



Urządzenia do obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej

T.G. Gawel^a, M. Krupiński^a, A.D. Dobrzańska-Danikiewicz^b

^a Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice
email: tomasz.gawel@polsl.pl

^b Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania, Politechnika Śląska ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice

Streszczenie: W artykule przedstawiono dwa urządzenia przeznaczone do obróbki cieplnej oraz cieplno-chemicznej w tym: wysokotemperaturowy piec próżniowy HT-2100-G-Vac-Graphit-Special firmy LINN oraz dwukomorowy piec próżniowy z systemem hartowania w oleju CaseMaster Evolution D4 firmy Seco/Warwick. Urządzenia te są na wyposażeniu Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W szczególności omówiono zasadę działania, parametry oraz możliwości technologiczne urządzeń.

Abstract: The article presents two devices for heat treatment, thermochemical treatment and high-temperature processing: High temperature vacuum furnace HT-2100-G-Vac-Graphit-Special the company LINN and Two-chamber vacuum furnace with oil quenching system CaseMaster Evolution D4 the company Seco/Warwick. Devices are in the Institute of Engineering Materials and Biomaterials, Silesian University of Technology in Gliwice. In particular is shown the operating principle, the technological parameters and capabilities of devices.

Słowa Kluczowe: obróbka cieplna, urządzenia do obróbki cieplnej, obróbka cieplna w próżni, atmosfery ochronne.

1. WSTĘP

Istnieje wiele rodzajów materiałów inżynierskich o różnych właściwościach, które są przeznaczone do poszczególnych zastosowań. Obróbka cieplna pozwala na kształtowanie struktury materiałów inżynierskich i w ten sposób również zmianę ich właściwości. W takim przypadku dąży się do osiągnięcia jak najbardziej satysfakcjonującego rozwiązania poprzez zastosowanie obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej danego materiału [1-9].

Obróbka cieplna jest technologią, która obejmuje zespół zabiegów wywołujących polepszenie właściwości mechanicznych i fizyko-chemicznych metali i stopów, które wywołane są poprzez zmiany zachodzące w strukturze w stanie stałym w wyniku zmian temperatury, czasu oraz działania ośrodka [1-10].

Operacja obróbki cieplnej stanowi część procesu technologicznego. Wykonywana jest w sposób ciągły, zazwyczaj na jednym stanowisku roboczym [1,11].

Rodzaje obróbki cieplnej ze względu na czynniki wpływające na kształtowanie struktury i własności metali i stopów [1]:

- obróbka cieplna zwykła,
- obróbka cieplno-mechaniczna,
- obróbka cieplno-chemiczna,
- obróbka cieplno-magnetyczna.

Obróbka cieplna zwykła jest to proces polegający na polepszeniu własności fizycznych i chemicznych. Takie rezultaty otrzymuje się dzięki wpływowi temperatury oraz odpowiednio dobranych czasów obróbki cieplnej [1,11-16].

W Pracowni Obróbki Ciepłej Stopów Metali i Materiałów Półprzewodnikowych Laboratorium Naukowo - Dydaktyczne Nanotechnologii i Technologii Materiałowych Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych znajdują się nowoczesne urządzenia umożliwiające realizowanie procesów obróbki cieplnej, cieplno-chemicznej oraz obróbki wysokotemperaturowej. W artykule przedstawiono możliwości wytwórcze dotyczące wysokotemperaturowego pieca próżniowego oraz dwukomorowego pieca próżniowego z systemem hartowania w oleju.

