

Stan i perspektywy hartowania gazowego na podstawie doświadczeń Seco/Warwick w obszarze obróbki cieplnej stali narzędziowych, HSLA oraz nawęglania próżniowego FineCarb[®]

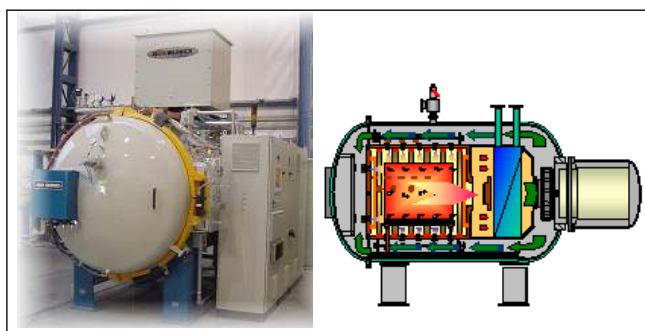
STRESZCZENIE

W ostatnim czasie nastąpił dynamiczny rozwój technologii obróbki cieplnej i ciepłno-chemicznej w piecach próżniowych z chłodzeniem w gazie obojętnym. Motorem tego zjawiska jest coraz większe zorientowanie użytkowników jak i producentów pieców na efektywność, energooszczędność i ekologiczność urządzeń oraz technologii, jednocześnie postrzegając jakość i niezawodność w sposób fundamentalny. W artykule omówione zostały cechy pieców próżniowych jedno i wielokomorowych z chłodzeniem gazowym oraz ich obszar zastosowania na podstawie wybranych gatunków stali narzędziowych (H13), stali HSLA oraz stali Mn-Cr-Ni nawęglanych próżniowo. Przedstawiono metody pomiaru parametrów chłodzenia gazowego, ich relacje oraz czynniki decydujące o intensywności. Zaprezentowano również nowe projekty rozwoju i przewidywane kierunki ekspansji pieców próżniowych z chłodzeniem gazowym.

PIECE JEDNO-, DWU- I WIELOKOMOROWE

Konstrukcje poziomych, pieców próżniowych Seco/Warwick występują w trzech podstawowych konfiguracjach: piece jednokomorowe, dwukomorowe i zestawy modułowe.

Piec jednokomorowy charakteryzuje się tym, że jedna komora pieca służy zarówno do grzania jak i do chłodzenia wsadu. Chłodzenie odbywa się w zamkniętym systemie cyrkulacji gazu, który napływa na wsad ze wszystkich stron dyszami, omywając go z dużą prędkością, odbiera ciepło i schładza, poczym przez luk tylny gaz zostaje wyprowadzony na chłodnicę wodną, gdzie ulega



Rys.1. Piec jednokomorowy oraz schemat działania gazowego systemu chłodzenia.

Fig.1. Single chamber furnace with gas cooling system operation.

ochłodzeniu i ponownie za pomocą wentylatora jest kierowany na dysze chłodzące (Rys.1).

Piec dwukomorowy ma wydzieloną komorę chłodzenia, do której wsad po grzaniu jest transportowany, a przepływ gazu chłodzącego występuje w układzie pionowym, dół-góra, góra-dół lub z napływem poziomym (Rys.2). Takie zróżnicowanie kierunku napływu gazu pozwala na optymalizację chłodzenia w zależności od rodzaju wsadu; czy są to wałki ustawione pionowo, czy koła zębate położone poziomo.

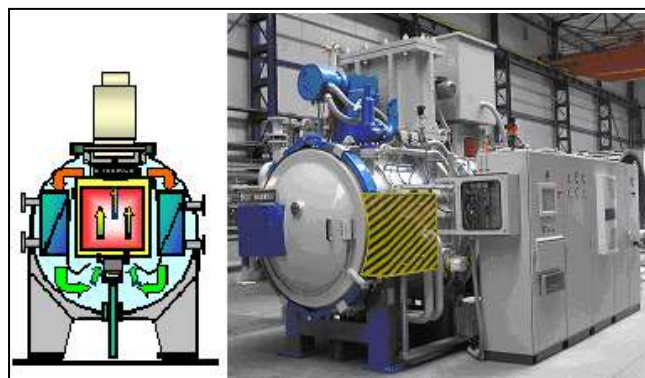
dr inż. Ryszard Gorockiewicz, Uniwersytet Zielonogórski
mgr inż. Maciej Korecki, Dyr. R&D, Seco/Warwick Polska
prof. P.P. Leszek Małdziński, Politechnika Poznańska
inż. Józef Olejnik, Główny Inżynier, Seco/Warwick Polska

