

Obróbka cieplna stali narzędziowych w piecach próżniowych z hartowaniem gazowym (cz. 2)

Kluczowym elementem decydującym o przydatności eksploatacyjnej elementów wykonanych ze stali narzędziowych jest poprawność wykonania ich obróbki cieplnej.

Maciej KORECKI, Józef OLEJNIK, Adam ADAMEK, Emilia WOŁOWIEC, Piotr KULA



W KILKU SŁOWACH

W pierwszej części artykułu (PPIK III/IV 2012) przedstawiono wymagania dotyczące procesu, pozwalające uzyskać właściwą strukturę materiału. Niniejszy artykuł stanowi kontynuację i przedstawia praktyczne aplikacje pieców próżniowych, wyposażonych w system chłodzenia w gazie pod wysokim ciśnieniem i przeznaczonych do kompleksowej obróbki cieplnej stali narzędziowych w wybranych branżach przemysłowych.

Interesującym przykładem użycia narzędzi na masową skalę jest produkcja monet w mennicach. Matryce i stemple używane do bicia monet obiegowych, okolicznościowych, czy też wszelkiego rodzaju medali i odznaczeń wymagają wysokiej wytrzymałości na ściskanie, ścieranie, zmęczenie i uderzenia występujące podczas setek tysięcy cykli roboczych (Rys.1.). Własności te uzyskuje się dzięki odpowiedniemu projektowi powierzchni roboczych i uchwytu narzędzia oraz zastosowanym gatunkom stali i ich obróbce cieplnej.

Kanadyjska Mennica Królewska⁽¹⁾

Jedna z najbardziej renomowanych mennic na świecie, Kanadyjska Mennica Królewska



Rys.2. Budynek Kanadyjskiej Mennicy Królewskiej w Ottawie.

(Royal Canadian Mint) (Rys.2.), od prawie 10 lat używa do ulepszania cieplnego narzędzi pieców próżniowych, wyposażonych w systemy hartowania w gazie pod wysokim ciśnieniem (Rys.3.).





Rys.1. Matryca do bicia monet.

Podstawowymi gatunkami stali stosowanymi na narzędzia są niskostopowe stale narzędziowe do pracy na zimno, tradycyjnie przyporządkowane do hartowania w oleju O1 (1.2510), O1M i O2 (1.2842, NMV). Dotychczasowe hartowanie narzędzi mennicznych w oleju nie przynosiło najlepszych rezultatów, ze względu na deformacje, zabrudzenie powierzchni po obróbce cieplnej i związanych z tym trudności w usunięciu warstwy utlenionej i odwęglonej z grawury narzędzi. Aby uwolnić się od tych niedogodności, opracowano i wdrożono technologię hartowania tychże stali w gazie - azocie pod ciśnieniem 10-15 bar. Zastosowano dookoły system napływu gazu chłodzącego na wsad, doskonale sprawdzający się dla detali o spójnych gabarytach, gęsto upakowanych we wsadzie, pozwalający uzyskać wymaganą twardość i równomierność hartowania.



Rys.3. Piec próżniowy do ulepszania cieplnego matryc i stempli, Seco/Warwick typ 15.0VPT-4025/24HV.

Równocześnie stosowane są również stale wyżej-stopowe jak D2 (1.2379), A2 (1.2363), szybko tnące gatunku M2 (1.3341, SW7M), M4 oraz inne z większą zawartością Cr, Ni i Mo, które hartują się w gazie zdecydowanie łatwiej. Cały proces ulepszania cieplnego odbywa się w piecu jednokomorowym, w jednym cyklu technologicznym (bez przemieszczania wsadu pomiędzy urządzeniami), złożonym z nagrzewu do austenitizacji, hartowania w azocie pod wysokim ciśnieniem oraz odpuszczania. Po obróbce cieplnej, uzyskuje się narzędzia o odpowiedniej twardości i własnościach mechanicznych oraz, co jest równie ważne, o idealnej (lustrzanej) powierzchni bez odwęglenia i utlenienia która może być kształtowana ostatecznie lub pokrywana powłokami (PVD, galwanicznymi) zwiększającymi żywotność narzędzi (Rys.4.).