2. WYSOKOTEMPERATUROWY PIEC PRÓŻNIOWY

Wysokotemperaturowy piec próżniowy wyposażony jest w gazo- i próżnioszczelną obudowę wewnętrzną o wszystkich bokach wzmocnionych. Jest ona chłodzona wodą, co wpływa na temperaturę zewnętrzną obudowy pieca. Obudowa wewnętrzna komory grzewczej jest wyłożona płytami z filcu grafitowego natomiast izolacja podłoża wykonana jest z włókna z tlenku glinu (Al_2O_3). Zastosowanie tego materiału, który ma niski współczynnik akumulowania ciepła, umożliwia uzyskanie szybkich czasów nagrzewania i chłodzenia. Komora grzewcza wyposażona jest w cztery wymienne cylindryczne elementy grzejne w kształcie litery U wykonane z grafitu oraz dwa termoelementy (termopara o klasie C) mające za zadanie niezależny pomiar temperatury.

Drzwi gazoszczelne (rys. 1a) zamontowane są na specjalnym ramieniu ułatwiającym zamykanie oraz posiadają uszczelnienie silikonowe i zamykane pokrętlami (ze sprężyną amortyzującą ciśnienie). Jest to zabezpieczenie umożliwiające bezpieczne otwarcie drzwi do Komory Grzewczej pieca.

Na rysunku 1b przedstawiono Zespół gazowo-próżniowy. Składa się on z dwóch obrotowych pomp łopatkowych mających na celu uzyskanie próżni w komorze grzewczej. Czujniki próżni zainstalowano na płycie czołowej. Dodatkowo Zespół gazowo-próżniowy ma możliwość przedmuchiwania komory grzewczej azotem ze względu na stosowanie w czasie procesu palnych, trujących i wybuchowych gazów ochronnych. Ma również na to wpływ stosowanie elementów grzejnych wykonanych z grafitu.

Zespół temperatury, pomiaru i sterowania przedstawiono na rysunku 1c. Wyposażony jest przede wszystkim w kolorowy panel dotykowy za pośrednictwem, którego sterujemy i monitorujemy proces oraz jego parametry. Ponadto na panelu znajdują się również przełączniki i kontrolki niezbędne do wykonywania operacji podczas trwania procesu przez operatora urządzenia.

W tablicy 1 przedstawiono najważniejsze dane techniczne urządzenia. Urządzenie powinno pracować w atmosferze gazów obojętnych.

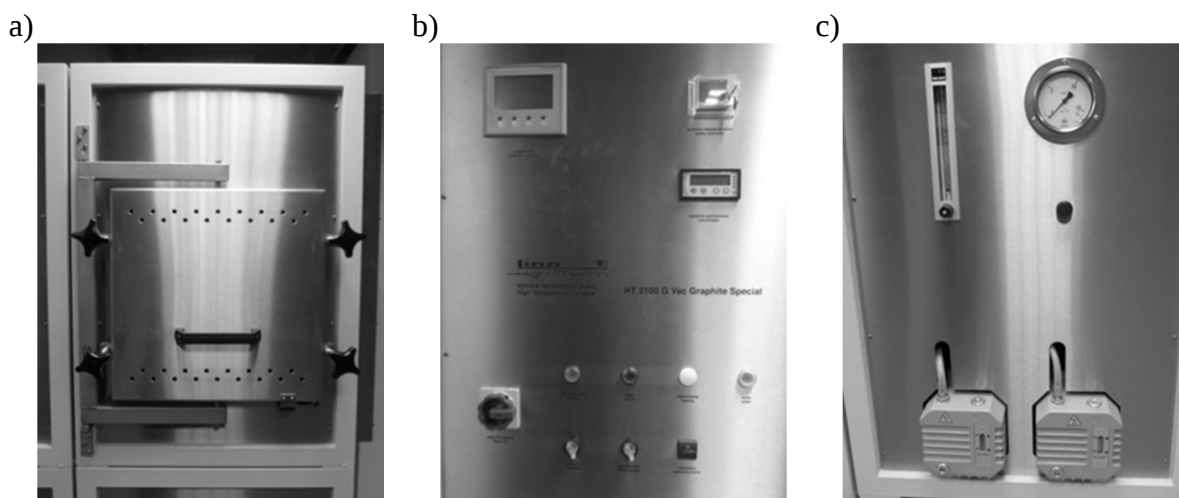
Wysokotemperaturowy piec próżniowy umożliwia wykonywania następujących procesów:

- obróbka cieplna (w tym wysokotemperaturowa):
 - wyżarzanie,
 - starzenie,
 - odpuszczanie,
- lutowanie,
- topienie.