State and perspectives of gas hardening on the base of Seco/Warwick experiences in the heat treatment of tool, HSLA and vacuum carburizing by FineCarb[®] steels.

ABSTRACT

In recent times there has been a dynamic growth in the technology of heat treatment and thermo-chemical treatment under vacuum. The driving force behind this phenomenon is that users and manufacturers are focusing more on the efficiency, energy saving capability and environmental acceptability of installations and technology whilst paying fundamental attention to quality and reliability. The article presents features of single and multichamber furnaces with gas cooling and their fields of application on the example of tool steels (H13), HSLA steels and Mn-Cr-Ni vacuum carburized steels. A new area of research and development for vacuum furnaces are indicated.

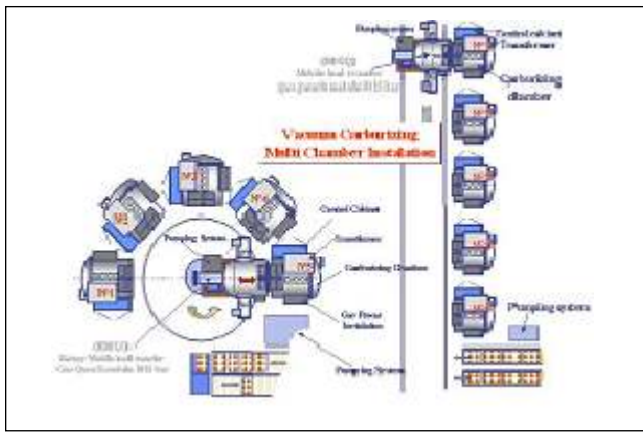
U podstaw powstania konstrukcji pieców z wydzieloną komorą leży oczywiście zwiększenie szybkości chłodzenia, które uzyskiwane jest poprzez zacieśnienie przestrzeni i ukierunkowanie gazu na przepływ przez wsad (w piecu jednokomorowym gaz może rozprasać się w znacznie większej objętości niż zajmuje wsad i uzyskuje mniejsze prędkości liniowe) oraz w wyniku chłodzenia tylko i wyłącznie wsadu, w przeciwieństwie do pieca jednokomorowego, gdzie dodatkowo chłodzona jest konstrukcja komory grzejnej o pojemności cieplnej czasami przekraczającej pojemność wsadu.



Rys.2. Dwukomorowy piec próżniowy ze schematem komory chłodzenia gazowego.

Fig.2. Double chamber furnace with gas cooling chamber operation.

Specjalnie dla przemysłu masowego do technologii nawęglania próżniowego opracowano koncepcję modułowej budowy pieców opartej na wydzielonej komorze z wysokociśnieniowym chłodzeniem gazowym, obsługującej kilka komór z nawęglaniem próżniowym w konfiguracji liniowej lub obrotowej (Rys.3, Rys.4.). W obu przypadkach komora chłodzenia gazowego realizuje dodatkowo funkcję transportu międzykomorowego oraz mechanizmu za- i wyładowczego. Konstrukcja ta niesie ze sobą zalety pieca dwukomorowego o bardzo wysokiej wydajności i elastyczności, pozwalając na równoczesne prowadzenie nawęglania zróżnicowanych serii detali o różnych grubościach warstwy i wielu technologiach. Możliwa jest ponadto łatwa adaptacja do chwilowej wielkości produkcji, jak również zapewnienie elastycznej obsługi i



Rys.3. Instalacja wielokomorowa w konfiguracji obrotowej oraz liniowej.