Rys.4. Matryce menniczne umieszczone w koszu, po obróbce cieplnej.

Podczas procesu termicznego powierzchnia narzędzi jest narażona na odwęglenie lub utlenienie skutkujące obniżeniem twardości, dyskwalifikujące jakość narzędzi. Dzieje się tak za przyczyną cząsteczek tlenu i pary wodnej, które zaabsorbowane z powietrza lub z zanieczyszczeń wsadu, kondensują się wewnątrz pieca a następnie wydzielają w trakcie procesu i atakują powierzchnię detali w wysokich temperaturach. Z tego powodu, przed rozpoczęciem grzania do austenitizacji, piec wraz ze wsadem musi być odpompowany do wysokiej próżni rzędu 10-4-10-5 mbar, co skutecznie usuwa zanieczyszczenia tlenopochodne i chroni powierzchnię elementów. Z kolei wysoka próżnia nie jest wskazana w temperaturach austenitizacji, gdyż ułatwia sublimację dodatków stopowych z powierzchni stali (Mn, Cr, Co, itp). Zmniejszenie stężenia dodatków stopowych obniża hartowność stali i może być przyczyną niekorzystnego obniżenia twardości przy powierzchni. Dlatego

w wyższych temperaturach ogranicza się poziom próżni do ciśnienia w zakresie 10-1-100 mbar.

Uwzględniając powyższe wymagania procesu, optymalnym urządzeniem do jego realizacji, jest piec próżniowy wyposażony w: wysokowydajny system chłodzenia w azocie pod ciśnieniem 15 bar, system pompowy wysokiej próżni na bazie pompy dyfuzyjnej oraz system ciśnienia cząstkowego do kontroli wielkości próżni przy pomocy dozowania azotu.

Aesculap Chifa Sp. z o.o. ⁽²⁾

Stale narzędziowe znajdują liczne zastosowania w przemyśle spożywczym i medycznym. Narzędzia tam stosowane muszą posiadać odpowiednie własności mechaniczne oraz odporność chemiczną, w tym odporność na korozję. Do tego celu stosuje się martenzytyczne stale nierdzewne.

Krajowa firma Aesculap Chifa Sp. z o.o. z Nowego Tomyśla (wielkopolskie) jest nie tylko potentatem krajowym w produkcji narzędzi chirurgicznych, ale również liderem w grupie B. Braun i eksporterem na cały świat swoich wyrobów. Oferuje narzędzia z gamy ponad 6000 wzorów, stosowane do chirurgii ogólnej, mikrochirurgii, w ginekologii, chirurgii kostnej, stomatologicznej i w ortodoncji. Produkowane są również narzędzia weterynaryjne. Firma posiada wewnętrzną hartownię, która całkowicie obsługuje produkcję w zakresie obróbki cieplnej, ale również wspiera własną narzędziownię i świadczy usługi zewnętrzne. Hartownia pracuje na 3 zmiany, 5 dni w tygodniu i zatrudnia kilkanaście osób. Na wyposażeniu są przede wszystkim jednokomorowe piece próżniowe posiadające: system wysokiej próżni, możliwość chłodzenia w azocie pod wysokim ciśnieniem oraz grzanie konwekcyjne niezbędne w procesach odpuszczania.

Do produkcji narzędzi chirurgicznych stosuje się głównie stale: 2H14 i 4H14. Proces obróbki cieplnej polega na hartowaniu i odpuszczaniu w jednym cyklu w piecu próżniowym. Hartowanie odbywa się z temperatury poniżej 1000°C dla 2H14 i powyżej dla 4H14, a odpuszcza w temperaturze 240°C i 300°C, uzyskując twardości odpowiednio ok 45 HRC i ponad 50 HRC. O jakości procesu decyduje kilka kluczowych elementów.