Tablica 1. Dane techniczne Wysokotemperaturowego pieca próżniowego HT-2100-G-Vac-Graphit-Special firmy LINN

Table 1. Technical specifications High temperature vacuum furnace HT-2100-G-Vac-Graphit-Special the company LINN

Warunki technologiczne	Wielkość
Objętość komory	13.5 [l]
Maksymalna temperatura pracy	2100 [°C]
Maksymalne podciśnienie	8×10^{-3} [mbar]
Temperatura pracy ciągłej	2000 [°C]
Maksymalna przepustowość 0 - 1800 [°C]	200 [K/min]
Maksymalna przepustowość 1800 - 2100 [°C]	10 [K/min]
Równomierność względna temperatury	± 10 [°C]
Stosowane atmosfery ochronne	próżnia
	argon 5.0 do 2100 [°C]
	azot 5.0 do 1800 [°C]



Rysunek 1. Podzespoły Wysokotemperaturowego pieca próżniowego HT-2100-G-Vac-Graphit-Special firmy LINN: a) Drzwi do Komory Grzejnej, b) Zespół gazowo-próżniowy, c) Zespół temperatury, pomiaru i sterowania

Figure 1. Components High temperature vacuum furnace HT-2100-G-Vac-Graphit-Special the company LINN: a) The door to of heating chamber, b) System of gas-vacuum, c) System of temperature, measurement and control

3. DWUKOMOROWY PIEC PRÓŻNIOWY Z SYSTEMEM HARTOWANIA W OLEJU

Dwukomorowy piec próżniowy z systemem hartowania w oleju CaseMaster Evolution D4 firmy Seco/Warwick wraz z szafą sterowniczą został przedstawiony na rysunku 2.



Rysunek 2. Dwukomorowy piec próżniowy z systemem hartowania w oleju CaseMaster Evolution D4 firmy Seco/Warwick wraz z szafą sterowniczą

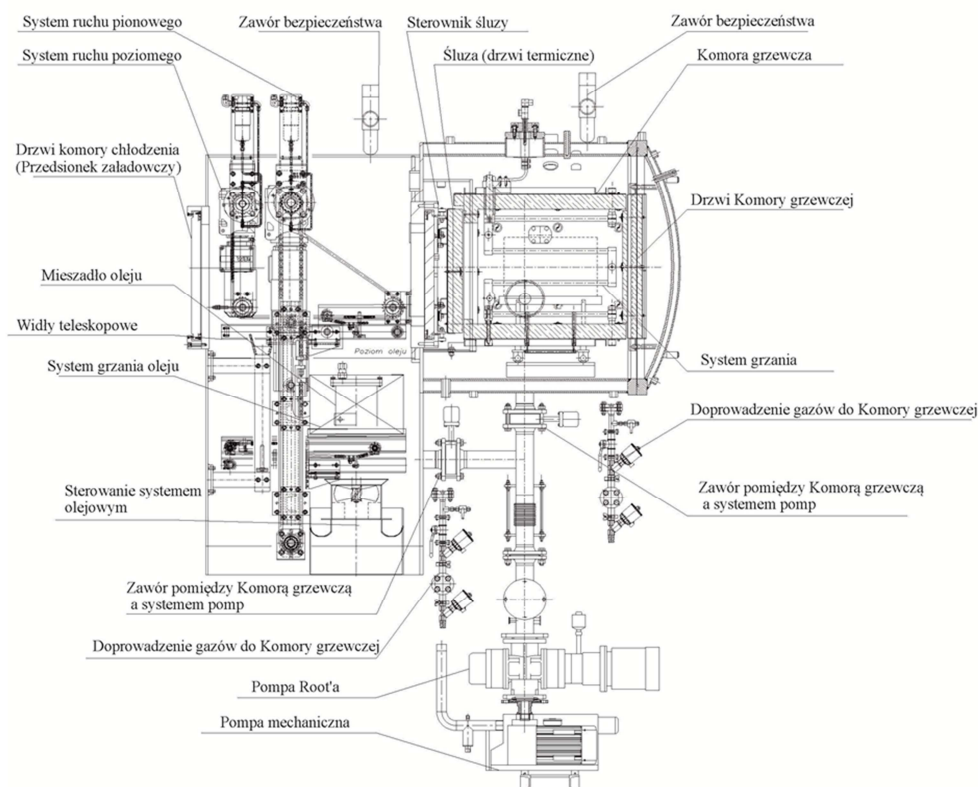
Figure 2. Two-chamber vacuum furnace with oil quenching system CaseMaster Evolution D4 the company Seco/Warwick with a control panel

