

mgr inż. Szymon GŁOWACKI, mgr inż. Walerian MAJCHRZAK,  
mgr inż. Andrzej MAJCHRZAK  
Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań

# Obróbka cieplna stali przeznaczonych na części maszyn i narzędzia do obróbki plastycznej w zmodernizowanym piecu próżniowym RVFOQ-224

*Application of modernized RVFOQ-224 vacuum furnace  
for heat treatment of steels used for machine elements  
and plastic working tools*

## **Streszczenie**

Opisano zmodernizowany piec próżniowy RVFOQ-224, zainstalowany w hartowni Instytutu Obróbki Plastycznej w Poznaniu. Podano wyniki pomiaru temperatury w funkcji czasu wg zaprogramowanego cyklu nagrzewania. Zamieszczono liczne przykłady zastosowania RVFOQ-224 m.in. do obróbki cieplnej stali narzędziowych, szybko tnących i nierdzewnych. Doświadczenia eksploatacyjne potwierdzają zalety pieca.

## **Abstract**

*Modernized RVFOQ-224 vacuum furnace installed in a heat treatment department of the Metal Forming Institute in Poznań is described. Results of measurements of temperature as time function according to programmed heating cycle are given as well as several application examples of RVFOQ-224. It has been used between others for heat treatment of tool steels, HSS and stainless steels. Operation trials has proved advantages of the furnace.*

**Słowa kluczowe:** piec próżniowy, temperatura, pomiar, obróbka cieplna, stal narzędziowa, stal szybko tnąca, stal nierdzewna, nawęglanie

**Key words:** vacuum furnace, temperature, measurement, heat treatment, tool steel, high speed steel, stainless steel, carburising

## **1. WSTĘP**

Celem zwiększenia możliwości realizacji prac badawczych w zakresie eksploatacji narzędzi do obróbki plastycznej i procesów obróbki cieplnej oraz poszerzenia oferty usług w zakresie nowoczesnej obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej stali narzędziowych, Instytut zakupił piec próżniowy typu RVFOQ-224 wyprodukowany przez Lubuskie Zakłady Termotechniczne ELTERMA w Świebodzinie.

Jest to piec próżniowy dwukomorowy do obróbki cieplnej w zakresie do 1300 °C wsadu o masie do 150 kg w próżni (max. 10<sup>-3</sup> hPa),

z chłodzeniem wsadu w oleju hartowniczym lub w gazie obojętnym (azocie).

Nabyty piec został zmodernizowany ze względu na obecnie obowiązujące normy dotyczące urządzeń próżniowych. Wymieniono szafę elektryczną pieca, a w układzie sterowniczym zastosowano nowoczesne przekaźniki. Szafę wyposażono w rejestrator 3-kanałowy RS5A (zapis temperatury komory grzejnej, temperatury oleju hartowniczego, wielkości próżni) oraz regulator programowalny RE15 do wyznaczania parametrów cyklu grzania wsadu (temperatura, czas).

Na rys. 1 przedstawiono widok zmodernizowanego pieca RVFOQ-224 w hartowni Pracowni Obróbki Ciepłej Instytutu, a rys. 2 pokazuje nową szafę sterowniczą tego pieca.



Rys. 1. Zmodernizowany piec RVFOQ-224 w hartowni Pracowni Obróbki Ciepłej Instytutu

*Fig. 1. Modernized RVFOQ-224 vacuum furnace in the heat treatment department of the Institute*



Rys. 2. Szafa sterownicza zmodernizowanego pieca RVFOQ-224 w hartowni Pracowni Obróbki Ciepłej Instytutu

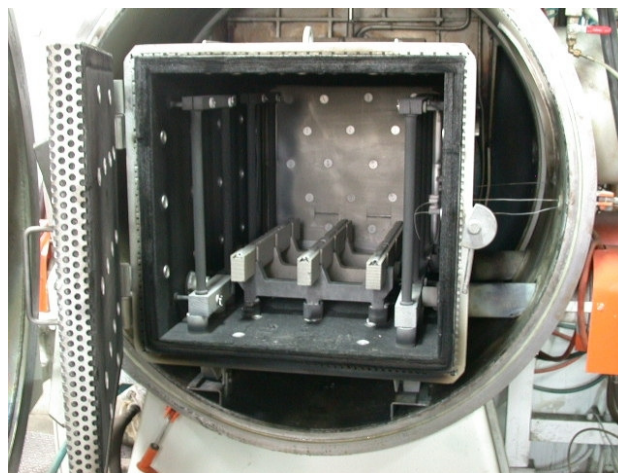
*Fig. 2. Steering box of the modernized RVFOQ-224 vacuum furnace in the heat treatment department of the Institute*