Idealną jakość powierzchni narzędzi zapewnia wysoki poziom próżni w czasie procesu nagrzewania (10⁻⁴-10⁻⁵ mbar) oraz czystość azotu chłodzącego (99,999 %). Szczególnie ważne jest uzyskanie wysokiej czystości atmosfery w procesie odpuszczania, gdyż w niskich temperaturach stale nierdzewne są bardziej podatna na utlenienie. Z tego powodu proces odpuszczania realizuje się zaraz po hartowaniu w tym samym piecu, bez otwierania drzwi, w tej samej, czystej atmosferze. Realizacja procesu odpuszczania w innym urządzeniu i ekspozycja detali na powietrze wiąże się z dużym ryzykiem utlenienia powierzchni.

Równie ważnym parametrem procesu jest równomierność nagrzewania i rozkład temperatury w przestrzeni roboczej (+/- 5°C), które decydują o dokładności uzyskania temperatury austenizacji całego wsadu i każdego z detali osobno oraz o możliwości stosowania krótkich czasów wytrzymania. Wpływ na powyższe mają nie tylko właściwości pieca, lecz w dużym stopniu doświadczenie w zakresie układania detali we wsadzie (Rys.5.).



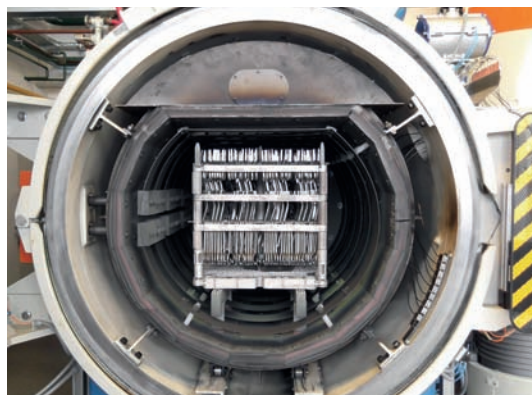
Rys.5. Ułożenie narzędzi chirurgicznych we wsadzie

Niedotrzymanie warunku temperaturowego może skutkować nieosiągnięciem temperatury austenizacji lub przegrzaniem, co niekorzystnie wpłynie na wynik hartowania i mikrostrukturę stali (rozrost ziarna, wydzielenie węglików). Równie krytyczne dla procesu są parametry chłodzenia. Chłodzenie w gazie pod wysokim ciśnieniem musi być równomierne i intensywne. Mimo, że stale te mają dobrą hartowność i dla niewielkich przekrojów jest łatwość uzyskania struktury martenzytycznej stosuje się intensywne chłodzenie do 6 bar dla uniknięcia wydzieleń węglików, które obniżają odporność na korozję. Z kolei zbyt intensywne chłodzenie nie





jest korzystne, gdyż niesie ze sobą zwiększenie deformacji narzędzi. Narzędzia chirurgiczne są detalami smukłymi, o wydłużonej osi, szczególnie podatnymi na deformację z powodu nierównomierności chłodzenia. Dla tego typu detali preferowane jest chłodzenie kierunkowe, które umożliwia ułożenie części w taki sposób, aby strumień gazu chłodzącego napływał równoległe do osi podłużnej hartowanych elementów. Piec o takim systemie kierunkowego przepływu gazu, z góry do dołu, został ostatnio dostarczony do firmy. (Rys.6.).



Rys.6. Wsad złożony z narzędzi chirurgicznych w komorze pieca Seco/Warwick 6.0VPT-4035/36HV z kierunkowym chłodzeniem: góra-dół.

Ostatecznie, chłodzenie w procesie hartowania wymaga kompromisu pomiędzy jego intensywnością, a równomiernością, i wymaga wiedzy o urządzeniu, detalach oraz doświadczenia w ich rozmieszczaniu we wsadzie.