Na rysunku 3 przedstawiono Schemat budowy Dwukomorowego pieca próżniowego z systemem hartowania w oleju CaseMaster Evolution D4. Poszczególne podzespoły urządzenia zostały przedstawione w postaci schematu blokowego (rys. 4). Można je podzielić na: Komorę chłodzenia (KCh), Komorę grzewczą (KG) Sterowanie, Pozostałe pojedyncze podzespoły oraz wyposażenie dodatkowe.

Komora chłodzenia pełni nie tylko rolę chłodzenia wsadu ale również jest traktowana jako przedsionek załadowczy (PZ), w którym umieszcza lub usuwa się materiał przed rozpoczęciem lub po zakończeniu procesu.

Bezpośrednio pod przedsionkiem załadowczym umieszczona jest misa olejowa wyposażona w system pomp, których zadaniem jest umożliwienie ciągłej cyrkulacji oleju, oraz w system grzałek umożliwiających podgrzanie do temperatury docelowej w której następuje chłodzenie wsadu, utrzymywanie stałej (zadanej) temperatury oleju oraz system chłodnic uniemożliwiających wzrost temperatury oleju powyżej temperatury 120 °C w trakcie chłodzenia wsadu. Temperatura jest monitorowana za pomocą termoelementu.

Komora Grzewcza wyłożona jest grafitem. Jest ona wyposażona również w system grafitowych grzałek umożliwiających uzyskanie temperatury 1250 °C. W KG zainstalowano dwie termopary mające na celu niezależny pomiar temperatury podczas procesu.



Rysunek 4. Schemat budowy Dwukomorowego Pieca próżniowego z systemem hartowania w oleju CaseMaster Evolution D4 firmy SecoWarwick [17]

Figure 4. Scheme Two-chamber vacuum furnace with oil quenching system CaseMaster Evolution D4 the company Seco/Warwick [17]



Rysunek 4. Schemat blokowy części składowych dwukomorowego pieca próżniowego z systemem hartowania w oleju CaseMaster Evolution D4 firmy Seco/Warwick

Figure 4. Block diagram of the component parts of Two-chamber vacuum furnace with oil quenching system CaseMaster Evolution D4 the company Seco/Warwick

Komora Grzewcza jest wyposażona w system chłodzenia, którego zadaniem jest obniżanie temperatury obudowy pieca poprzez płaszcz wodny znajdujący się pomiędzy obudową zewnętrzną a wewnętrzną pieca przez który przepływa ciecz w obiegu zamkniętym.

Piec jest wyposażony w system pomp, które naprzemiennie odpompowują powietrze z poszczególnych komór. Pierwsza uruchamia się pompa mechaniczna, której zadaniem jest uzyskanie próżni 10^{-1} mbar po przekroczeniu tej wartości uruchamia się Pompa Rota umożliwiająca uzyskanie wysokich próżni 10^{-3} mbar.