Fig. 3. Multi-chamber installations in rotary and linear configuration.

serwisu. Wyłączenie jednej (lub kilku) komory nawęglającej nadal umożliwia pracę na pozostałych i realizację zadań produkcyjnych (nie jest to możliwe w przypadku tradycyjnych pieców przepychowych).

Nadrzędny system sterowania automatycznie kieruje i optymalizuje pracę poszczególnych elementów linii oraz nadzoruje plany i realizację produkcji masowej, w długich i krótkich seriach, a nawet w rozróżnieniu do pojedynczego wsadu.

Konstrukcje modułowe mogą być montowane bezpośrednio na halach produkcyjnych i w liniach montażowych, nie wymagają specjalnych warunków do zabudowy i eksploatacji oraz są przyjazne dla otoczenia i środowiska naturalnego [2], [3].



Rys.4. Instalacja wielokomorowa -Traveller.
Fig.4. Multichamber installation -Traveller.

SKUTECZNOŚĆ CHŁODZENIA GAZOWEGO

Systemy chłodzenia charakteryzowane są różnymi wskaźnikami, które w sposób przybliżony opisują efektywność, czy skuteczność hartowania detali. Do najbardziej rozpowszechnionych należą:

1. Współczynnik Grossmanna $-H$ wiążący współczynnik przenoszenia ciepła i przewodność materiału chłodzonego, charakteryzujący szybkość chłodzenia ośrodków ciekłych np. dla stojącej wody $H=1 \text{ cm}^{-1}$. Z kolei typowe chłodzenie olejowe przyjmuje wartości od 0.3-0.4, a wysokociśnieniowe chłodzenie gazowe znajduje się na poziomie 0.1-0.2.
2. Średnica krytyczna D_{kr} – określająca maksymalną średnicę próbki walcowej wykonanej z danego gatunku stali, przy której system chłodzenia jest zdolny wytworzyć pożądaną strukturę o odpowiedniej zawartości martenzytu (zwykle 50%).
3. Szybkość chłodzenia detali v w $^{\circ}\text{C/s}$ ($^{\circ}\text{C/mn}$), zdeterminowane nie tylko systemem chłodzenia, ale i chłodzonym detalem.
4. Współczynnik λ określający czas chłodzenia detalu w setkach sekund od temperatury 800 do 500°C , jak powyżej zależny od efektywności systemu chłodzenia ale i od własności chłodzonej części.
5. Współczynnik przenoszenia ciepła α , najbardziej uniwersalny, odniesiony do systemu chłodzenia, określający zdolność odbioru ciepła przez medium chłodzące z jednostkowej powierzchni.

Wymienione współczynniki korespondują ze sobą, zwykle po uzupełnieniu o dodatkowe dane dotyczące chłodzonych detali (kształt, średnica, parametry cieplne, itp.), a ich powołanie ma na celu przewidywanie rezultatów hartowania (struktury) detali w danym systemie chłodzenia.

Standardowe piece próżniowe wyposażone w wysokociśnieniowy system chłodzenia gazowego zostały poddane badaniom w celu określenia niektórych wskaźników charakteryzujących efektywność chłodzenia.

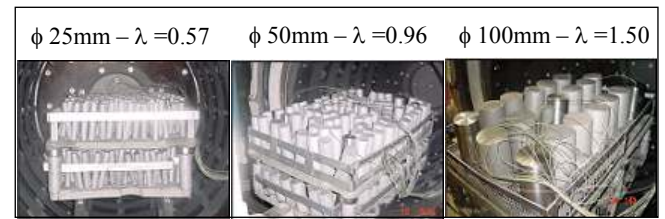


Fig. 5. Badanie szybkości chłodzenia na wsadzie prętowym o różnych średnicach.

Fig.5. Cooling rate test for different diameter bars.