## 2. OPIS ZMODERNIZOWANEGO PIECA PRÓŻNIOWEGO RVFOQ-224

Jak już wspomniano, piec próżniowy typu RVFOQ-224 jest piecem dwukomorowym (komora chłodzenia, komora grzejna) z poziomym załadunkiem wsadu. Załadunek i wyładunek wsadu (w koszu lub na tacy) następuje do przedsionka pieca (komory chłodzenia). Przedśionek wyposażony jest w wentylator i wymienniki ciepła do przyspieszonego chłodzenia wsadu w azocie. W dolnej jego części znajduje się wanna hartownicza z aparaturą podgrzewania, systemem chłodzenia i systemem mieszania oleju hartowniczego.

W przedsionku pieca zamontowany jest mechanizm transportu poziomego, który automatycznie przemieszcza wsad do komory grzejnej i zabiera z niej obrobiony wsad.

W środkowej części pieca zamontowana jest śluza termiczna i próżniowa. Piec posiada cylindryczną próżnioszczelną komorę grzejną o podwójnych ściankach chłodzonych wodą.



Rys. 3. Wnętrze komory grzejnej; widok od strony drzwi próżniowych

*Fig. 3. Heating chamber (inside); view from the side of vacuum doors*

W obudowie umieszczona jest prostopadłościenna komora grzejna z izolacją z włókniwy węglowej WRW-9/100 o grubości 40 mm. Wewnętrzna strona izolacji wyłożona jest SGRAFLEXEM-F. Na ścianach bocznych zamontowane są grafitowe elementy grzejne (rys. 3). Wsad w komorze grzejnej spoczywa na grafitowych podporach wyłożonych pryzmami ceramicznymi. Komora próżniowa posiada z tyłu

drzwi próżniowe otwierane ręcznie. Można je wykorzystać do bezpośredniego załadunku i wyładunku wsadu do komory grzejnej oraz do konserwacji i naprawy uszkodzonych elementów komory.

W drzwiach pieca zainstalowane są wzorniki do obserwacji wsadu, jeden do sporadycznej kontroli w komorze grzejnej i drugi, podświetlany, od strony załadowniczej, przedsionka. Piec wyposażony jest w wymaganą instalację pomp próżniowych, wody chłodzącej, gazu chłodzącego (azotu) i sprężonego powietrza.

System pomp próżniowych składa się z:

- pompy mechanicznej BL-200,
- pompy Roots'a typ RPW-600,
- pompy mechanicznej BL-90,
- pompy dyfuzyjnej PDO-6000.

W piecu możliwe jest stosowanie następujących wariantów chłodzenia:

A. W komorze grzejnej:

- 1- w próżni,
- 2- w gazie chłodzącym (azocie).

B. W komorze chłodzenia:

- 1 - bezpośrednio w oleju + wypełnienie gazem,
- 2 - bezpośrednio w oleju + opóźnione wypełnienie gazem,
- 3 - ze zwłoką w oleju + natychmiastowe wypełnienie gazem,
- 4 - oscylacyjnie w oleju i w gazie,
- 5 - w gazie,
- 6 - w gazie z wymuszoną cyrkulacją.

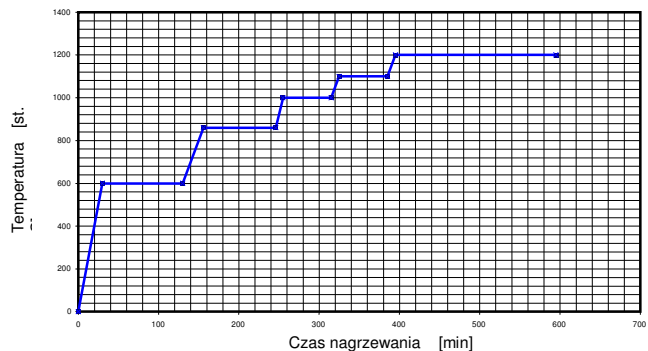
### Dane techniczne zmodernizowanego pieca RVFOQ-224