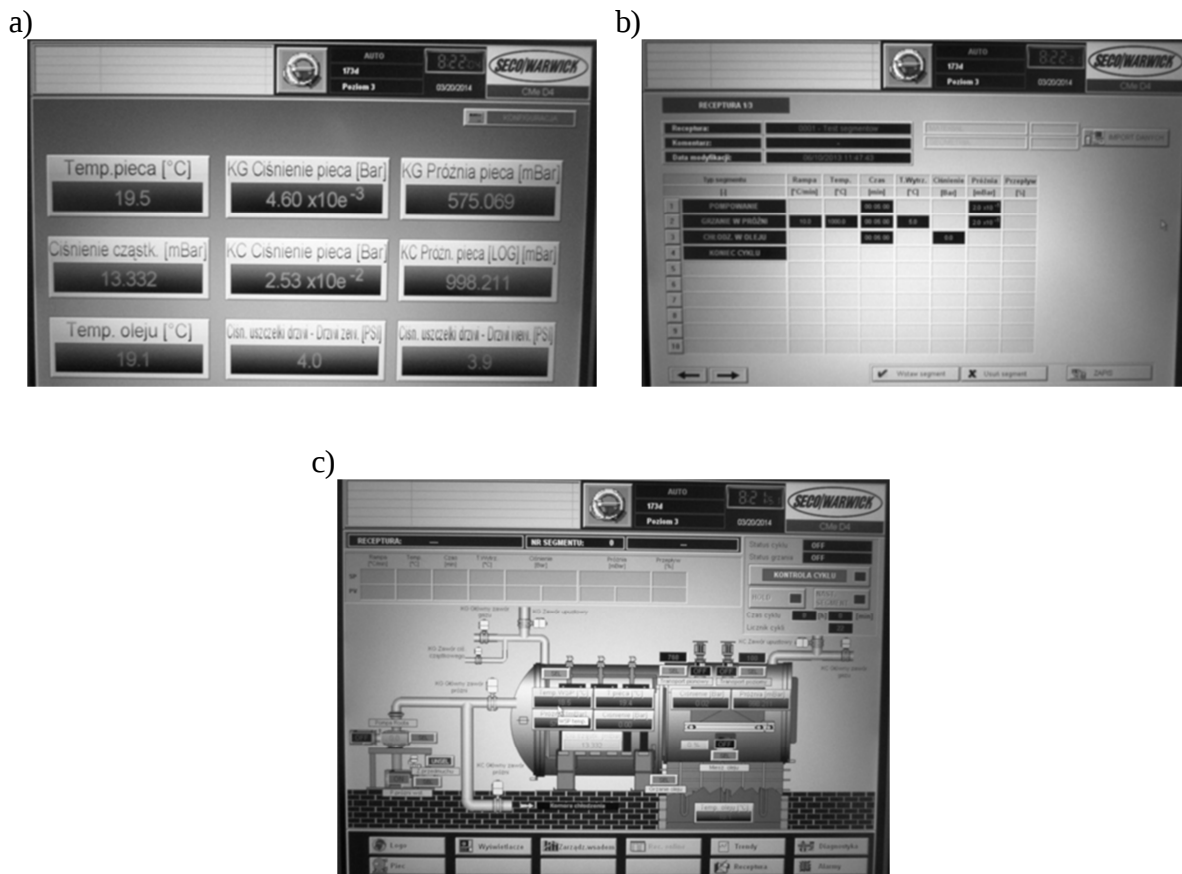
Urządzenie jest wyposażone w Szafę sterowniczą, w skład której wchodzi dotykowy panel sterowania oraz manualny. Manualny Panel ma za zadanie awaryjnego wyłączenia urządzenia oraz wymuszenie na operatorze wykonanie przeładunku i jego obserwację. Panel Dotykowy przede wszystkim przedstawia poszczególne wartości parametrów procesu w czasie rzeczywistym (rys. 5a) oraz przygotowanie receptury procesu (rys. 5b), który jest wykonywany krok po kroku automatycznie przez urządzenie. Uruchomienie poszczególnych elementów urządzenia tj. np. pompy, system grzania oleju itd. jest możliwe również za pomocą opcji: „Widok Pieca”, ponad to wszystkie operacje (przeładunek wsadu, uruchomienie grzałek, systemu chłodzenia) są wizualizowane na ekranie dotykowym wraz z aktualnymi parametrami tj. ciśnienie, temperatura (rys. 5c). W tym trybie wyświetlany jest czas procesu oraz aktualnie realizowana operacja zaplanowana w recepturze przez operatora. W trakcie procesu można obserwować również krzywe przebiegu procesu obejmujące parametry tj: czas, temperatura, ciśnienie, szybkość nagrzewania i chłodzenia. Oprogramowanie posiada szereg zabezpieczeń uniemożliwiających uszkodzenie urządzenia i spowodowanie niebezpiecznej sytuacji w trakcie trwania procesu.

