

Nawęglanie wysokotemperaturowe w piecu próżniowym

Nawęglanie próżniowe prowadzone przy obniżonym ciśnieniu atmosfery nawęglającej, nazywane nawęglaniem niskociśnieniowym, jest najnowocześniejszą i najczęściej stosowaną obecnie odmianą nawęglania gazowego. Proces nawęglania próżniowego niskociśnieniowego jest często stosowany, głównie ze względu na dużą wydajność, gdyż umożliwia uzyskanie wysokiego stężenia węgla, przyspieszając tym samym transfer węgla z czynnika nawęglającego do powierzchni nawęglanej.

Metoda ta skutecznie konkuruje z konwencjonalnym procesem nawęglania gazowego. Dotychczas procesy nawęglania były realizowane w temperaturze 900–950°C, w ostatnich latach dostrzeżono nowe trendy w metodologii obróbki cieplno-chemicznej, polegające na skróceniu czasu procesu poprzez podwyższenie temperatury nawęglania. Pozwala to na wzrost produktywności poprzez obniżenie kosztów obróbki cieplno-chemicznej. Podwyższenie temperatury nawęglania próżniowego nawet do 1100°C wiąże się ze wzrostem współczynnika dyfuzji węgla w głąb materiału. Tym samym sumaryczny czas procesu nawęglania może zostać skrócony w znaczący sposób, a to z kolei prowadzi do zwiększenia produktywności i obniżenia kosztów produkcyjnych. Wysokotemperaturowy proces nawęglania mimo wielu zalet może również cechować się niepożądanym rozrostem ziarn austenitu pierwotnego, co niekorzystanie wpływa na własności mechaniczne elementów konstrukcyjnych obrobionych cieplno-chemicznie, a następnie poddanych obróbce cieplnej.

Nawęglanie próżniowe wysokotemperaturowe może być realizowane między innymi w dwukomorowym piecu próżniowym z systemem nawęglania próżniowego CaseMaster Evolution D4 (CMe D4) firmy Seco/Warwick wyposażonym w oprogramowanie wspomagające SimCarb Plus®, które umożliwia symulację procesów nawęglania dla wsadów o określonych wymiarach geometrycznych i składzie chemicznym oraz pozwala na wykonanie szybkiej optymalizacji procesu nawęglania polegającej na wyznaczeniu odpowiednich czasów nawęglania i dyfuzji przy założonej grubości warstwy nawęglanej. Dwukomorowy piec próżniowy jest wyposażony w system bezpośredniego hartowania w oleju po wykonanej obróbce cieplno-chemicznej. Do nawęglania mogą być wykorzystywane trzy gazy: etylen, acetylen i wodór. Gazy nawęglające mogą być wykorzystywane razem w postaci mieszaniny gazów lub indywidualnie w zależności od potrzeb i ustawień własnych operatora pieca. System nawęglający jest wyposażony w automatyczny system mieszania gazów nawęglających o określonej przez użytkownika proporcji. Dwukomorowy piec próżniowy (rys. 1) jest urządzeniem energooszczędnym i przyjaznym środo-