Wymiary użyteczne komory grzejnej	- BxLxH = = 380x610x300 mm
Max. masa wsadu (brutto)	- 150 kg
Temperatura znamionowa	- 1300 °C
Moc elementów grzejnych	- 2x32 kW
Regulacja temperatury	- dwupołożeniowa
Dokładność regulacji	- ± 3 °C
Min. czas grzania komory grzejnej do temperatury znamionowej	- ok. 60 min.
Materiał elementów grzejnych	- grafit
Izolacja cieplna	- włóknina węglowa
Typ termoelementów	- N
Program temperatury	- dwustopniowy

Pompa olejowa mechaniczna BL-200	- 200 m <sup>3</sup> /h
Pompa Roots'a RPW-600	- 600 m <sup>3</sup> /h
Pompa mech. wstępna BL-90	
pompy dyfuzyjnej	- 90 m <sup>3</sup> /h
Pompa dyfuzyjna PDO 6000	- 6000 l/s
Max. próżnia w komorze grzejnej	- 1x10 <sup>-3</sup> hPa
Objętość oleju hartowniczego	- 1500 l
Zasilanie	- 3x400 V – 50 Hz
Moc wszystkich odbiorników	- 104,5 kW
Masa pieca	- ok. 9 t
Gaz chłodzący	- azot
Ciśnienie gazu	- 0,15-0,25 MPa
Czystość gazu	- 99,999%
Ciśnienie sprężonego powietrza	- 0,5-1 MPa
Ciśnienie wody chłodzącej	- 0,13-0,15 MPa
Temperatura wody chłodzącej na wlocie (max)	- 21 °C

### 3. POMIAR TEMPERATURY WSADU

Celem porównania przebiegu nagrzewania komory pieca i znajdującego się w niej wsadu, piec wyposażono w dodatkowy układ do pomiaru temperatury w komorze grzejnej. Badania procesu przeprowadzono przy nagrzewaniu wałka stalowego o wymiarach  $\varnothing 120 \times 170$  mm o masie 15 kg i detalu o masie również 15 kg umieszczonym w koszu o masie 17 kg. Po załadunku kosza z wsadem bezpośrednio do komory grzejnej pieca, końcówkę dodatkowego termoelementu TP 233N (Nicrosil-Nisil) o średnicy 1,5 mm do pomiaru temperatury max. 1250 °C wsunęto w otwór wałka na głębokość 40 mm. Wsad o łącznej masie ok. 50 kg nagrzewano wg parametrów zaprogramowanych regulatorem RE15 (rys. 4).



Rys. 4. Zaprogramowany przebieg nagrzewania pieca z wsadem o masie ok. 50 kg

Fig. 4. Programmed heating cycle of the furnace loaded with 50 Kg weighing work

Tablica 1. Pomiar temperatury nagrzewania wg programu (rys. 4)

Table 1. Results of temperature measurements during heating according to the programme (fig. 4)

Lp.	Czas nagrzewania [min]	Temperatura °C		
		pieca wg programu	wsadu	termopary zabezpieczającej
1	0	20	20	20
2	5	167	31	90
3	15	330	60	240
4	35	600	273	603
5	55	600	419	597
6	75	600	528	593
7	105	600	584	588
8	120	600	593	588
9	160	600	601	593
10	180	760	663	757
11	195	860	772	864
12	220	860	846	856
13	295	1000	939	1001
14	315	1000	995	997
15	330	1000	998	997
16	345	1000	999	998
17	365	1100	1052	1100
18	375	1100	1090	1098
19	385	1100	1095	1098
20	425	1110	1100	1109
21	438	1200	1157	1201
22	460	1200	1197	1197
23	465	1200	1199	1200
24	475	1200	1200	1200
25	495	1199	1199	1197
26	555	1200	1200	1199