Dwukomorowy piec próżniowy z systemem hartowania w oleju wyposażony jest w system ciśnienia cząstkowego, którego zadaniem jest zapobieganie sublimacji składników stopowych wsadu, podczas nagrzewania w podciśnieniu. System ten dozuje w tym celu odpowiednią porcję gazu neutralnego - azotu, w takich ilościach aby uzyskać poziom ciśnienia w obszarze bezpiecznym. Ciśnienie we wnętrzu pieca można regulować w zakresie od 10^{-1} do 10 mbar.

Pomiędzy KG a KCh znajduje się śluza. Jej otwarcie umożliwia przeładunek z jednej komory do drugiej wsadu za pomocą systemu transportu. Przy powrocie do Komory chłodzenia system ma możliwość chłodzenia wsadu z piecem lub hartowania w oleju. Drzwi KCh wyposażone są w wizjer umożliwiający operatorowi wizualną kontrolę procesu zachodzącego w przedśionku załadowniczym. Zalety Dwukomorowym piecu próżniowym z systemem hartowania w oleju:

- wysoka jakość (czystość i jasność) obrabianych cieplnie elementów,
- bardzo dobra Powtarzalność Procesów,
- brak możliwości Odwęglenia i Utlenienia części,
- minimalizacja Odkształceń hartowniczych,
- przyjazny środowisku - Brak Emisji CO₂,
- optymalna Konsumpcja Gazów Procesowych,
- pełna Automatyzacja procesów grzania i chłodzenia,
- system Sterowania wyposażony w System Wizualizacji,
- uniwersalność urządzenia pozwala na przeprowadzanie różnych procesów obróbki cieplnej tj. hartowanie, nawęglanie, odpuszczanie itp.,
- izolacja grafitowa oraz elementy grzejne zapewniają długoterminową i niezawodną pracę, tego wysokowydajnego urządzenia w warunkach eksploatacji przemysłowej,
- system grzania radiacyjnego zapewnia równomierne nagrzewanie wsadu również w niskich temperaturach,

- Wysokowydajny system cyrkulacji oleju zapewnia doskonałą penetrację wsadu, dzięki czemu jest on chłodzony bardzo szybko i równomiernie.



Rysunek 5. Sterowanie Dwukomorowego Pieca próżniowego z systemem hartowania w oleju CaseMaster Evolution D4 firmy Seco/Warwick: a) Poszczególne wartości temperatur i ciśnienia, b) Receptura procesu, c) Podgląd widoku pieca

Figure 5. Controlling of Two-chamber vacuum furnace with oil quenching system CaseMaster Evolution D4 the company Seco/Warwick:; a) The individual values of temperature and pressure, b) Recipe of the process, c) Image preview furnace

W Dwukomorowym piecu próżniowym z systemem hartowania w oleju istnieje możliwość wykonywania następujących procesów:

