

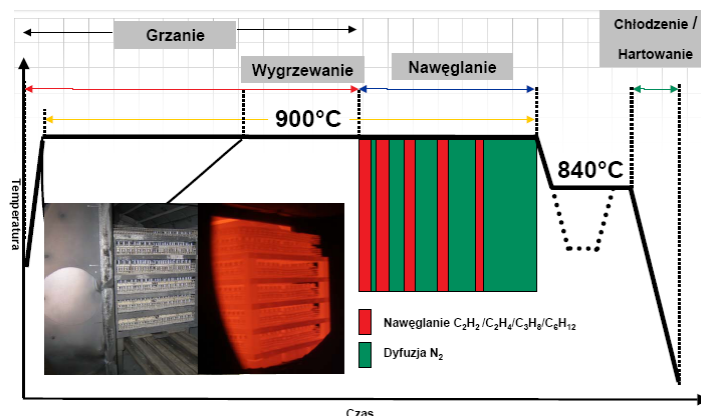
Nawęglanie niskociśnieniowe w komercyjnych hartowniach usługowych.

Bodycote Polska Sp. zo.o.

Podążając za wymaganiami i oczekiwaniami światowego przemysłu Bodycote Polska jako hartownia usługowa oferuje najnowsze technologie z zakresu inżynierii powierzchni. Jedną z nich jest nawęglanie niskociśnieniowe nazywane również nawęglaniem próżniowym. Krążąca w USA, na początku lat siedemdziesiątych, informacja (a właściwie fama) o niedoborze gazów naturalnych (gaz ziemny wykorzystywany w nawęglaniu gazowym) zintensyfikowała działania nad rozwojem nawęglania próżniowego. I choć pierwsze wdrożenia przemysłowe miały miejsce w połowie lat siedemdziesiątych [1] to dopiero ostatnie dwie dekady ugruntowały znaczenie i rolę technologii nawęglania próżniowego dla przemysłu światowego.

Nawęglanie próżniowe

Nawęglanie próżniowe (nazywane w skrócie LPC, od ang. Low Pressure Carburizing) to dyfuzyjne nasycenie powierzchniowej warstwy stali węglem otrzymanym w procesie dysocjacji termicznej węglowodorów (propan, acetylen, etylen). Proces pozwala uzyskać wysokie powierzchniowe stężenie węgla w austenicie kontrolowane przez fazy nasycania węglem i fazy dyfuzyjnego transportu nadmiaru węgla w głąb materiału [2]. Proces przebiega w niskiej próżni (5-20 mbar) w temperaturze (900-1050 °C). Chłodzenie (hartowanie) wsadu odbywa się w sprężonym gazie przy ciśnieniu do 30 bar (rys. 1). W przypadku elementów o większych gabarytach i materiałów o wąskim paśmie hartowności rozwiązaniem jest nawęglanie próżniowe z hartowaniem w wannie olejowej. Otrzymane w ten sposób warstwy cechuje brak utlenienia wewnętrznej, wyższe własności mechaniczne (wytrzymałość statyczna, zmęczeniowa) i trybologiczne (odporność na ścieranie, wysoka twardość powierzchniowa z zachowaniem ciągliwego, plastycznego rdzenia).



Rys. 1 Schemat procesu LPC

Dzięki sterowaniu szybkością chłodzenia w ośrodku gazowym otrzymujemy, w Bodycote Polska na naszych urządzeniach, mniejsze i powtarzalne odkształcenia odpowiednio do kształtu i gabarytu obrabianych detali. Procesy nawęglania próżniowego są dodatkowo wspomagane programami symulacyjnymi, których założenia co do przygotowania „receptury” są w relatywnie dobrej korelacji z wynikami otrzymanymi na obrobionych

detalach. Współczesne piece wykorzystywane w nawęglaniu próżniowym to w pełni zautomatyzowane urządzenia ściśle kontrolujące parametry procesu (rys. 2).



