

Jan ŁUKOWSKI, Marcin STANČZYK, Krzysztof SZAROWICZ

## OKREŚLENIE WYTYCZNYCH KONSTRUKCJI SYSTEMÓW OBRÓBKII CIEPLNEJ Z WYKORZYSTANIEM CHŁODZIWIW POLIMEROWYCH

**Streszczenie.** Artykuł zawiera podstawowe wytyczne konstrukcyjne niezbędne przy projektowaniu nowoczesnych systemów obróbki cieplnej, wykorzystujących jako chłodziwa hartownicze roztwory polimerowe. Szczególną uwagę zwrócono na dobór materiałów konstrukcyjnych i ergonomię układów.

## A DETERMINATION OF INSTRUCTIONS FOR HEAT TREATMENT SYSTEMS WHICH USE POLYMER QUENCHING FLUIDS

**Summary.** This paper presents the basic instructions for design of a modern heat treatment system which uses polymer quenching fluids. This paper also introduces problems of materials and ergonomics for integral cooling system.

### 1. WPROWADZENIE

Zmiany w procesach technologicznych uwarunkowane wzrostem wymagań rynku, jak również możliwościami współczesnej inżynierii, spowodowały konieczność rozwoju technologii obróbki cieplnej.

Obróbka cieplna szeroko stosowana w produkcji części maszyn jest jednym z wielu kierunków rozwoju technologicznego, którego celem jest osiągnięcie optymalnych właściwości wyrobu. Zespół wszystkich czynników, tj. szybkość i sposób nagrzewania, a przede wszystkim możliwość chłodziw hartowniczych, warunkuje odpowiedni stan naprężeń po hartowaniu, strukturę i właściwości mechaniczne. W większości przypadków sterowany komputerowo proces nagrzewania wsadu przed hartowaniem nie następuje większych trudności pod względem dotrzymania parametrów termicznych. Istotnym problemem z punktu widzenia końcowych właściwości wyrobu jest proces oziębiania stali podczas hartowania. Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat zauważalny jest znaczny postęp związany ze sposobami chłodzenia, a w szczególności jakością i możliwościami współczesnych chłodziw hartowniczych. Stosowanie nowych komponentów wymaga budowy nowych instalacji bądź modernizacji istniejącego już systemu chłodzenia. Prawidłowy dobór materiałów oraz rozmieszczenie elementów składowych układu stanowi o żywotności i sprawności całej infrastruktury technicznej, a co się z tym wiąże - o kosztach eksploatacji [1-3].

## 2. TYPY I RODZAJE CHŁODZIW HARTOWNICZYCH

W zależności od rodzaju obrabianego cieplnie materiału stosowane są różnego rodzaju ośrodki chłodzące, począwszy od naturalnych, jak np. woda i oleje, poprzez solne roztwory hartownicze aż po syntetyczne roztwory chłodzące nowej generacji. Wady i zalety wody oraz olejów hartowniczych są ogólnie znane. Niedostatki powyższych mediów doprowadziły do opracowania syntetycznych chłodziw polimerowych.

Polimerowe ośrodki chłodzące dzieli się na cztery grupy:

- PAG - glikole poliakrylenowe,
- ACR - poliakrylany alkaliczne,
- PVP - poliwinyle pirolidonowe,
- PEO - polietyle oksazolinowe.

Polimery typu PAG i PEO należą do grupy chłodziw, których mechanizm działania oparty jest na zmiennej rozpuszczalności w wodzie i uzależniony jest od temperatury ośrodka chłodzącego. Pozostałe dwa typy, tj. ACR i PVP, działają na podstawie zmiany lepkości ośrodka chłodzącego w funkcji temperatury.

W skład koncentratów oprócz głównych składników wchodzi ponadto inhibitory korozji oraz dodatki antypienne, antybakteryjne, regulujące napięcie powierzchniowe, stabilizujące pH i inne. Chłodziwa te mają szeroko różniące się własności, zaś dużą elastyczność charakterystyk hartowniczych można uzyskać poprzez wybór rodzaju polimeru, jego stężenia, temperatury kąpeli i stopnia jej mieszania. Efektywne stosowanie chłodziw polimerowych zależy od wielu czynników, tj. hartowności stali, grubości przekroju, gładkości powierzchni wyrobu, typu pieca, konstrukcji układu chłodzenia oraz wymaganych własności fizycznych wyrobu [1-7].