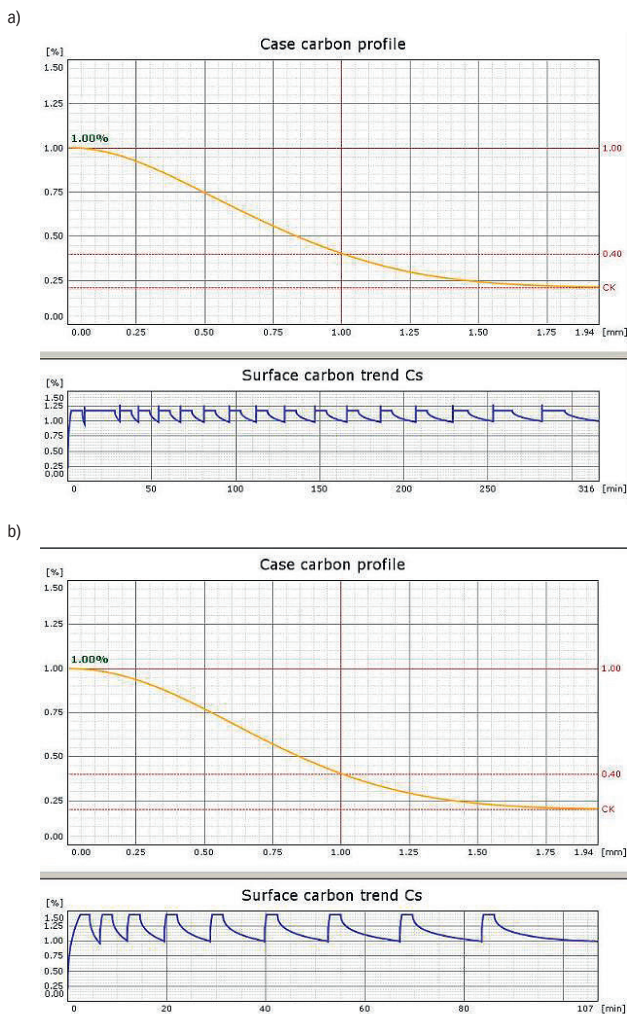
Rys. 1.

1. Dwukomorowy piec próżniowy z systemem hartowania w oleju oraz z systemem nawęglania próżniowego CaseMaster Evolution D4 (CMe D4) firmy Seco/Warwick

TEKST: DR INŻ. **Wojciech Borek**

Katedra Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych,
Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska

zdjęcia: autor



Rys. 2.

2. Wyniki symulacji procesu nawęglania: a) konwencjonalnego w temperaturze 930°C; b) wysokotemperaturowego w temperaturze 1020°C; otrzymane z oprogramowania SimVaC Plus®

zawisku poprzez zastosowanie systemu filtrów mających na celu zmniejszenie ilości uwalnianych do atmosfery zanieczyszczeń.

Wraz z rozwojem technologii pozwalającej na automatyczną realizację procesów nawęglania wysokotemperaturowego i następujących po nich procesów obróbki cieplnej dostrzeżono potrzebę rozwoju oprogramowania, które umożliwi optymalnie i skuteczne wykorzystanie możliwości ww. pieców hartowniczych. Oprogramowanie SimVaC Plus® jest integralną częścią oprogramowania FineCarb®, opracowaną przez Seco/Warwick S.A. w ramach współpracy z Politechniką Łódzką. Wyżej wymienione oprogramowanie umożliwia optymalizację procesów nawęglania próżniowego wraz z następującymi po nich procesami obróbki cieplnej bez konieczności wykonywania czasochłonnych, a przede wszystkim kosztownych testów. Program jest zaawansowanym narzędziem

symulacyjnym, w skład którego wchodzi dwa moduły: moduł nawęglania próżniowego SimCarb® oraz moduł hartowania SimHard®. Oprogramowanie to umożliwia wykonanie symulacji procesów nawęglania dla wsadu, biorąc pod uwagę do obliczeń takie parametry jak: gatunek stali, kształt i geometria obrabianych ciepło-chemicznie elementów konstrukcyjnych, a tym samym powierzchnia robocza wsadu. Te wszystkie parametry, które są bardzo istotne dla opisywanego procesu nawęglania, pozwalają na wykonanie szybkiej optymalizacji procesu obróbki cieplno-chemicznej polegającej na uzyskaniu właściwych czasów dyfuzji i nawęglania przy założonym stężeniu węgla na powierzchni, jak również grubość warstwy nawęglanej.