Testy przeprowadzono na piecu Seco/Warwick, wielkości $600 \times 600 \times 900 \text{ mm}$ chłodzonym azotem 9 bar. Wsad stanowił gęsto upakowane pręty o masie netto 400 kg i średnicy odpowiednio 25, 50 i 100 mm (Rys.5.). Uzyskano następujące średnie szybkości chłodzenia rdzenia dla 10 prętów, zlokalizowanych na dwóch poziomach w narożnikach i środku przestrzeni roboczej, w temperaturze 700°C [4]:

- Dla pręta średnicy 25 mm – $v=5.7^{\circ}\text{C/s}$ i $\lambda=0.57$
- Dla pręta średnicy 50 mm – $v=3.3^{\circ}\text{C/s}$ i $\lambda=0.96$
- Dla pręta średnicy 100 mm – $v=2.0^{\circ}\text{C/s}$ i $\lambda=1.50$

Wsp. α umożliwia obiektywne porównanie pieców między sobą oraz jest jednym z elementów determinujących szybkość chłodzenia wsadu, obok jego geometrii i upakowania oraz temperatury medium chłodzącego. Pomiar wykonany sondą α (Rys.6.) na piecach Seco/Warwick wykazały co następuje [1]:

- Jednokomorowy piec z chłodzeniem w azocie pod ciśnieniem 14 bar, typ 15.0VPT-4022/24 o przestrzeni roboczej $400 \times 400 \times 600$ $\alpha = 600-700 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Jednokomorowy piec z chłodzeniem w azocie pod ciśnieniem 14 bar, typ 15.0VPT-4035/36 o przestrzeni roboczej $600 \times 600 \times 900$ $\alpha = 500-600 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Dwukomorowy piec z chłodzeniem w azocie pod ciśn. 19 bar, typ 20.0VPT-2-4035/36 o przestrzeni roboczej $600 \times 600 \times 900$ $\alpha = 800-1000 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Przeprowadzone następnie próby hartowania potwierdziły, że szybkość chłodzenia rzeczywistych wsadów jest mniejsza w piecach jednokomorowych, a porównywalna w dwukomorowych



Rys.6. Sonda α w piecu.
Fig.6. α probe in the furnace.

do prędkości warunkowanej

wsp. α (mierzonym w stanie zimnym). Potwierdzono bardzo dobrą równomierność chłodzenia w całej przestrzeni roboczej obu pieców, z tą prawidłowością, że piec jednokomorowy skuteczniej chłodzi zewnętrzny obszar wsadu (napływ gazu dyszami z zewnątrz), a dwukomorowy – wewnątrz (największe szybkości przepływu), co wynika z różnic

OBRÓBKA STALI DO PRACY NA GORĄCO

Dużym osiągnięciem pieców próżniowych jest opanowanie obróbki cieplnej matryc i wielkogabarytowych narzędzi wykonanych ze stali do pracy na gorąco, np.: H13. Szczegółowe wymagania zostały opracowane przez NADCA (North American Die Casting Association) w postaci dokumentu pod tytułem: „Recommended Procedures H13 Tool Steel” i są respektowane przez potentatów amerykańskiego i europejskiego przemysłu motoryzacyjnego.

Zalecenia dotyczą całego aspektu obróbki cieplnej, a większość jest osiągalna w typowych piecach próżniowych jednak szczególną uwagę należy skupić na równomierności i szybkości chłodzenia, które mają decydujący wpływ na deformacje, strukturę i własności eksploatacyjne matryc. Wg założeń, szybkość chłodzenia części od temperatury 1030°C do 540°C nie może być mniejsza od 28°C/min, co jest sprawdzane przy pomocy sześciennego bloku stalowego o boku 406 mm z termoparami umieszczonymi na ścianach, 16 mm pod powierzchnią (norma General Motors DC-9999/1).



Rys.7. Badanie szybkości chłodzenia bloku sześciennego w różnych piecach.

Fig.7. Cooling speed test of cubic block for different furnace sizes.

W Seco/Warwick przeprowadzono badania szybkości chłodzenia wsadów wg. specyfikacji NADCA na standardowych, poziomych piecach jednokomorowych o przestrzeniach roboczych: 600x600x900 mm, 900x800x1200 mm oraz 1000x1000x1500 mm przy chłodzeniu pod ciśnieniem 9 bar w azocie. Na zdjęciach obok (Rys.7.) przedstawiono poszczególne wielkości pieców z załadowanym, sześciennym blokiem testowym w czasie prób.