## 3. PROJEKTOWANIE INSTALACJI DO OBRÓBKII CIEPLNEJ

Jednym z ważniejszych aspektów chłodzenia, który bardzo często jest pomijany, jest kompleksowy projekt systemu chłodzenia. Dzięki odpowiedniej konfiguracji osprzętu pomocniczego i sterującego procesem, można uzyskać optymalne własności obrabianego materiału. Podczas projektowania nowego systemu oraz modyfikacji już istniejących układów należy zwrócić uwagę na szereg czynników, takich jak [1-7]:

- łatwość obsługi i sterowania,
- wymiary zbiornika (wanny) i jego pojemność,
- materiał konstrukcji zbiornika i osprzętu,
- rozmieszczenie układów składowych i sprawny system transportu przemysłowego między nimi,
- ruch ośrodka chłodzącego,
- podgrzewanie i chłodzenie kąpeli,
- filtracja chłodziwa,
- magazynowanie i przechowywanie chłodziwa.

### 3.1. Wymiary i objętość zbiornika

Z punktu widzenia technologii całego procesu istotną sprawą są rozmiary zbiornika. Wymiary gabarytowe dobierane są na podstawie wymiarów obrabianego wsadu przy uwzględnieniu dodatkowych urządzeń mieszających, dozujących polimer, podgrzewających itp. Podstawą prawidłowo przeprowadzonej obróbki cieplnej (chłodzenia) jest możliwość

całkowitego zanurzenia wsadu w chłodziwie. Należy zwrócić uwagę na to, aby w miarę możliwości wsad nie stykał się z dnem. Zapewnia to prawidłowe chłodzenie całej powierzchni obrabianego przedmiotu. Konstrukcja zbiornika powinna pozwalać na swobodną manipulację wsadem oraz zachowanie odpowiednich parametrów ruchu ośrodka.

Pojemność zbiornika należy dobrać tak, aby podczas obróbki nie następował nadmierny wzrost poziomu lustra chłodziwa, co w połączeniu ze wzrostem temperatury, a co za tym idzie, przyrostem objętości, nie prowadziło do przelewania chłodziwa na zewnątrz wanny. Z punktu widzenia poprawności procesu niezbędna objętość chłodziwa określana jest na podstawie masy wsadu i jego rodzaju. W przypadku zbiorników bez dodatkowych instalacji chłodzących niezbędną ilość chłodziwa można określić na podstawie poniższego równania:

$$\begin{aligned} & \text{masa wsadu (metal)} \times \text{ciepło właściwe wsadu (metal)} \times \text{spadek temperatury wsadu} \\ & \qquad \qquad \qquad = \\ & \text{masa chłodziwa} \times \text{ciepło właściwe chłodziwa} \times \text{wzrost temperatury chłodziwa} \end{aligned}$$

### 3.2. Materiały konstrukcyjne

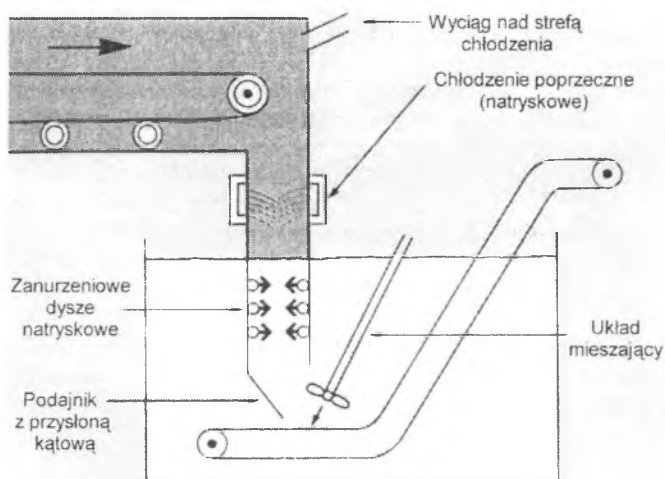
Preferowanym materiałem na kompleksowe konstrukcje systemów chłodzenia są stopy żelaza. Miękkie stale są polecane na poszycia zbiorników, natomiast żeliwa na osprzęt, tj. korpusy pomp, zawory, itp. Miedź oraz stopy miedzi nie powinny być stosowane w instalacjach, gdzie chłodziwami są oleje hartownicze, gdyż wchodzi one z nimi w reakcje chemiczne. Stopy niezłazne, tj. stopy cynku i magnezu, mogą reagować z zasadowymi środkami polimerowymi i z tego względu powinny w miarę możliwości być eliminowane z konstrukcji integralnych układów chłodzenia. Pokrycia galwaniczne zbiorników w przypadku stosowania chłodziw polimerowych też nie są polecane.