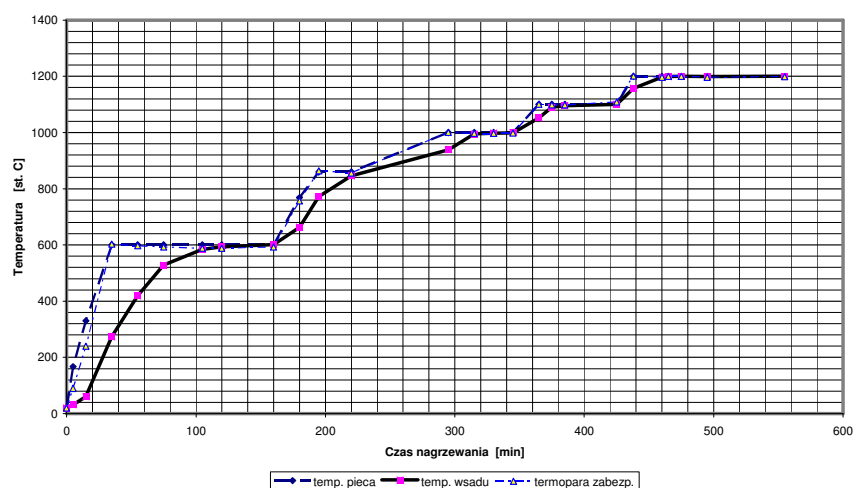
W czasie cyklu grzania mierzono temperaturę wskazywaną przez:

- termoparę w komorze pieca sterowaną przez regulator RE15,
- termoparę umieszczoną we wsadzie,
- termoparę zabezpieczającą.

Zmierzone wielkości temperatur zestawiono w tablicy 1, a graficzny przebieg tych zmian przedstawiono na wykresie (rys. 5).

Z przeprowadzonych pomiarów temperatury nagrzewania (rys. 4, tablica 1) stalowego wsadu o masie ok. 50 kg wg parametrów zadanych regulatorem RE15 (zaprogramowana prędkość nagrzewania do określonej temperatury oraz czas wygrzewania w tej temperaturze) wynika, że parametry cyklu nagrzewania tego wsadu zostały dobrane prawidłowo. Porównanie temperatury zmierzonej termoparą umieszczoną w wałku z wynikami pomiaru za pomocą termopary pieca (sprzężonej z programatorem RE15), przedstawiono na rys. 5. Z wykresu wynika, że wsad był nagrzewany równomiernie w całej masie w ustalonych progach temperatury: 600, 860, 1000, 1100 i 1200 °C.

Osiągnięcie przez wsad określonej temperatury, w poszczególnych fazach cyklu nagrzewania, potwierdziły obserwacje wzrokowe przez wziernik komory grzania.



Rys. 5. Zmiany temperatury pieca i wsadu w czasie nagrzewania wg programu  
Fig. 5. Furnace and work temperature changes during programmed heating cycle

#### 4. PRZYKŁADY PROCESÓW OBRÓBKIE CIEPLNEJ PRZEPROWADZONYCH W PIECU RVFOQ-224 ORAZ PRZYKŁADY OBRABIANYCH WYROBÓW [7]

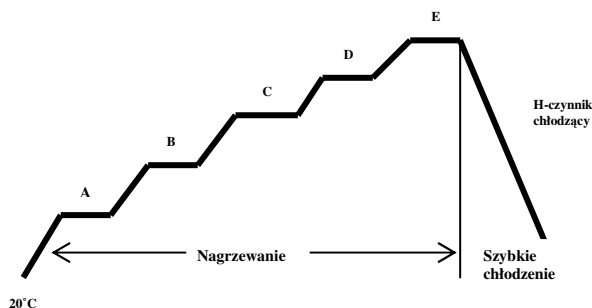
Przydatność i zalety pieca RVFOQ-224 znalazły potwierdzenie w czasie jego eksploatacji. W sposób zamierzony i celowy różnicowano procesy i obrabiane materiały. Hartowano w oleju lub za pomocą sprężonego azotu stale narzędziowe – do pracy na gorąco (WCL), do pracy na zimno (NC10, NC11, NC11LV), stale szybko tnące (SW7M, Vanadis), stale nierdzewne (4H13, 1.2316), stosowano operacje łączone: hartowanie w RVFOQ-224 + obróbka podzerowa (NC11LV), spiekano wypraski z proszków metali, nawęglano próżniowo wybrane gatunki stali.

Mierzono uzyskane twardości i odkształcenia hartownicze, badano struktury po nawęglaniu i obróbce cieplnej.