Otrzymane wyniki potwierdzają wysoką wydajność i równomierność chłodzenia dyszowego w piecach Seco/Warwick, są zdecydowanie lepsze od rezultatów uzyskanych na piecach z masowym przepływem gazu w układzie poziomym, pionowym lub rewersyjnym, a prędkości przedstawiają się następująco[5]:

- piec 600x600x900 - powyżej 80°C/min
- piec 900x800x1200 - 60-80°C/min
- piec 1000x1000x1500 - 40-60°C/min

Powyższe wyniki pozwoliły zatwierdzić standardowe piece Seco/Warwick do obróbki stali H13 wg GM/NADCA.



Rys.8. Matryce z H13 w jednokomorowym piecu próżniowym.

Fig.8. Dies of H13 in a single chamber vacuum furnace.

OBRÓBKA STALI HSLA

Badania porównawcze szybkości chłodzenia wykazały przewagę napływu dyszowego nad konstrukcjami z przepływem masowym w układzie poziomym, pionowym i rewersyjnym, które to cechują się niewielką prędkością przepływu gazu (kilka m/s) oraz tendencją spychania strumienia poza przestrzeń wsadu.

Poniżej przedstawiono możliwości dyszowego systemu chłodzenia na przykładach stali o małej hartowności jaką jest grupa HSLA[5]:

- Obróbka cieplna korpusów rozdzielaczy hydraulicznych z stali 4340 o wymiarach 220x140x65mm i masie 1 szt. ca 8 kg pokazanej na Rys.9., hartowanych w azocie przy ciśnieniu 9 bar w piecu Seco/Warwick 10VPT-4035/36 (600x600x900mm). Masa netto wsadu wynosiła ca. 400kg, po hartowaniu uzyskano 52/54 HRC, a po odpuszczaniu w temp. 450°C - 42/44HRC.



Rys. 9. Obróbka korpusów hydraulicznych 4340.

Fig.9 Hydraulic body of 4340

- Dla stali 4340 i 300M (np. w oparciu o wymagania BAC 5617) wymaga się czasu chłodzenia od temperatury austenitizacji do 250°C nie więcej niż 6 minut. Typowy wsad pieca 10VPT-

4050/48 (900x800x1200) przedstawia Rys. 10. Dla 1200 kg (960 szt.) korpusów pomp wtryskowych Diesla z mat. 4144M(wg AISI) o przekroju ca. 50mm; czas schłodzenia wsadu do 250°C wyniósł 5,5 minuty, uzyskano doskonale parametry wytrzymałościowe tj. 57 HRC po hartowaniu oraz bardzo dobrą statystyczną jednorodność twardości.



Rys. 10. Obróbka korpusów pomp paliwowych.

Fig.10. Fuel pumps body.

Dotychczas klient (grupa Bosch) obrabiał detale w piecu konkurencyjnej konstrukcji w wykonaniu 9 bar (także 900x800x1200) i dla takiego samego wsadu uzyskiwał 54-55 HRC i znacznie niższą jednorodność twardości w objętości wsadu.

- Kolejnym przykładem możliwości pieców Seco/Warwick jest hartowanie stali O1 wg AISI. W piecu typu 10VPT-4025/24 (600x400x600mm) przy ciśnieniu hartowania 9 bar uzyskano twardości powierzchniowe dla detali (tłoczniki) średnicy ϕ 50mm: 64-65 HRC.

OBRÓBKA STALI DO NAWĘGLANIA

Szczególnym wyzwaniem dla pieców próżniowych jest obróbka cieplno-chemiczna stali do nawęglania, tradycyjnie nawęglanych w atmosferze ENDO lub podobnych, a hartowanych w oleju. Ta grupa stali długo opierała się technice próżniowej ze względu na nierównowagowy charakter nawęglania próżniowego oraz szybkości chłodzenia gazowego dalekie od olejowych.

