanego elementu, $T_k = T_s + \Delta T$ wynosi od 600 do 700°C ($\Delta T = 50 - 150^\circ\text{C}$). Eksperymentalnie dla grubości próbki 10 mm wyznaczono czas nagrzewania do temperatury 550°C, który wynosił ok. 300 sekund i ok. 500 sekund dla temperatury pieca T_k odpowiednio 700°C i 600°C. Czas nagrzewania tego materiału dla temperatury pieca 550°C – równej docelowej temperaturze starzenia – wynosił ok. 1800 sekund. Parametry nagrzewania wsadu należy dobrać w zależności od wymiarów i masy wsadu w stosunku do mocy i wydajności pieca grzewczego.

4. Sumaryczny czas przebywania w zakresie temperatury $T_w - T_s$ (czas wydzielania przed osiągnięciem temperatury T_s i po zakończeniu wygrzewania w temperaturze T_s) nie powinien przekroczyć 600 sekund. Jest to suma czasów t_n i t_c . Podany czas sumaryczny w zakresie temperatury $T_w - T_s$ jest wynikiem zastosowanej szybkości nagrzewania wsadu powyżej 1°C/s i szybkości chłodzenia minimum 5°C/s . Chłodzenie elementu po zakończeniu starzenia może odbywać metodą natrysku wodnego lub przez zanurzenie w wodzie.
5. Temperatura pieca $T_k (T_s + \Delta T)$ jest dobierana z uwzględnieniem grubości ścianki elementu nagrzewanego. W opisywanym przypadku stosuje się ΔT w zakresie od 50 do 150°C , odpowiednio dla grubości od minimalnej do maksymalnej. Kontrolę temperatury w trakcie nagrzewania, wygrzewania i chłodzenia wykonuje się za pomocą termopar umieszczonych w środku grubości ścianki elementu testowego.
6. Maksymalna grubość elementów (grubość ścianki, grubość blachy) przeznaczonych do obróbki metodą starzenia krótkotrwałego wynosi 15 mm .

Zastosowanie odpowiednio dobranych do składu chemicznego stali „maraging” i grubości obrabianego elementu wartości parametrów starzenia krótkotrwałego skutkuje tym, że w przesyconym roztworze stałym o dużej gęstości dyslokacji następuje intensywne formowanie nanostref segregacyjnych (przedwydzielen) i nanowydzielen międzymetalicznych faz umacniających. Zastosowanie temperatury starzenia wyższej niż stosowana standardowo oraz krótszego czasu wygrzewania przyczynia się do powstania dużej liczby wydzielen o rozkładzie wielkości i ułamku objętości optymalnym z punktu widzenia uzyskania wysokiej wytrzymałości i jednocześnie zachowania wysokiej plastyczności. Krótkotrwałe starzenie stali typu maraging powoduje znaczny wzrost wytrzymałości i granicy plastyczności, przy jednoczesnym zachowaniu dobrej plastyczności,

w wyniku homogenicznego umocnienia osnowy nanocząstkami i/lub nanoobszarami segregacyjnymi (przedwydzieleniowymi), które nie blokują w istotny sposób dyslokacji istniejących w osnowie.

Zastosowanie krótkotrwałego starzenia do obróbki cieplnej wyrobów ze stali stopowej umacniającej wydzieleniowo typu maraging 18Ni350 przedstawia poniższy przykład.

Przykład

Przedstawiono wyniki badań stali maraging 18Ni350 o składzie chemicznym zamieszczonym w tabelicy .

C	Mn	Si	P	S	Ni	Co	Mo	Ti	Al_c
0,008	<0,05	<0,05	0,008	<0,01	18,1	12,8	4,2	1,8	0,02

Ze stali o podanym składzie chemicznym wykonano blachę w następujących warunkach:

- ujednorodnienie wlewka o wymiarach przekroju poprzecznego 60x150mm w temperaturze 1200°C w ciągu 24 godzin z następnym chłodzeniem w powietrzu,
- nagrzewanie do walcowania w temperaturze 1200°C w ciągu 30 minut,
- walcowanie na gorąco blach o grubości 5,0 mm z pasma pośredniego o grubości 18 mm, z następnym chłodzeniem w powietrzu,
- obróbka cieplna odcinków blach z zastosowaniem następujących parametrów:
 - przesycanie (austenitzowanie) w temperaturze 850°C w czasie 30 minut z następnym chłodzeniem w wodzie,
 - starzenie krótkotrwałe odcinków blach o grubości 5 mm w temperaturze $T_s=550^\circ\text{C}$, z zastosowaniem trzech następujących czasów starzenia: $t_{s1}=120\text{s}$, $t_{s2}=300\text{s}$ i $t_{s3}=600\text{s}$. Przy zastosowaniu temperatury $T_k=620^\circ\text{C}$ ($\Delta T=70^\circ\text{C}$), czas nagrzewania wyniósł $t_n=200$ sekund, a chłodzenie w wodzie po zakończeniu wygrzewania w temperaturze T_s zapewniło bardzo krótki czas $t_c < 10$ sekund.

Właściwości mechaniczne wyznaczone w statycznej próbie rozciągania oraz wyniki pomiarów twardości i udarności blach po zastosowanym starzeniu krótkotrwałym zestawiono w poniższej tabelicy.

Temperatura starzenia T_s / czas starzenia t_s	$R_{0,2}$ MPa	R_m MPa	A_5 %	Średnia twardość HRC	Udarność KV (+20°C) J/cm ²	Udarność KV (-40°C) J/cm ²
550°C/120 s	1935	2039	7,5	53	30	24
550°C/120 s	1918	2055	7,5	53	30	25
550°C/300 s	2083	2157	7,2	54	29	25
550°C/300 s	2095	2173	7,5	54	31	24
550°C/600 s	2082	2231	8,0	55	27	26
550°C/600 s	2167	2245	7,2	55	25	24

Próbki wytrzymałościowe płaskie wzdłużne wykonano z blach o grubości 5 mm.
Próbki udarnościowe wzdłużne wykonano z blach o grubości 10 mm.

W wyniku znacznego skrócenia całkowitego czasu obróbki cieplnej, przy zastosowaniu nieznacznie wyższej temperatury zmniejszeniu ulegną koszty wytwarzania stali, co wiąże się również z korzystnym oddziaływaniem na środowisko naturalne.

RZECZNIK PATENTOWY

mgr inż. Jeremi Marszałek
nr wisu 757

DYREKTOR INSTYTUTU

inż. Adam Schwedler