##### 4.1. Obróbka cieplna stali szybko tnących

W tabelicy 2 przedstawiono warunki i wyniki wybranych procesów obróbki cieplnej stali szybko tnącej SW7M oraz Vanadis, na które składały się operacje: hartowania w piecu RVFOQ-224 i dwukrotnego odpuszczania w tradycyjnym, elektrycznym piecu komorowym.

Zaprogramowany i realizowany cykl hartowania tych stali w opisanym piecu próżniowym pokazano na rys. 6. Ilustracja ta przedstawia oznaczone literami przystanki krzywej nagrzewania, których wartości dla poszczególnych procesów podano w tabelicy 2.



Rys. 6. Schemat cyklu hartowania  
Fig. 6. Scheme of quench hardening cycle

##### 4.1.1. Obróbka nożyków ze stali SW7M – proces nr 1 (tablica 2)

Według charakterystyk zamieszczonych w [1], zastosowane temperatury hartowania i odpuszczania powinny dać twardość ok. 65 HRC. Uzyskane nieco niższe wartości (63-64 HRC) mieszczą się w granicach błędów pomiaru. Duża masa wsadu uzasadnia stosunkowo długie końcowe wygrzewania (15 i 22 min). Zahartowane w azocie nożyki nie były powyginane – nie wystąpiły odkształcenia hartownicze.

##### 4.1.2. Obróbka noży ze stali SW7M – proces nr 2 (tablica 2)

Po hartowaniu noże uzyskały twardość odpowiadającą, z uwzględnieniem błędów pomiaru, twardości (65 HRC) odczytanej z charakterystyki podanej dla tej stali w [1]. Również twardość uzyskana po dwukrotnym odpuszczaniu (64 HRC) jest zgodna z danymi z tego źródła.

##### 4.1.3. Obróbka stempli i matryc ze stali SW7M – proces nr 3 (tablica 2)

Podobnie zgodne z danymi źródłowymi są rezultaty obróbki cieplnej stempli i matryc, w której program hartowania tylko nieznacznie różnił się od programu hartowania noży (temperatura ostatniego wygrzewania niższa o 15 °C, czas – krótszy o ok. 5 min).

##### 4.1.4. Obróbka gwintowników ze stali SW7M – proces nr 4 (tablica 2)

Wynik hartowania – zgodny z oczekiwaniami, a niższe o 1-2 HRC twardości po II odpuszczaniu (w porównaniu do informacji źródłowych [1]) można wytłumaczyć błędami pomiaru. Uzyskane twardości spełniają wymagania odbiorcy.

##### 4.1.5. Obróbka kostek ze stali Vanadis – proces nr 5 (tablica 2)

Vanadis 23 [2] jest stalą szybko tnącą, uzyskaną w wyniku zastosowania technologii proszków spiekanych, której typowy skład chemiczny (główne składniki) przedstawia się następująco: 1,28% C; 4,2% Cr; 5,0% Mo; 6,4% W i 3,1% V.

Tablica 2. Warunki i wyniki obróbki przedmiotów ze stali szybko tnącej [7]

Table 2. Conditions and results of HSS work heat treatment [7]

Proces nr		1	2	3	4	5	
Obrabiane przedmioty – wsad		Nożyki ze stali SW7M	Noże ze stali SW7M	Stemple i matryce ze stali SW7M	Gwintowniki ze stali SW7M	Kostki matrycowe ze stali Vanadis	
Hartowanie (rys. 6)	Nagrzewanie stopniowe – stopnie wygrzewania	A [°C]/[min]	600/20	600/20	600/20	600/20	600/20
		B [°C]/[min]	850/20	860/20	860/20	860/20	860/20
		C [°C]/[min]	1000/15	1000/15	1000/15	1000/15	1000/20
		D [°C]/[min]	1100/15	1150/15	1150/15	1150/15	1150/15
		E [°C]/[min]	1210/22	1215/17	1200/10	1196/10	1170/8
	H – czynnik chłodzący	azot	olej (o temp. 60 °C)	olej (o temp. 60 °C)	olej (o temp. 60 °C)	olej (o temp. 60 °C)	
	Twardość po hartowaniu [HRC]	62-63	63-64	64	64	64	
I odpuszczenie	Warunki : temperatura/czas [°C]/[min]	550/90	550/120	550/150	550/120	570/150	
	Twardość po I odpuszczaniu [HRC]	62	64	64	63	66	
II odpuszczenie	Warunki : temperatura/czas [°C]/[min]	550/90	540/90	550/100	550/60	580/120	
	Twardość po II odpuszczaniu [HRC]	63-64	64	65	63	64	