Ostatnie lata potwierdziły opanowanie procesu nawęglania próżniowego, jego bardzo dobre przyjęcie przez przemysł i coraz powszechniejsze stosowanie, co bezsprzecznie podniosło poprzeczkę dla systemów hartowni gazowej, gdyż tylko intensywność chłodzenia warunkuje całkowite przejęcie tej technologii przez piece próżniowe.

Zainteresowanie technologią nawęglania próżniowego okazują nie tylko użytkownicy i producenci urządzeń, również czołowi producenci stali, jak Carpenter Technology Co, Timken, Luchini, Ovako Steel, SKF Group, Buderus Edelstahl, itp. prowadzą badania nad stalami przeznaczonymi do hartowania gazowego, których efektem są funkcjonujące na rynku nowe stale, mogące zastąpić stale do nawęglania używane powszechnie w przemyśle samochodowym. Parametry twardości uzyskiwane na nowych materiałach w piecu próżniowym są porównywalne do hartowania olejowego, natomiast deformacje zdecydowanie mniejsze. Są to m.in.: Ovake 277, 23MnCrMo5, 27MnCr5, N360 XD15NW, X13VDW, EN360, N695, R250, R350, CBS600, Pyrowear53, Pyrowear675, CSB-50NIL, CSS-42L, Ferrum C61, itp. funkcjonujące na rynku europejskim i amerykańskim [6]. Seco/Warwick posiada własną technologię nawęglania próżniowego metodą FineCarb®, wspartą oprogramowaniem symulacyjnym SimVac®, stosowaną na skalę przemysłową, zapewniając powtarzalność procesów prowadzonych z niezwykle dużą dokładnością. Metoda ta i technologia od wielu lat jest rozwijana wspólnie z zespołem prof. P. Kuli z IIM Politechniki Łódzkiej. Na dzień dzisiejszy w przemyśle wielu krajów pracuje ponad 30 pieców i systemów do nawęglania metodą FineCarb®. Nawęglanie próżniowe niesie ze sobą zdecydowane zalety w porównaniu do nawęglania atmosferycznego [2]:

- skrócenia czasu procesu w wyniku wysokiej podaży węgla do powierzchni przy pomocy węglowodorów
- skrócenia czasu procesu w wyniku podniesienia temperatury ponad 1050°C i przyspieszenia dyfuzji
- równomierne nawęglanie nawet w wąskich, nieprzelotowych otworach
- mniejsza konsumpcja gazów technologicznych
- mniejsze zapotrzebowanie energetyczne
- bezpieczeństwo, atmosfera w piecu nie jest klasyfikowana jako palna i wybuchowa
- przyjazne dla środowiska naturalnego

wsparte dodatkowo chłodzeniem gazowym, czyli:

- mniejsze deformacje
- redukcja obróbki mechanicznej wykończeniowej
- eliminacja oleju, jego utylizacji i maszyn myjących

tworzy idealny zestaw, zdolny podjąć wyzwania jakie stawia urządzeniom nowoczesna technologia obróbki cieplnej. Na rys.11. przedstawiono porównanie między tradycyjną linią do nawęglania (nowoczesną), a piecem do nawęglania próżniowego z chłodzeniem gazowym o porównywalnej wydajności [7].



Rys.11. Tradycyjna linia do nawęglania (po lewej), a piec próżniowy (po prawej) .

Fig.11. Traditional carburizing line (left), via vacuum furnace (right).

W przypadku technologii ulepszania powierzchniowego w piecu próżniowym z gazowym chłodzeniem, realizacja samego procesu nawęglania nie pozostawia najmniejszych wątpliwości. Również twardość warstwy nawęglonej (powyżej 60 HRC) nie stanowi problemu. Jedynym parametrem krytycznym jest wymagana twardość rdzenia, ze względu na tradycyjnie używane stale o małej hartowności oraz chłodzenie w oleju. Poniżej przedstawione są przykłady obróbki stali nawęglanych próżniowo i hartowanych w azocie.