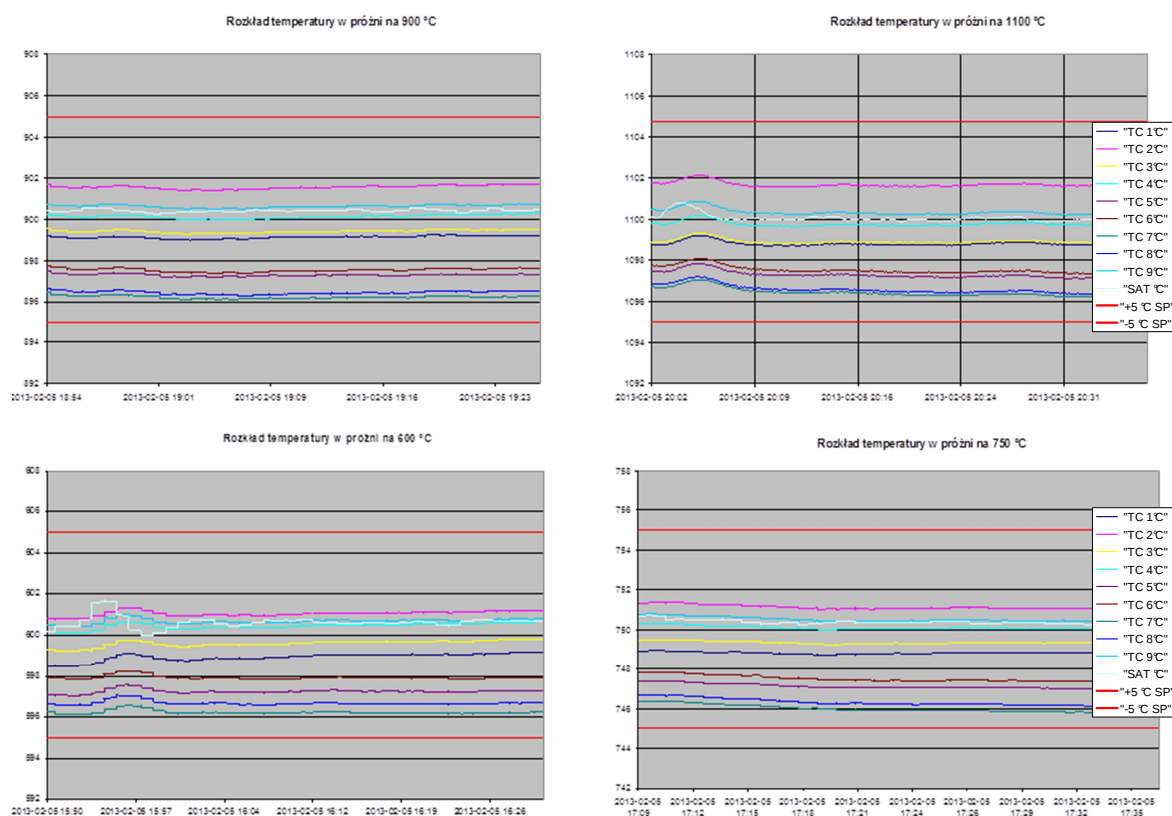
- obróbka cieplna:
 - wyżarzanie,
 - przesycanie,
 - starzenie,
 - odpuszczanie,
- obróbka cieplno-chemiczna:
 - nawęglanie.

Tablica 2. Dane techniczne Dwukomorowego pieca próżniowego z systemem hartowania w oleju CaseMaster Evolution D4 firmy Seco/Warwick

Table 2. Technical Specifications Two-chamber vacuum furnace with oil quenching system CaseMaster Evolution D4 the company Seco/Warwick