Po hartowaniu (1170° C/8 min/olej – tablica 2) uzyskano twardość 64 HRC, odpowiadającą charakterystyce podanej przez producenta *Vanadis* 23 (1160 °C – 64 HRC; 1180 °C – 65 HRC). Wg tej charakterystyki także, po trzykrotnym odpuszczaniu w temperaturze 560 °C (3 razy po 1h) *Vanadis* 23 hartowanego z 1160 °C, powinno się osiągnąć twardość 66 HRC ( $\pm 1$  HRC). Z tab. 2 wynika, że ograniczono się do dwukrotnego odpuszczania w nieco niższej temperaturze i przez dłuższy czas, co w rezultacie dało twardość 64 HRC – taką, jaka odpowiadała wymaganiom odbiorcy.

#### 4.2. Obróbka cieplna stali nierdzewnych

Obrabiano cieplnie części maszyn wykonane ze stali nierdzewnych: 4H13 oraz 1.2316. Oba te gatunki należą do grupy martenzytycznych stali odpornych na korozję, zawierających dużą ilość chromu (4H13 – 12 do 14%; 1.2316 – 16%). Warunki oraz wyniki obróbki cieplnej podano w tablicy 3. Podobnie, jak w przypadku stali szybko tnących, części ze stali nierdzewnej hartowano w piecu próżniowym RVFOQ-224 i odpuszczano w elektrycznym piecu komorowym, w powietrzu.

W pierwszym procesie (poz. 1 – tablica 3), aby osiągnąć wymaganą twardość części ze stali 4H13 (56 HRC), hartowano wsad z podwyższonej temperatury (1080 °C), w drugim przypadku (poz. 2 – tablica 3) temperatura hartowania była niższa (1020 °C) i po niskim odpuszczaniu (odprężającym), uzyskano twardość pierścieni z tej samej stali bliską wartości podawanej w charakterystyce [1] i wymaganej przez odbiorcę.

W trzecim procesie (poz. 3 – tab. 3) obrabiano pierścienie ze stali 1.2316. Jest to stal niemiecka, występująca w DIN jako X36CrMo17. Zawiera ona, na podstawie źródła internetowego [3], 0,36% C; 16,00% Cr i 1,20% Mo. Ma zakres temperatury hartowania od 1020 do 1050 °C; twardość po hartowa-

niu – 49 HRC i następujące twardości zależnie od temperatury odpuszczania: 100 °C – 49 HRC; 200 °C – 47 HRC; 300 °C – 46 HRC; 400 °C – 46 HRC; 500 °C – 47 HRC; 600 °C – 32 HRC. Jest to stal nierdzewna, zbliżona składem do polskiej stali 3H17M (m.in.: 0,33-0,43% C; 15,5-17,5% Cr; 1,0-1,3% Mo), w której występujący w ilości „ok. 1,0% molibden ... wiąże węgiel w węgliki i zmniejsza hartowność...”[1]. Jak widać z tablicy 3, zarówno efekt hartowania za pomocą sprężonego azotu (49 HRC), jak i skutek odpuszczania (41 HRC), w pełni odpowiada przewidzianym w DIN wynikom hartowania w oleju i odpuszczania stali 1.2316. Uzyskane wyniki obróbki cieplnej spełniały także wymagania odbiorcy.

Tablica 3. Warunki i wyniki obróbki przedmiotów ze stali nierdzewnej  
Table 3. Conditions and results of heat treatment of parts made of stainless steel