16MnCr5

Dla porównania wykonano procesy nawęglania próżniowego i hartowania na detalach średnicy 25 mm, ze stali 16MnCr5 w trzech różnych piecach: jedno i dwukomorowym z chłodzeniem gazowym oraz dwukomorowym z chłodzeniem olejowym. We wszystkich trzech przypadkach profil i twardość warstwy jest właściwa i bardzo podobna, różnica dotyczy twardości rdzenia pręta, która to wynosi odpowiednio [5]:

- piec jednokomorowy, azot 14 bar -265 HV (25 HRC)
- piec dwukomorowy, azot 19 bar -300 HV (30 HRC)
- piec dwukomorowy, hartowanie w oleju 310 HV (31 HRC)

W świetle normy DIN3990, powyższe wyniki mieszczą się w grupie jakości ML (>20 HRC) dla pieca jednokomorowego i MQ (>28 HRC) dla dwukomorowego. Należy tutaj dodać, że twardość rdzenia jest określona w różnych miejscach dla różnych detali, inaczej jest dla wałka, a inaczej dla koła zębatego, którą określa się u podstawy zęba, gdzie uzyskiwane twardości są zdecydowanie wyższe. W praktyce oznacza to, że w standardowych piecach próżniowych Seco/Warwick z chłodzeniem gazowym występują wystarczające warunki do hartowania nawęglonych kół i wałków układów napędowych o określonych wielkościach przekroju poprzecznego, np. przekładnie samochodów osobowych.

EN39B

W piecu 10.0VPT-4035/36N o przestrzeni roboczej 600x600x900 mm, obrabiane są dysze wtryskowe (200 kg netto) do silników wysokoprężnych z materiału EN39B (BS), Rys.12. W procesie nawęglania próżniowego w czasie 80 min, w temperaturze 900°C, uzyskiwana jest równomierna warstwa 0.45 mm (na powierzchni i w otworach), która w procesie chłodzenia w azocie pod ciśnieniem 9 bar uzyskuje twardość ponad 700 HV, podczas gdy rdzeń



Rys.12. Dysze wtrysku paliwa

Fig.12. Fuel injection nozzles

charakteryzuje się twardością ponad 400 HV. Roczny monitoring wykazał absolutną stabilność procesu i powtarzalność wyników [8].

Z doświadczeń Seco/Warwick wynika, że [6]:

- piece jednokomorowe VPT pozwalają hartować średnio i mocno upakowane wsady np. detali o średnicy 25mm z parametrem $\lambda_{800-500}$ 0,5 do 0,7 przy ciśnieniu 10 bar N_2 ,
- hartowanie w wydzielonej komorze chłodzenia (ColdKam) pozwala uzyskać $\lambda_{800-500}$ 0,3 do 0,4 przy ciśnieniu 15 bar N_2 ,
- w warunkach przemysłowych technologii nawęglania próżniowego mamy do czynienia z stalami o różnej hartowności, np. z stalami chromowo-manganowymi o niskiej hartowności typu 16MnCr5 czy 21NiCrMo2 (8620 SAE) lub stalami chromowo-niklowymi oraz chromowo-niklowo-molibdenowymi o podwyższonej hartowności typu 15CrNi6, czy 17CrNiMo6. Detale wykonane z tych stali hartowane w oleju hartowniczym ze współczynnikiem Grossmanna H 0,25 do 0,4 i dla większości stosowanych przekrojów uzyskują prawidłowe parametry utwardzenia warstwy i rdzenia. W przypadku hartowania gazowego osiągnięty jest współczynnik Grossmanna H=0,1-0,2. Oznacza to, że należy wziąć pod uwagę wielkość przekroju czynnego detali, szczególnie stali o niskiej hartowności. Przy niższym współczynniku Grossmanna H wystąpią także znacznie większe problemy z hartownością materiałów wykonanych w paśmie hartowności H (PN EN 10084). Z kolei w przypadku hartowania w gazie łatwiej jest hartować materiały o paśmie hartowności HH wg PN EN 10084. Stąd w metodzie hartowania gazowego podstawowe znaczenie ma gatunek i jakość materiału (H, HL czy HH).