Zabezpieczenia antykorozyjne zbiorników powinny być realizowane na drodze pokryć lakierniczych opartych na lakierach epoksydowych.

### 3.3. Ergonomia układu

Podczas projektowania układów chłodzenia pracujących w trybie ciągłym (rys. 1) należy zwrócić uwagę na rozmieszczenie i typ poszczególnych urządzeń systemu transportowego itp. W przypadku gdy mamy do czynienia z chłodzeniem natryskowym lub kurtynami chłodzącymi, gdzie podajnik wsadu znajduje się bezpośrednio nad chłodziwem lub głównym zbiornikiem, należy uwzględnić efekt parowania chłodziwa. Bardzo często dochodzi do sytuacji, w których odparowane cząsteczki chłodziwa dostają się do strefy grzewczej pieca. Tego typu efekt jest niedopuszczalny w przypadku pieców o kontrolowanej atmosferze strefy grzewczej. Ponadto zmienna temperatura i wilgotność może wpływać na odkształcenie taśm przenośników. W tego typu przypadkach należy zwrócić uwagę na system wentylacji układu, umożliwiający usunięcie odparowanego chłodziwa.

W wielu przypadkach przenośniki taśmowe zastępowane są przenośnikami łańcuchowymi. W celu poprawy warunków pracy przenośników mogą być umieszczane pod kątem bądź stosowane są specjalne osłony, które wpływają na zmniejszenie odkształceń podzespołów przenośnika podczas pracy.



Rys. 1. Schemat systemu chłodzenia pracującego w systemie ciągłym [2]

Fig. 1. Schematic arrangement of quenching system in a continuous furnace [2]

### 3.4. Ruch ośrodka chłodzącego

Ruch ośrodka ma bardzo istotny wpływ na szybkość chłodzenia. Redukuje on czas trwania fazy parowej i powoduje wzrost maksymalnej szybkości chłodzenia. Efektywny ruch ośrodka zapewnia jednolity rozkład temperatury w całej objętości wanny, co w rezultacie wpływa na właściwości obrabianego wsadu.

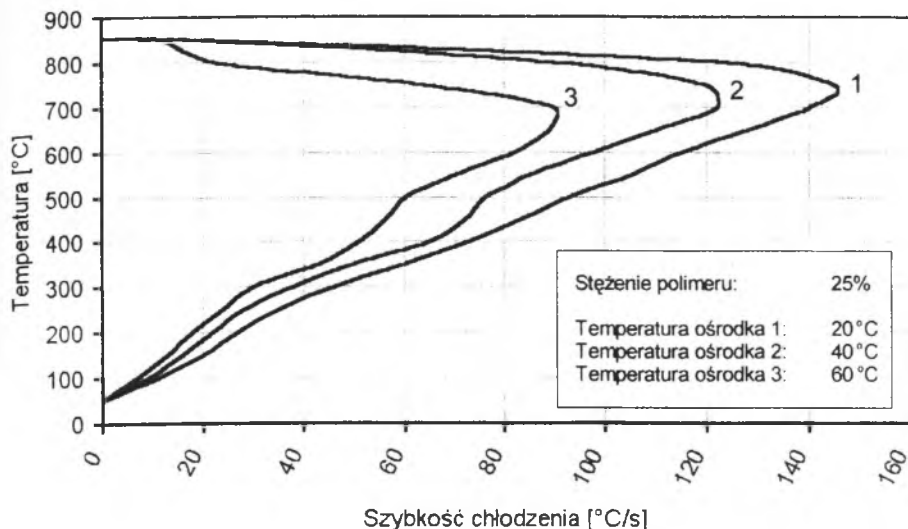
Ruch ośrodka może być wymuszony na kilka sposobów. Najczęściej spotykane są układy z pompami napędzanymi silnikami elektrycznymi. Usytuowanie urządzeń wymuszających ruch chłodziwa lub samych dysz powinno być tak zaprojektowane, aby chłodziwo było bezpośrednio unoszone ku górze dookoła chłodzonego elementu.