Prowadzone są również bardziej skomplikowane, kompleksowe procesy, realizowane w jednym cyklu, w jednym piecu próżniowym, bez przenoszenia wsadu między urządzeniami. Dotyczy to narzędzi z ostrzami wykonanymi z węglików. W takim przypadku łączone są 3 kroki technologiczne: lutowanie węglików, hartowanie i odpuszczanie.

Lutowanie realizuje się za pomocą past lutowniczych na bazie miedzi lub niklu, w temperaturach wyższych od temperatury austenizacji. Następnie obniża się temperaturę do zastygnięcia lutu, po czym hartuje i odpuszcza. Faza lutowania wnosi kolejne utrudnienia i kompromisy do procesu; wymagana jest wysoka czystość, konieczność precyzyjnego osiągnięcia temperatury, krótkiego wytrzymania, a następnie zestalenia lutu. Z kolei chłodzenie w procesie hartowania nie może być zbyt intensywne z powodu pękania węglików. Mimo tych komplikacji

jest możliwe ustawienie parametrów procesu i ułożenie wsadu w piecu, w sposób gwarantujący uzyskanie właściwego wyniku technologicznego.

Wszystkie te procesy realizowane są z sukcesem, w jednokomorowych piecach próżniowych wyposażonych w systemy chłodzenia w gazie pod wysokim ciśnieniem.

Kuźnia Polska S.A. ⁽³⁾

Klasycznym przykładem stosowania narzędzi do formowania i kształtowania metali jest przemysł kuźniczy, a krajowym potentatem w tej branży jest Kuźnia Polska S.A., firma z ponad 200-letnią tradycją, ulokowana w Skoczowie na Śląsku Cieszyńskim. Przedmiotem działalności Kuźni jest produkcja wysokiej jakości stalowych odkuwek matrycowych kutych na gorąco w temperaturze ponad 1000°C, przeznaczonych przede wszystkim dla motoryzacji, a także dla górnictwa, kolejnictwa i przemysłu maszynowego. 80 % produkcji jest eksportowana, spełniając najbardziej wymagające kryteria europejskiego i amerykańskiego przemysłu motoryzacyjnego. Jest to zakład samowystarczalny nie tylko w zakresie produkcji odkuwek włącznie z obróbką mechaniczną i cieplną, lecz również w zakresie wykonania narzędzi używanych w produkcji odkuwek. Narzędzia te służą do kucia, okrawania, dziurowania i prostowania odkuwek, a składają się na nie m.in.: wkładki do kucia na prasach, płyty tnące (narzędzia do wykańczania wyrobu, płyty okrojce wypływkę), stemple okrawające, wkładki dziurujące, stemple do dziurowania, prostowniki do prostowania odkuwek na gorąco i na zimno, płyty utwardzone przyrządów do kucia (Rys.7).



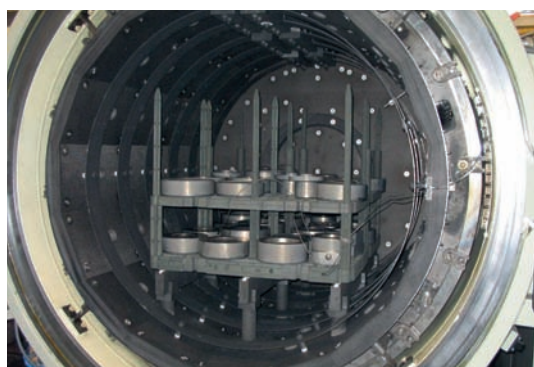
Rys.7. Przykładowe wkładki matrycowe do kucia na gorąco ze stali WCL



Wykonane są z typowych stali narzędziowych, jak: WCL, WCLV, WNLV, SW7M i w celu uzyskania wymaganych własności mechanicznych poddane są procesowi ulepszania cieplnego złożonego z hartowania i odpuszczania.