Rys. 2 Piec do nawęglania próżniowego w Bodycote Polska z możliwością rozbudowy o kolejne komory

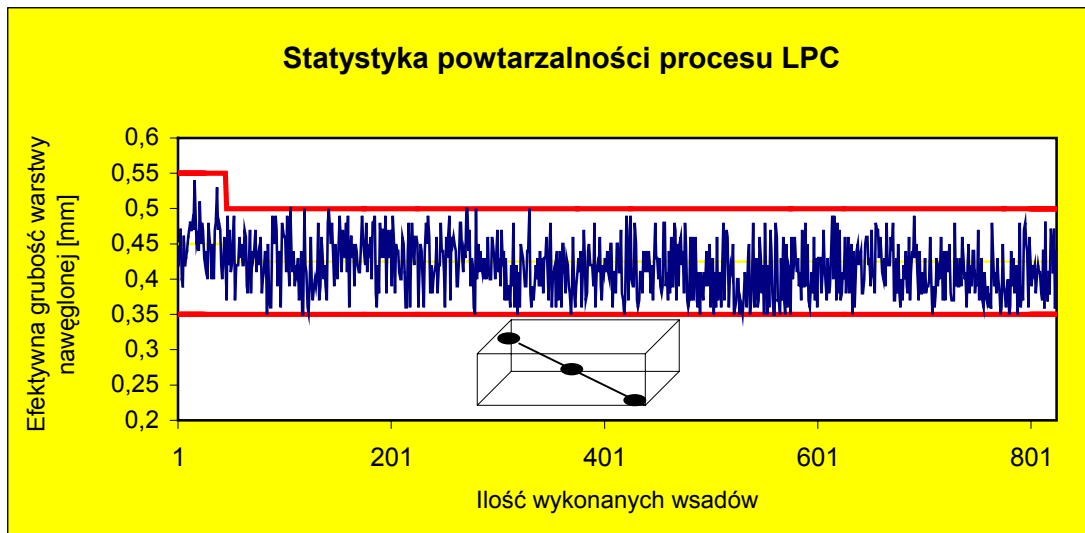
Gazy nawęglające w LPC

W początkowej fazie rozwoju LPC wykorzystywano głównie metan i propan. Niestety właściwości fizykochemiczne metanu w połączeniu z warunkami termodynamicznymi panującymi ówczesnie w piecach wykazały niską wydajność gazu w otrzymywaniu węgla w stanie atomowym („in statu nascendi”).

Obecnie nowoczesne instalacje pracują w zakresie temperatur 900-1050°C i ciśnieniu roboczym 5-20 mbar. Stosowane zaś gazy nawęglające to głównie acetylen, etylen, propan, cykloheksan lub odpowiednio dobrane proporcje mieszanin alkinów, alkenów i wodoru.

Nie wnikając w elektronową teorię wiązań chemicznych i wynikające z tego właściwości fizykochemiczne gazów a także w „know how” producentów pieców, tak przedstawiony układ daje możliwość nawęglania detali o skomplikowanej geometrii kształtu (długie ślepe otwory,) i rozwiniętej powierzchni (do 20m²) z zachowaniem powtarzalności wyników dla wysokiej gęstości wsadu (rys. 3).