Zastosowanie mieszadła śmigłowego stanowi najprostsze rozwiązanie. Jednak w niektórych przypadkach może stanowić to problem ze względu na ograniczoną objętość zbiornika, w której montowane są dodatkowe urządzenia. Mogą one przeszkadzać podczas załadunku i manipulacji wsadem. W tego typu przypadkach warto korzystać z zewnętrznych pomp i układu dysz montowanych bezpośrednio w wannie hartowniczej.

Nie poleca się mieszania kąpieli za pomocą sprężonego powietrza. Powoduje to utlenianie, szybsze starzenie się ośrodka chłodzącego oraz jego nadmierne pienienie. Sprężone powietrze wpływa również negatywnie na jednorodność chłodziwa. Ponadto powstaje możliwość wprowadzenia zanieczyszczeń, bakterii, grzybów itp.

### 3.5. System ogrzewania i chłodzenia

Wszystkie chłodziwa hartownicze posiadają swoją optymalną temperaturę pracy. W przypadku chłodziw polimerowych temperatura ośrodka, oprócz stężenia polimeru w wodzie oraz intensywności mieszania, ma znaczący wpływ na szybkość chłodzenia (rys. 2). Z tego względu istotne znaczenie ma kontrola temperatury, a w szczególności możliwość podgrzewania i chłodzenia ośrodka hartowniczego.



Rys. 2. Wpływ temperatury ośrodka typu PAG na szybkość chłodzenia

Fig. 2. The effect of temperature on quenching characteristics for PAG

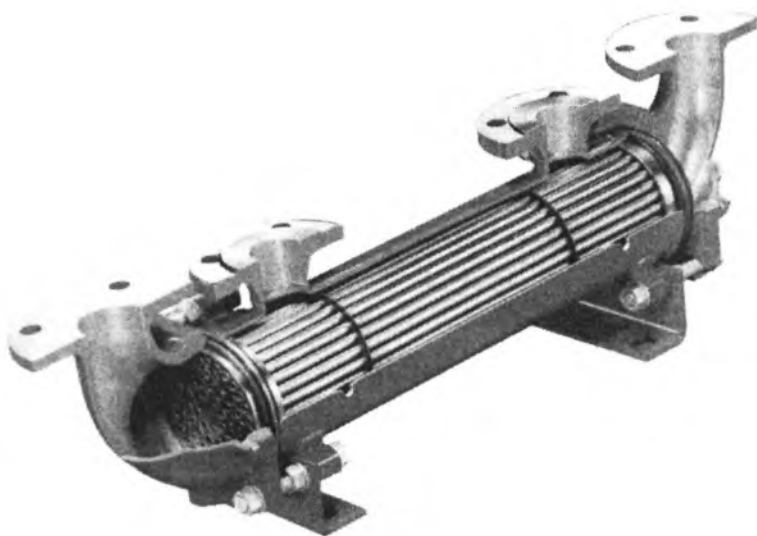
Ogrzewanie chłodziwa może odbywać się na kilka sposobów. Można stosować ogrzewanie elektryczne (oporowe), ogrzewanie za pomocą wymienników ciepła zasilanych gazem, olejem bądź wykorzystując „zbędne” ciepło z różnego rodzaju pieców. Maksymalna moc grzewcza elektrycznych źródeł ciepła nie powinna przekraczać  $15 \text{ kW/m}^2$ . Większe moce mogą powodować lokalne przegrzewanie chłodziwa, co w konsekwencji prowadzi do szybszej degradacji ośrodka. Efekt taki może być również skutkiem zbyt małej prędkości ruchu chłodziwa podczas nagrzewania.

Chłodzenie mediów może odbywać się poprzez:

- zanurzeniowe wymienniki ciepła,
- chłodzenie zewnętrznych powierzchni zbiorników,
- zewnętrzne wymienniki ciepła chłodzone cieczą,
- zewnętrzne wymienniki ciepła chłodzone powietrzem.