W procesie ulepszania cieplnego stali narzędziowych do pracy na gorąco (WCL, WCLV) mają zastosowanie wszystkie wytyczne opracowane przez NADCA (North American Die Casting Association), a przybliżone w pierwszej części artykułu. Ważne są: szybkość nagrzewania, ilość przystanków podczas nagrzewania, czas wytrzymania, szybkość chłodzenia oraz kontrola temperatury w materiale oraz parametry odpuszczania, w tym ilość cykli odpuszczania. Poprawny przebieg całego procesu warunkuje uzyskanie odpowiedniej żywotności narzędzia, zwykle liczonej w cyklach (od 3 000 do 20 000), poprzez osiągnięcie wysokiej wytrzymałości, udurowienia, twardości, odporności na ścieranie w wysokich temperaturach i na zmęczenie cieplne.

Procesy ulepszania cieplnego realizowane są w piecu próżniowym, wyposażonym w system chłodzenia w gazie (azocie) pod wysokim ciśnieniem, z możliwością realizacji zaawansowanych technik chłodzenia (chłodzenie izotermiczne) redukujących naprężenia strukturalne i termiczne, a przez to zmniejszające deformacje oraz eliminujące ryzyko pęknięcia narzędzia. Dzięki funkcji grzania konwekcyjnego możliwe jest realizowanie procesu odpuszczania bezpośrednio po hartowaniu oraz prowadzenia skutecznego i równomiernego nagrzewania wsadu w niskich temperaturach (redukcja deformacji termicznych). Zastosowanie pieca próżniowego pozwoliło całkowicie zautomatyzować proces obróbki cieplnej oraz uniknąć problemów odwęglenia i utlenienia powierzchni narzędzi (Rys.8).



Rys. 8. Matryce kuzienne w komorze pieca próżniowego Seco/Warwick typu 10.0VPT-4050/48IQ

Aktualnie trwają prace nad optymalizacją procesów hartowania z przystankiem izotermicznym oraz zastosowaniem azotowania próżniowego, w celu dodatkowego utwardzenia powierzchni. Azotowanie próżniowe może być dodane jako ostatni etap obróbki cieplno-chemicznej, realizowanej kompleksowo w jednym piecu próżniowym, w jednym cyklu technologicznym, polegającym na: hartowaniu, odpuszczaniu i azotowaniu narzędzi. Wstępne wyniki aplikacji azotowania próżniowego są bardzo pozytywne.

Fabryka narzędzi FANAR S.A.⁽⁴⁾

Fabryka Narzędzi FANAR S.A. jest największym polskim producentem narzędzi do gwintów (Rys.9.). Posiada ponad 40-letnie doświadczenie w branży i ma renomowanych odbiorców swoich produktów w kraju i za granicą.



Rys.9. Fabryka narzędzi FANAR S.A.

Produkuje pełen asortyment narzędzi do gwintów w tym: gwintowniki, frezy, noże, narzynki, sprawdziany, oprawki do narzędzi i narzędzia pomocnicze (Rys.10.).



Rys.10. Asortyment narzędzi ze stali szybkotnących.