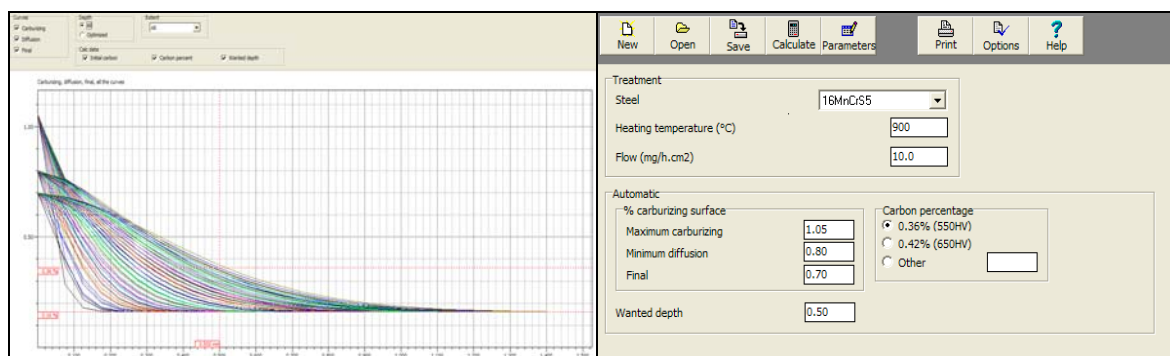
Szybkość z jaką następuje nasycenie powierzchni węglem do granic maksymalnej rozpuszczalności jest nieosiągalne w nawęglaniu gazowym. Tak powtarzana sekwencja (nawęglanie – dyfuzja) i wysoka temperatura sprawia, że czas obróbki w technologii LPC jest kilkakrotnie krótszy aniżeli w klasycznym nawęglaniu gazowym. I tak nawęglanie na warstwę efektywną o grubości 3 mm trwa w LPC około 27 h, to w przypadku nawęglania gazowego może wydłużyć się do 72 godzin. Dzięki technologii LPC nie są potrzebne energochłonne generatory atmosfery i jej stałe kontrolowanie. Źródłem węgla są butle z gazem, jak na przykład acetylen rozpuszczony w acetonie lub w DMF. Konsumpcja zaś gazu nie sięga już metrów sześciennych (jak w nawęglaniu gazowym) lecz są to litry. Koszty z tym związane są oczywiste.



Rys. 3 Przykład powtarzalności wyników dla wysokiej gęstości wsadu w piecu Bodycote Polska. (Każdy wsad liczy 4600 sztuk o łącznej powierzchni 12 m²). Z każdego wsadu sprawdzane były 3 detale stanowiące przekątną wsadu

Symulacja komputerowa

Nowoczesne technologie nawęglania próżniowego realizowane w Bodycote Polska są wspomagane symulacjami komputerowymi pod konkretne indywidualne procesy. Bazując na odpowiednio stworzonym modelu matematycznym wykorzystującym w swoich założeniach szereg zjawisk fizykochemicznych występujących w procesie nawęglania niskociśnieniowego symulator jest w stanie wygenerować recepturę o optymalnych parametrach [5]. Dotyczy to czasów nawęglania, dyfuzji jak i otrzymania oczekiwanego profilu stężenia węgla w warstwie. Zdarza się bowiem, że klient wymaga w bardzo wąskim zakresie odpowiedniego stężenia węgla na danej głębokości (rys. 4)



Rys. 4 Jeden z programów symulacyjnych wykorzystywany w technologii LPC realizowanej w Bodycote Polska [6]

Dzięki symulacji komputerowej wygenerowana teoretycznie receptura jest w ścisłej korelacji z rzeczywistymi wynikami otrzymanymi na obrabianych detalach.

W ten sposób do minimum skrócony zostaje czas przeprowadzania prób, a firma Bodycote jest w stanie w szybkim czasie uruchomić produkcję pod każdego klienta. Dzięki takiej „elastyczności” prowadzenia usługi istotnie wzrasta wydajność produkcyjna.

Czystość technologii LPC

Próżnia plus wysokociśnieniowe hartowanie w strumieniu gazu powoduje, że detale po obróbce LPC są jasne, bez przebarwień, plam i nadmiernej chropowatości (rys. 5).



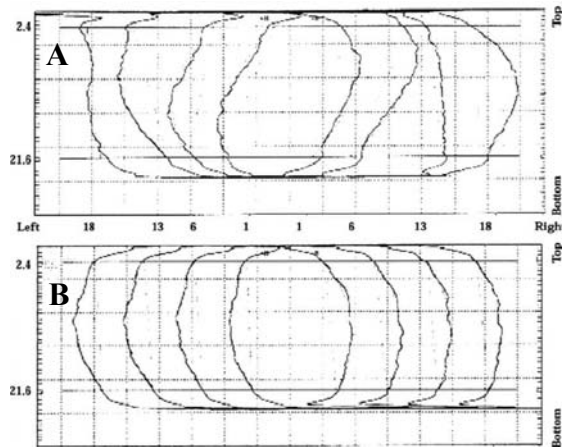
Rys. 5 Czystość detali po nawęglaniu próżniowym realizowanym w Bodycote Polska