WNIOSKI

Wykonane pomiary szybkości chłodzenia gazowego oraz próby technologiczne dla standardowych jedno i dwukomorowych pieców próżniowych potwierdzają ich przydatność w technologii hartowania gazowego. Wielkości wsp. α w azocie na poziomie 500-700 W/m²K dla pieca jednokomorowego i 700-1000 W/m²K - dwukomorowego są wystarczające do zastępowania hartowania olejowego w obróbce stali narzędziowych (np.:H13), stali HSLA oraz stali nawęglanych próżniowo.

Analiza czynników i zależności chłodzenia gazowego wskazuje na współczynnik przenoszenia ciepła α , jako element mający przewidywalny i bezpośredni wpływ na intensywność (szybkość) chłodzenia, i który należy brać pod uwagę przy nowych projektach. Aktualne plany badawcze i rozwojowe Seco/Warwick oprócz dalszych prób i doskonalenia pieców standardowych, obejmują budowę zimnej komory chłodzenia do pieców dwu i wielokomorowych, tzw. modułowych. W ramach obecnych doświadczeń, szczególnie wysiłek zostanie poniesiony na:

- zwiększenie ciśnienia gazu chłodzącego
- opracowanie wysokowydajnej chłodnicy wewnętrznej,
- opracowanie oprzyrządowania o minimalnym wpływie na proces chłodzenia wsadu.

Niezależnym i bardzo obiecującym projektem jest zastosowanie gazów lekkich (hel, wodór), które mogą zwiększyć dwukrotnie szybkość chłodzenia w porównaniu z azotem, lecz równocześnie prawie o rząd zmniejsza energochłonność silnika dmuchawy.

W świetle obecnego stanu techniki oraz kierunków badań i spodziewanego rozwoju pieców próżniowych z chłodzeniem gazowym należy stwierdzić, że obszar ich zastosowania będzie się intensywnie rozszerzał w miarę dalszego rozwoju chłodzenia gazowego, ze względu na ich energooszczędne i proekologiczne cechy, a nowe aplikacje w coraz większym zakresie będą opanowywać technologię nawęglania, kosztem pieców atmosferycznych z wanną olejową. Tendencje te potwierdza rok 2005, w którym Seco/Warwick zwiększyła o kilkadziesiąt procent sprzedaż wysokociśnieniowych pieców próżniowych, w dużej części wyposażonych w system nawęglania próżniowego.

Aby sprostać wymaganiom dotychczasowej i przyszłej technologii, efektywność chłodzenia gazowego powinna dorównywać chłodzeniu olejowemu, co w praktyce oznacza konieczność zdwojenia intensywności chłodzenia gazem do uzyskania α na poziomie 1500-2000 W/m²K.

LITERATURA

- [1] M.Korecki „Hartowanie gazowe w piecach próżniowych jedno i wielokomorowych –porównania ,możliwości i perspektywy” VIII Seminarium SWL/Elterma, 2004r.
- [2] Prof. P. Kula, dr R. Pietrasik, dr D. Siniarski, M. Korecki, „Flexible Vacuum Carburizing and Gas Quenching for Automotive Application”, 2nd International Conference HTSE, Riva del Garda, Italy, June 2005
- [3] J.Olejnik, “Vacuum furnaces with high pressure gas cooling”. Metalurgia 03.2002
- [4] M. Korecki, Niepublikowane wyniki badań pieca 10.0VPT-4035/36, z1.1378, lipiec 2003 r.
- [5] J. Olejnik, J. Kowalewski, “Precision cooling of vacuum heat treated hot work tool steels is critical” Industrial Heating 10/2004, p. 93-95
- [6] J.Olejnik* , dr D.Siniarski** , A.Wiechczyński* „FineCarb® - technologia nawęglania próżniowego Seco/Warwick”, Przegląd Mechaniczny 1/2006.
- [7] A. Adamek, M. Korecki, “ Flexibility and versatility of heat treatment under vacuum based on the SECO/WARWICK single-chamber vacuum furnace with high-pressure gas cooling (HPGQ)”, Furnace International, March/April 2005
- [8] A. Adamek “Practical aspects of vacuum carburizing”. Seminar SWL Multi-Chamber Vacuum Carburizing System 27.10.2005