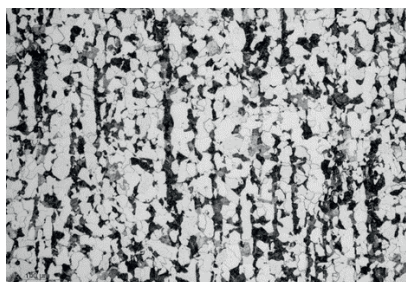
Porównanie procesów nawęglania próżniowego konwencjonalnego oraz wysokotemperaturowego dokonano na przykładzie stali stopowej konstrukcyjnej 18HGT do nawęglania, która jest powszechnie stosowana na części obciążone o dużej wytrzymałości rdzenia, na przykład koła zębate, wałki i inne. Skład chemiczny badanej stali przedstawiono w tab. 1.

Konwencjonalny proces nawęglania próżniowego dla stali 18HGT realizuje się w zakresie temperatury 880-950°C. Na potrzeby porównawcze niniejszych badań wybrano temperaturę nawęglania 930°C, natomiast proces nawęglania wysokotemperaturowego wykonano w temperaturze 1020°C. Pozostałe parametry dla obu procesów nawęglania ustalono takie same: powierzchniowe stężenie węgla – 1,0%; efektywne stężenie węgla – 0,4%; efektywna grubość warstwy nawęglanej – 1 mm. Optymalizację procesów nawęglania konwencjonalnego i wysokotemperaturowego dokonano przy wykorzystaniu oprogramowania SimVaC Plus®. Na podstawie opisanych założeń i parametrów procesów nawęglania dobrano czasy nawęglania i dyfuzji dla obu wyżej opisanych procesów, które przedstawiono na rys. 2.

Ze względu na różnicę temperatury pomiędzy pierwszym (930°C) a drugim (1020°C) procesem nawęglania liczba cykli nawęglania – dyfuzja różni się znacząco dla poszczególnych procesów. Dla procesu realizowanego w temperaturze 930°C łączna liczba cykli wynosi 36, a całkowity czas procesu wyniósł 5 h i 16 min, natomiast dla procesu realizowanego w temperaturze 1020°C licz-

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	W	V	Ti	Cu
0,17-0,23	0,80-1,10	0,17-0,37	Max 0,035	Max 0,035	1,00-1,30	Max 0,30	Max 0,20	Max 0,05	0,05-0,12	Max 0,30

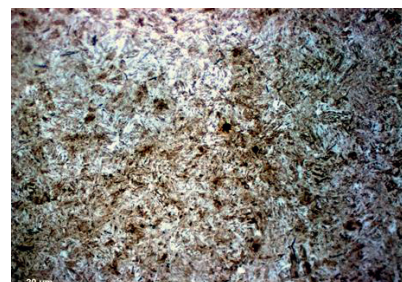
Tab. 1. Skład chemiczny stali 18HGT wg PN-EN ISO 683-2:2018-08, [%]



Rys. 3.



Rys. 4a.



Rys. 4b.

ba cykli wynosi 18, a całkowity czas procesu nawęglania uległ trzykrotnemu skróceniu do 1 h i 47 min. Próbkę ze stali 18HGT o powierzchni czynnej 1 m² poddano procesom nawęglania próżniowego w temperaturze 930°C oraz 1020°C. Następnie próbki z obu porównywanych procesów nawęglania poddano procesom obróbki cieplnej. Parametry dwuetapowego procesu hartowania z międzyetapowym wyżarzaniem oraz niskim odpuszczaniem po drugim hartowaniu dla obu badanych stali przedstawiono w tab. 2.

Próbki przed i po obróbce cieplno-chemicznej i cieplnej poddano szczegółowym badaniom metalograficznym z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego oraz badaniom rozkładu twardości na przekroju próbki. Badania mikrostrukturalne wykonano na mikroskopie świetlnym firmy ZEISS Axio Observer. Obserwację dokonano w polu jasnym. Natomiast badania rozkładu twardości metodą Vickersa wykonano na twardościomierzu FUTURE-TECH FM-700, a badania twardości metodą Rockwella wykonano na twardościomierzu Zwick ZHR 4150TK. Strukturę stali stopowej 18HGT w stanie wyjściowym

przedstawiono na rys. 3. Natomiast strukturę warstwy nawęglonej po obróbce cieplno-chemicznej i cieplnej dla obu porównywanych procesów przedstawiono na rys. 4.