I choć czasem trudno poznać czy detale były faktycznie poddane właściwej obróbce (po hartowaniu w oleju detale są brudne ale klient wie, że zostały obrobione) to niesie to ze sobą wiele korzyści. Przede wszystkim odchodzi konieczność mycia po-procesowego i ryzyko zniszczonej powierzchni. Może dla niektórych klientów to tylko walor estetyczny (aczkolwiek miło jest dostać czyste detale po obróbce) to dla urządzeń hydraulicznych czy elementów układu wtryskowego diesel doskonała czystość nie jest już tylko kosmetyką ale ostrym wymogiem [8]. Dobrze jest przy okazji ustanawiać nowe lepsze standardy.

Obróbka cieplna po nawęglaniu LPC

Najczęściej spotykaną w tej technologii obróbką jest wysokociśnieniowe (do 30 bar) hartowanie w strumieniu gazu.

Komercyjnie największe zastosowanie zyskał azot. Jest relatywnie tani, nie sprawia problemów logistycznych i nie wymaga budowy systemów zwracania do obiegu na powtórne wykorzystanie. Główną korzyścią hartowania w gazie po nawęglaniu jest znaczne zminimalizowanie odkształceń i uzyskanie powtarzalności w ich powstawaniu (rys. 6).



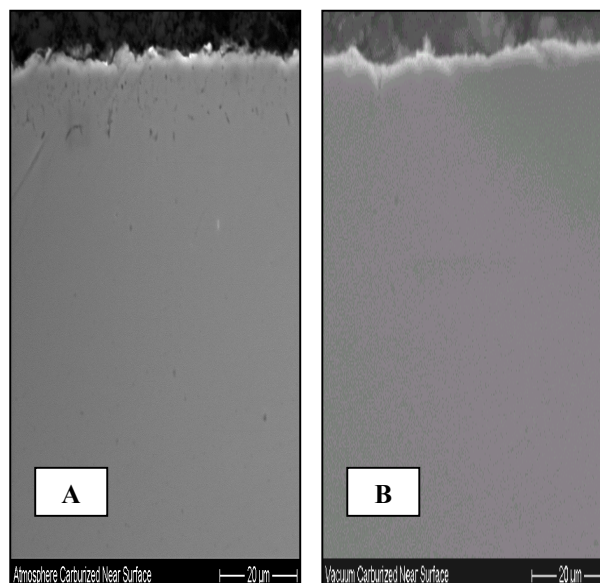
Rys. 6 Geometria wałka zębatego, A) po procesie nawęglania gazowego z hartowaniem w oleju, B) po procesie LPC z hartowaniem w azocie przy ciśnieniu 15 bar, [9]

W przypadku hartowania w oleju takiej powtarzalności nie ma i nie będzie. Hartowanie w gazie pozwala uzyskać jednorodny rozkład w przyjmowaniu ciepła a tym samym jednorodny rozkład naprężeń. Nie występują tu jak w hartowaniu olejowym fazy pośrednie o różnym współczynniku przyjmowania ciepła .

Mniejsze i powtarzalne odkształcenia po hartowaniu gazowym zmniejszają istotnie operacje po-procesowe takie jak szlifowanie wykańczające i eliminują potrzebę zostawiania znacznych nadatków materiałowych. Zdarza się nawet, że detale po procesie są od razu montowane bez konieczności jakiegokolwiek mechanicznej obróbki końcowej. Dzięki temu koszty związane z dodatkowym czasem i konsumpcją niezbędnej do tego energii ulegają znacznej redukcji.

Utlenienie wewnętrzne

Charakterystyczne dla nawęglania gazowego utlenienie wewnętrzne (sięgające niekiedy 10% grubości warstwy nawęglonej, [11]) w przypadku LPC nie istnieje (rys. 7).



Rys. 7 Jakość strefy wierzchniej po procesie nawęglania gazowego (A) i po nawęglaniu próżniowym (B), [12]

Panująca próżnia i stosowanie w procesie samych węglowodorów skutecznie eliminuje wzbogacanie w tlen warstwy wierzchniej. W ten sposób całkowicie wyeliminowano potrzebę po-procesowego usuwania strefy utlenienia wewnętrznego.