Warunki technologiczne	Wielkość
Maksymalna masa wsadu brutto	50 [kg]
Maksymalna temperatura pracy	1250 [°C]
Maksymalne ciśnienie gazu w KCh	1.5 [bar abs]
Próżnia robocza	10 ⁻² [mbar]
Maksymalna temp. oleju przed hartowaniem	60 [°C]
Maksymalna temp. oleju po hartowaniu	120 [°C]
Termopara	Klasa: S (KG)
	Klasa: J (olej)
Stosowane atmosfery ochronne:	próżnia
	azot 5.0

gdzie: KCh - Komora Chłodzenia; KG - Komora Grzewcza



Rysunek 6. Krzywe rozkładu temperatury Komory Grzewczej Dwukomorowego Pieca próżniowego z systemem hartowania w oleju CaseMaster Evolution D4 firmy Seco/Warwick dla poszczególnych temperatur w próżni [17]

Rysunek 6. The curves of temperature distribution Chambers Heating Two-chamber vacuum furnace with oil quenching system CaseMaster Evolution D4 the company Seco/Warwick for the particular temperatures in a vacuum [17]

W tablicy 2 przedstawiono najważniejsze dane techniczne urządzenia. Urządzenie powinno pracować w atmosferze gazów obojętnych.

Na rysunku 6 przedstawiono krzywe rozkładu temperatury, które zostały wyznaczone na podstawie pomiarów termoelementów umieszczonych wewnątrz Komory Grzewczej Dwukomorowego Pieca próżniowego z systemem hartowania w oleju CaseMaster Evolution D4 firmy Seco/Warwick.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawione w niniejszym artykule urządzenia do obróbki cieplnej znajdujące się w Laboratorium Naukowo-Dydaktycznym Nanotechnologii i Technologii Materiałowych Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach są nowoczesnymi urządzeniami do obróbki cieplnej w próżni oraz atmosferach ochronnych i umożliwiają kształtowanie mikrostruktury i własności materiałów inżynierskich znajdujących zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu.

Urządzenia opisane w niniejszym artykule mogą znaleźć zastosowanie do obróbki zarówno materiałów metalowych, ceramicznych, polimerowych i funkcjonalnych. Mają one duży zakres parametrów procesów (temperatura, ciśnienie), wysoką czystość oraz różnorodność atmosfer ochronnych.

LITERATURA

1. L.A. Dobrzański, Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. Podstawy nauki o materiałach i materiałoznawstwo, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.
2. L.A. Dobrzański, Podstawy nauki o materiałach i materiałoznawstwo, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.
3. L.A. Dobrzański, Podstawy kształtowania struktury i własności materiałów metalowych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
4. L.A. Dobrzański, Wprowadzenie do nauki o materiałach, Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
5. L.A. Dobrzański: Zasady doboru materiałów inżynierskich z kartami charakterystyk, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.
6. L.A. Dobrzański, E. Hajduczek, J. Marciniak, R. Nowosielski: Metaloznawstwo i obróbka cieplna materiałów narzędziowych, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1990.
7. D. Szewieczek, Obróbka cieplna materiałów metalowych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
8. L.A. Dobrzański Kształtowanie struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich i biomedycznych, International Word Press OCSCO, Gliwice 2009.
9. W. Luty, Poradnik inżyniera. Obróbka cieplna stopów żelaza, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
10. E. Żmihorski: Stale narzędziowej i obróbka cieplna narzędzi, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1976.

11. M. Blicharski, Inżynieria materiałowa - stal, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2010.
12. M. Feld, Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2009.
13. A.D. Dobrzańska-Danikiewicz, E. Hajduczek, M. Polok-Rubinić, M. Przybył, K. Adamaszek, Evaluation of selected steel thermochemical treatment technologies using foresight methods, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 46/2 (2011) 115-146.
14. D. Szewieczek, T. Karkoszka, B. Krupińska, M. Roszak, Wprowadzenie do projektowania procesów obróbki cieplnej metali i stopów, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.
15. D. Szewieczek, Wprowadzenie do projektowania procesów obróbki cieplnej metali i stopów, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.
16. M. Blicharski, Inżynieria powierzchni, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2013
17. Materiały udostępnione przez firmę Seco/Warwick.