W celu ujawnienia ziarn austenitu pierwotnego próbki po obróbce cieplno-chemicznej i cieplnej poddano trawieniu z wykorzystaniem kwasu pikrynowego. Wyniki badań metalograficznych przedstawiono na rys. 5. Na podstawie otrzymanych wyników badań metalograficznych oraz przeprowadzonej analizy obrazu stwierdzono, że średnia średnica ziarn austenitu pierwotnego dla stali 18HGT po procesie nawęglania w temperaturze 930°C wynosi około 10 μm, a dla próbki nawęglanej w temperaturze 1020°C około 12 μm. Na podstawie pomiarów twardości metodą Rockwella wykonanych w 10 miejscach pomiarowych stwierdzono, że twardość warstwy nawęglonej dla próbki ze stali 18HGT po procesie nawęglania w temperaturze 930°C wynosi 61,5 HRC ±0,8, natomiast dla próbki po procesie nawęglania w temperaturze 1020°C wynosi 61,0 HRC ±0,6, czyli różnice są nieznaczne – w przedziale błędów pomiarowego.

3. Struktura stali 18HGT w stanie wyjściowym; struktura ferrytyczno-perlityczna

4. Struktura martenzytyczna stali 18HGT po nawęglaniu w temperaturze: a) 930°C; b) 1020°C; i po obróbce cieplnej zgodnie z parametrami opisanymi w tab. 2

reklama



Garant

**NIEZAWODNE NARZĘDZIA.
TAKIE JAK TY.**

Inteligentne narzędzia systemowe zapewniające najwyższą niezawodność.

www.garant-tools.com




Hoffmann Group
Perschmann

Perschmann Sp. z o.o.
ul. Ostrowska 364
61-312 Poznań

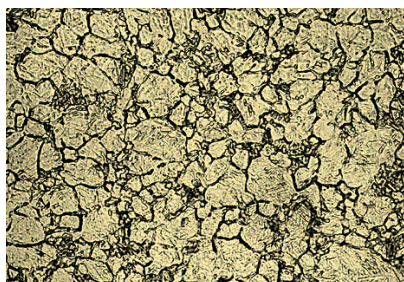
Tel. 061 630 95 00
Email: info@perschmann.pl
www.perschmann.pl

Metale & Nowe Technologie

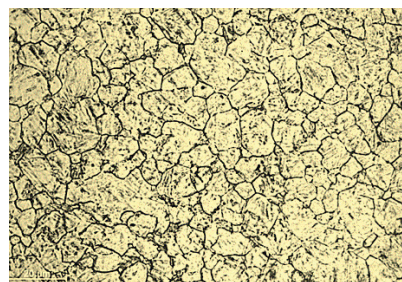
dlaProdukcji.pl

STAL

5. Struktura z ujawnionymi ziarnami austenitu pierwotnego stali 18HGT po nawęglaniu w temperaturze: a) 930°C; b) 1020°C; i po obróbce cieplnej zgodnie z parametrami opisanymi w tab. 2