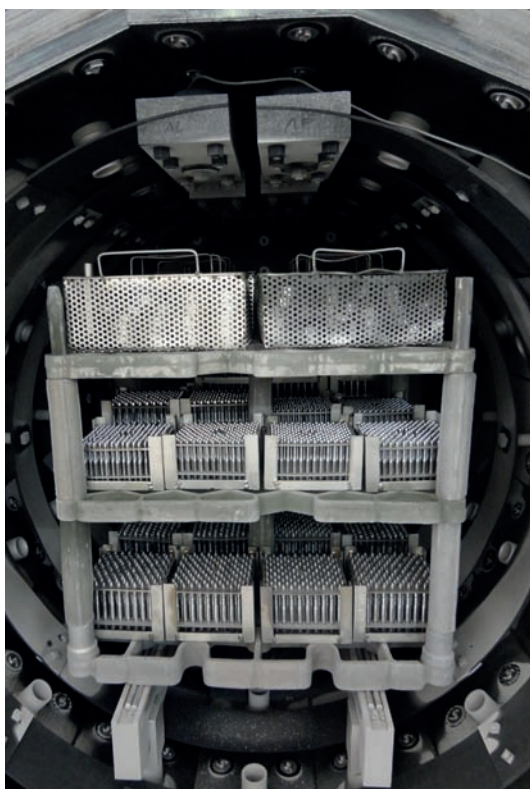
Bibliografia

- 1.Xianyao Li, Janusz Kowalewski, "Advanced High Pressure Gas Quenching Vacuum Heat Treating Furnace and Process for Coining Dies", TEMAN 2011, Singapore, 2-6.05.2011, www.mint.ca
- 2.Wywiad z Jerzym Kreczmem (Kierownik w. Obróbki Ciepłej); Aesculap Chifa Sp. z o.o., maj 2012, www.chifa.com.pl
- 3.Wywiad z Dariuszem Chwastkiem (Dyrektor Techniki) i Janem Madzią (Kierownik – Wydział Produkcji Narzędzi), Kuźnia Polska S.A., maj 2012, www.kuzniapolska.com
- 4.K. Stanisławczuk, FANAR S.A., Doświadczenia produkcyjne w technologii próżniowej obróbki cieplnej HSS", VIII Seminarium Seco/Warwick, 23-24.09.2004, www.fanar.pl, www.cantonigroup.com/pl/tools/fenes/, www.wuzetem.waw.pl





Podstawowym materiałem na narzędzia do gwintów jest stal narzędziowa szybkołnąca typu SW7M (SK5M, SK8M), którą poddaje się obróbce cieplnej w celu nadania odpowiednich własności mechanicznych. Obróbka cieplna polega na zahartowaniu z temperatury 1150-1200°C (stosując stopniowe nagrzewania z przystankami w 850°C i 1050°C), a następnie dwu- lub trzykrotnemu odpuszczeniu w temp. 550-560°C, uzyskując twardość 62-65 HRC. Tradycyjnie prowadzono ją w piecach solnych, do czasu gdy 10 lat temu wymieniono piec solny na jednokomorowy piec próżniowy z grzaniem konwekcyjnym oraz chłodzeniem w gazie pod wysokim ciśnieniem (Rys.11.).



Rys.11. Wsad złożony z narzędzi do gwintów w komorze pieca Seco/Warwick 10.0VPT-4035/36

Od tej pory cały proces jest realizowany automatycznie w jednym piecu próżniowym, w jednym cyklu technologicznym, uzyskując pełną kontrolę procesu i powtarzalność wyników, idealną jakość powierzchni oraz zwiększając bezpieczeństwo i komfort pracy wraz z dbałością o środowisko naturalne. Nie bez znaczenia okazał się bardzo pozytywny efekt ekonomiczny; proces prowadzony w piecu próżniowym zużywa o 50% mniej energii elektrycznej, koszty jednostkowe produkcji są o 30 % mniejsze, a wy-

dajność produkcyjna ok. 50 % większa w porównaniu do technologii solnej.

Ze względu na wiotki i smukły kształt oraz wymóg zachowania osiowości, hartowane narzędzia są bardzo podatne na wszelkiego rodzaju nierównomierności zarówno grzania, jak i chłodzenia, skutkujące nadmiernymi deformacjami. W celu minimalizacji tego niekorzystnego efektu ważny jest nie tylko odpowiedni przebieg procesu, ale przede wszystkim ułożenie poszczególnych detali i zastosowane oprzyrządowanie. Unika się umieszczania delikatnych detali blisko elementów grzejnych i dysz chłodzących, a zaleca ustawianie w pozycji pionowej i pakietowanie oraz segregację. Najlepsze efekty daje podwieszanie detali, jednak jest rzadko stosowane ze względu na uciążliwość pracy. Przy tym wszystkim oprzyrządowanie musi być jak najbardziej stabilne, proste i transparentne zarówno dla promieniowania cieplnego, jak i przepływu gazu chłodzącego (Rys.12.).