Otrzymane zaś warstwy posiadają wyższe szczytkowe naprężenia ściskające, wyższą twardość powierzchniową. Powoduje to zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej (nawet do 22%), odporności na pitting oraz odporność na zużycie i zatarcie, [13].

Ograniczenia w stosowaniu LPC

Technologia nawęglania próżniowego jest „czuła” na różnego rodzaju zanieczyszczenia powierzchni. Mogą to być zasadowe związki wykorzystywane w myciu wstępnym detali. Niewielki obszary rdzy na powierzchni mogą z kolei działać jak dodatkowe katalizatory dla dysocjacji cząsteczek acetylenu wywołując tym samym lokalne tworzenie się sadzy. Skutkiem tego mogą być ciemne małe plamki (nie zawsze widoczne gołym okiem) nie wpływające znacząco na metalurgię.

Baczną uwagę należy zwracać na pozostałości boru pochodzącego z wodnych roztworów chłodziw stosowanych podczas obróbki skrawaniem. Jeśli takie chłodziwo nie zostanie dokładnie usunięte z powierzchni przed obróbką to obecny tam bor będzie działał jak „zapora” dla dyfundującego węgla [8]. Konsekwencją tego jest powstawanie miękkich palm na elementach. Kluczowe dla prawidłowego przebiegu procesu jest skuteczne (wszelkie wgłębienia, jamy) przeprowadzenie procesu mycia detali.

Podsumowanie

Nawęglanie niskociśnieniowe to doskonała alternatywa dla klasycznego nawęglania gazowego. Zarówno pod względem konstrukcji pieca jak i otrzymywanych właściwości. Stosowana technologia LPC w zakładach Bodycote jest bezkonkurencyjna jeśli chodzi o wydajności w produkcji masowej dla przemysłu motoryzacyjnego czy lotniczego. Elastyczność w konfiguracji detali we wsadzie z zachowaniem tej samej wysokiej skuteczności obróbki jest oszczędnością czasu i kosztów związanych z utrzymywaniem ciągłości pracy.

Literatura

1. H.C. Child; “Vacuum Carburising”; Heat Treatment of Metals, 1976.3 p60-65
2. P. Kula, Inżynieria warstwy wierzchniej; Monografie 2000
3. W. Grafen, B.Edenhofer; „Acetylene Low-Pressure Carburising – a Novel and Superior Crburizing Technology”, Heat Treatment of Metals 1999.4 p.79-83
4. Bodycote Presentation to Woodward; Low Pressure Carburising, 07.10.2003
5. Materiały z VI Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej; Obróbka Powierzchniowa, 20-23 wrzesień 2005, Kule k./Częstochowy
6. Program symulacyjny CBPWin2.12, www.ecmtech.com
7. P. Kula, D. Siniarski, M. Korecki, E. Stanczyk-Wiołowicz, T. Pacyniak; Information system support for vacuum furnaces and technology;
8. G. Prunel, B. Stauder; The advantages of Low Pressure Carburizing in the Heat Treatment Subcontracting Business; Bodycote, Chassieu, France
9. D. Beauchesne, A. Goldsteinas; Quenching after Vacuum Carburizing; Heat Treating Progress, September/October 2004

10. K. Katsumata; Vacuum Quenching Furnace Using High Pressure Gas; IHI Engineering Review, Vol. 38 No. 2 August 2005
11. Poradnik Inżyniera. Obróbka cieplna stopów żelaza, pod red. W. Lutego, WNT, Warszawa 1977.
12. <https://extranet.bodycote.com/frames.htm>
13. C. Zimmerman, J. Hall, D. McCurdy, Ed Jamieson, Comparison of residual stresses from atmosphere and low pressure carburization; Heat Treating Progress, July 2007

Informacja

Bodycote Polska Sp. z o.o.

Wólczyńska 133
01-919 Warszawa
tel: + 48 22 834 97 17
fax: + 48 22 834 97 17 wew 107
warszawa@bodycote.com
www.bodycote.pl