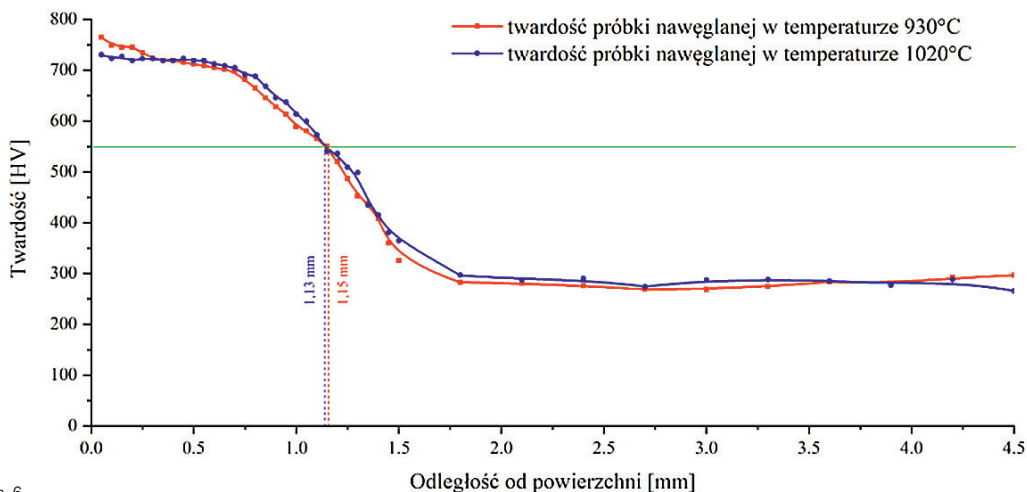


Rys. 5a.



Rys. 5b.

6. Rozkład liniowy twardości próbek ze stali 18HGT po nawęglaniu w temperaturze 930°C oraz 1020°C w funkcji odległości od powierzchni próbki



Rys. 6.

❖ Średnia wartość twardości stali 18HGT w stanie wyjściowym wynosiła 204 HV. W celu potwierdzenia grubości warstwy nawęglonej wykonano pomiar liniowy twardości od powierzchni w kierunku do rdzenia próbki z krokiem 0,05 mm.

Dla obu procesów nawęglania w temperaturze 930°C oraz 1020°C otrzymane wyniki liniowego rozkładu twardości przedstawiono na rys. 6. Linią zieloną zaznaczono twardość równą 550 HV, czyli wartości, dla której zgodnie z normą PN-EN ISO 2639:2005 określa się koniec warstwy nawęglonej. W założonej symulacji komputerowej z wykorzystaniem programu SimVaC Plus grubość warstwy nawęglonej dla obydwu procesów nawęglania miała wynosić 1 mm. Na podstawie otrzymanego liniowego rozkładu twardości stwierdzono, że grubość warstwy nawęglonej wynosi około 1,15 mm dla próbki nawęglanej w tempe-

ratyrze 930°C oraz 1,13 mm dla próbki nawęglanej w temperaturze 1020°C.

Na podstawie wykonanych badań strukturalnych stwierdzono, że otrzymane warstwy nawęglone w obydwu próbkach charakteryzują się strukturą drobnoiglastego martenzytu. Na podstawie wyników analizy obrazu stwierdzono, że wzrost temperatury nawęglania z 930°C do 1020°C nie spowodował gwałtownego wzrostu wielkości ziarn austenitu pierwotnego, a uzyskane różnice są w granicach błędów pomiarowych. Wzrost temperatury nawęglania dla stali stopowej 18HGT z 930°C do 1020°C nie spowodował zmian twardości warstwy nawęglonej, jak również liniowego rozkładu twardości od powierzchni w kierunku rdzenia. Zastosowanie wyższej temperatury nawęglania daje możliwość znaczącego skrócenia całkowitego czasu procesu, co przekłada się na zmniejszenie kosztów produkcyjnych, a tym samym na zwiększenie produktywności. □

Lp.	Etap obróbki cieplnej	Temperatura	Czas wygrzewania	Czas chłodzenia	Ośrodek chłodzący
1.	Hartowanie I	880°C	0 minut	10 minut	Olej hartowniczy (temp. 50°C)
2.	Wyżarzanie	680°C	5 minut	60 minut	Powietrze
3.	Hartowanie II	820°C	7,5 minuty	3 minuty	Olej hartowniczy (temp. 50°C)
4.	Odpuszczanie	180°C	120 minut	60 minut	Powietrze

Tab. 2. Parametry obróbki cieplnej przeprowadzonej po procesach nawęglania