Rys.9. Fabryka narzędzi FANAR S.A.

Mimo tak wielu uwarunkowań proces obróbki cieplnej narzędzi i elementów wykonanych ze stali SW7M jest opanowany i z sukcesem stosowany w piecach próżniowych z hartowaniem w gazie również w innych firmach w branży, np.: takich jak FENES S.A, czy WUZETEM.

W tabeli 1 przedstawiono ogólne możliwości





pieców próżniowych z chłodzeniem gazowym w obszarze hartowania narzędzi z najczęściej stosowanych materiałów narzędziowych.

Przedstawione powyżej cztery przykłady zastosowań pieców próżniowych z chłodzeniem w gazie pod wysokim ciśnieniem do obróbki cieplnej narzędzi nie wyczerpują całego obszaru aplikacji. Powszechne są również zastosowania w produkcji narzędzi do formowania metali lekkich, plastiku, proszków metali, ceramiki oraz do wyciskania i prasowania, np. w przemyśle spożywczym, w produkcji pasz, itp.

Rola pieców próżniowych w obróbce cieplnej stale wzrasta, a obszar stali narzędziowych jest kluczowy już od kilku dziesięcioleci. Składa się na to przede wszystkim idealna neutralność próżni jako atmosfery ochronnej i uzyskanie idealnej jakości powierzchni elementów po obróbce cieplnej. Ponadto występuje całkowita separacja przestrzeni piecowej od otoczenia, umożliwiając precyzyjne i efektywne prowadzenie procesów cieplno-chemicznych w różnych atmosferach. Dodatkowo ciągły postęp w roz-

woju skuteczności chłodzenia w gazie pod wysokim ciśnieniem i stopniowe zbliżanie się do szybkości chłodzenia porównywalnej z olejem, czyni piece próżniowe nowoczesną, ekonomiczną i ekologiczną alternatywą dla większości atmosferycznych technologii obróbki cieplnej i hartowania w oleju.



Material DIN [SAE] GOST	Przekrój [mm]							HRC
	80	100	120	140	160	180	200	
							uwagi	
1.2721								59
1.2767								56
1.2510 [O1]								64
1.2550 [S1]								60
1.2842 [O2]								63
1.2363 [A2]								63
1.2080 [D3] Ch12								64
1.2436								65
1.2379 [D2]								63
1.2713 [L6] 5ChNM								56
1.2714								57
1.2343/1.2344[H11/H13] 4Ch5MFS/4ChMF18							wg zasad NADCA > 500mm	54
1.2365 [H10] 3Ch3M3F								50
1.2083 [420]								56
1.2316								50
1.3343 [M2] R6M5								66

Tab. 1. Ogólne możliwości pieców próżniowych z chłodzeniem gazowym w obszarze hartowania narzędzi.



ENDOINJECTOR

**OSZCZĘDŹ DO 20% KOSZTÓW WYTWARZANIA
ATMOSFERY ENDOTERMICZNEJ***



- Znaczne obniżenie kosztów wytwarzania atmosfery
- Obniżenie emisji CO₂ do atmosfery
- Precyzyjna regulacja Punktu Rosy atmosfery
- Regulacja wydajności generatora 30-100%
- Wyeliminowanie zasadzania katalizatora
- Ponad 450 instalacji na całym świecie

Na życzenie wykonujemy dokładne obliczenia oszczędności dla konkretnego typu generatora.

ENDOINJECTOR™ to opatentowany system precyzyjnej regulacji i mieszania gazu do generatorów endotermicznych. **ENDOINJECTOR™** znacznie redukuje koszty wytwarzania atmosfery poprzez wyeliminowanie spalania jej nadmiaru. Koszt inwestycji w **ENDOINJECTOR™** zwraca się po upływie około jednego roku *(w zależności od rodzaju generatora i ceny gazu).