Pierwsza i druga metoda schładzania o ograniczonych możliwościach stosowana jest w małych systemach chłodzenia. Na skalę przemysłową, ze względu na swą skuteczność, stosowane są układy z chłodnicami zewnętrznymi (rys. 3). W przypadku stosowania chłodnic typu powietrze – ciecz preferuje się usytuowanie wymienników ciepła na zewnątrz hali. Zapobiega to nadmiernemu ruchowi powietrza w okolicach zbiornika, a co się z tym wiąże, zmniejsza się prawdopodobieństwo zanieczyszczenia bakteriynego i zapylenia.

W celu zapewnienia maksymalnej skuteczności chłodzenia ciecz powinna być pobierana z górnych partii zbiornika, a następnie kierowana poprzez wymienniki ciepła w okolice dna wanny hartowniczej.



Rys. 3. Zewnętrzny wymiennik ciepła chłodzony cieczą [2]

Fig. 3. Water-cooled heat exchanger of the shell and tube type [2]

Stopy miedzi i aluminium ze względu na możliwość reakcji z ośrodkami polimerowymi lub olejami hartowniczymi nie są polecane do budowy chłodziw. Wielkość chłodziw, jak również zespół parametrów chłodzenia powinny być tak dobrane, aby zapewniały skuteczny odbiór ciepła podczas chłodzenia gorącego wsadu.

#### 4. PODSUMOWANIE

Chłodziwa polimerowe w porównaniu do podstawowych mediów hartowniczych, takich jak woda i olej, pozwalają na szersze zastosowanie w obróbce cieplnej różnych gatunków stali. Szereg czynników ekologicznych, ekonomicznych i technologicznych powoduje, że chłodziwa syntetyczne coraz częściej są stosowane i coraz częściej wypierają standardowe media z rynku. Szeroka gama chłodziw polimerowych umożliwia obróbkę stali konstrukcyjnych, jak również stopowych. Duża uniwersalność tego typu chłodziw powoduje, że coraz częściej podczas projektowania lub modyfikacji układów chłodzenia instalacje te projektuje się z myślą o nowoczesnych chłodziwach syntetycznych. Wysokie wymagania współczesnego rynku powodują, że stosowane do tej pory technologie nie pozwalają na osiągnięcie optymalnych własności gotowego wyrobu. Zmiany w systemie chłodzenia, a w szczególności możliwość precyzyjnego sterowania parametrami obróbki cieplnej w przypadku roztworów polimerowych, pozwalają na szeroką korektę własności wytrzymałościowych, plastyczności, udarności stali itp. Stabilność procesu i powtarzalność wyników po hartowaniu w chłodziwach polimerowych w warunkach przemysłowych stanowią o wysokich walorach technologicznych i ekonomicznych tego typu chłodziw.

## Literatura

1. Lalik S., Niewielski G., Hetmańczyk M.: Wpływ chłodziw hartowniczych na strukturę i właściwości odkuwek ze stali 40HNMA, *Inżynieria Materiałowa* nr 4, 2001.
2. Houghton on Quenching – katalog handlowy firmy Houghton.
3. Szewieczek D.: Obróbka cieplna materiałów metalowych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
4. Michels W.H.: Pollution – prevention Analysis of Oil and Polymer Quenching in the Heat Treatment of Steel, *Heat Treatment of Metals* nr 1, 1995.
5. Hasson J.: Quench system design factors, *Advanced Materials & Processes*, nr 9, 1995.
6. Han S.W., Kang S.H., Totten G.E., Webster G.M.: Immersion time quenching, *Advanced Materials & Processes*, nr 9, 1995.
7. Totten G.E., Webster G.M., Blackwood R.R., Jarvis L.M., Narumi T.: Designing chute quench for continuous furnace heat treating effectively, *Industrial Heating*, nr 11, 1995.

Recenzent: Dr hab. inż. Eugeniusz Hadasik

## Abstract

One of the most perspective directions of technology development of thermal processing are the improving thermal procedures, in which solutions of polymer synthetic cooling are used as chilling means. The main benefits of polymer hardening means using contain in three categories: ecological, technological and productive. The range of polymer cooling usage in thermal processing will constantly grow because of fire-resistance, washing elimination, fat and dry-cleanings, which are essential after processing in other cooling means.