Lp.	Obrabiane przedmioty – wsad	Operacja	Warunki obróbki – parametry	Wynik operacji – twardość [HRC]
1.	Części maszyn ze stali <b>4H13</b> o łącznej masie ok. 80 kg	<b>Hartowanie</b>	<b>Temperatura hartowania : 1080 °C.</b> <b>Czas</b> nagrzewania i wygrzewania w temperaturze hartowania : <b>60 min.</b> <b>Chłodzenie w oleju o temp. : 60 °C</b>	<b>56</b>
2.	2 pierścienie (ø350/ø80, h = = 100 mm) o masie 70 kg/szt ze stali <b>4H13</b>	<b>Hartowanie</b>	<b>Temperatura hartowania : 1020 °C.</b> Pozostałe – jak wyżej – l.p. <b>1.</b>	<b>55</b>
		<b>Odpuszczanie</b>	<b>200 °C/240 min</b>	<b>51</b>
3.	Pierścienie (ø300/ø240, h = = 10 mm) ze stali <b>1.2316</b> o łącznej masie ok. 10 kg	<b>Hartowanie</b>	<b>Temperatura hartowania : 1030 °C.</b> <b>Czas</b> nagrzewania i wygrzewania – jak wyżej – l.p. <b>1.</b> <b>Chłodzenie w azocie</b>	<b>49</b>
		<b>Odpuszczanie</b>	<b>570 °C/120 min</b>	<b>41</b>

### 4.3. Inne zastosowania

#### 4.3.1. Hartowanie stali narzędziowych z chłodzeniem za pomocą azotu

W wyniku hartowania nagrzanego do temperatury 1000 °C narzędzia ze stali WCL uzyskano twardość (56 HRC) o 1 HRC wyższą niż to wynika z norm zamieszczonych w [4]. Z uwagi na błędy pomiaru, różnica ta jest nieistotna. Wspomniane normy dopuszczają również chłodzenie w gazie (powietrze), jednakże zamieszczone w nich charakterystyki sporządzone są dla przedmiotów o mniejszych przekrojach.

Hartowano nagrzane do temperatury 970 °C rolki ze stali NC10. Na podstawie charakterystyki [5], w wyniku hartowania próbek z tej stali, o wymiarach 60x60x60mm z temperatury 970 °C w oleju, uzyskuje się twardość ok. 63 HRC. W przypadku rolek, których wymiary były tego samego rzędu, hartowanie z chłodzeniem za pomocą sprężonego azotu dało taki sam rezultat.

Obrabiano cieplnie noże ze stali NC11. Temperatura hartowania wynosiła 980 °C. Według charakterystyki [5], określającej wpływ warunków hartowania na twardość tej stali, po nagraniu do 980 °C i raptownym ochłodzeniu w oleju próbek o wymiarach Ø16x14mm, uzyskują one twardość wynoszącą 66 HRC.

W opisywanym przypadku obróbki noży o wymiarach 70x40x10mm, stosując do hartowania sprężony azot, osiągnięto niższą twardość – 62 HRC. Uzyskaniu twardości zbliżonej do podanej w charakterystyce [5], sprzyjałoby podwyższenie temperatury hartowania do 1000 °C. Jednakże, co jest w przypadku obrabianych noży istotne, odpuszczanie dało twardość 57 HRC, mieszczącą się w wymaganym przez użytkownika przedziale 56-58 HRC. Twardość uzyskana w wyniku odpuszczania jest zgodna z podaną w [5].

#### 4.3.2. Hartowanie stali NC11LV w procesie technologicznym z obróbką podzerową.

Odbiorca wymagał: obróbki podzerowej po hartowaniu (daje zwiększenie udarność w efekcie końcowym) i finalnej twardości po odpuszczaniu, wynoszącej ok. 60 HRC. Według charakterystyki [6], w procesie hartowania tej stali stosuje się nagrzewanie do temperatury w przedziale 960-1030 °C.

Wprowadzenie obróbki podzerowej spowodowało konieczność podwyższenia temperatury hartowania. Zastosowana w pierwszym procesie temperatura hartowania (1100 °C) okazała się zbyt niska. Nie osiągnięto wymaganej twardości po II odpuszczaniu.

Tablica 4. Informacje o procesie nawęglania oraz wyniki następującej po nim obróbki cieplnej

Table 4. Information about carburising and results of succeeded heat treatment

Nawęglany materiał	Warunki nawęglania (schemat procesu) – parametry	Wynik – twardość [HRC]		Informacje o wynikach dodatkowej obróbki
		po I hart.	po odp. 180°	
1.2316	Nagrzewanie z przystankami : 1. 610 °C, 2. 850 °C,	62	60	po wymrażaniu 64 HRC, po kolejnym odpuszcz. w temp. 180 °C – 63 HRC
WCLV	3. 1020 °C – nawęglanie cykliczne ( na przemian faza aktywnego wzbogacania i faza dyfuzyjnego nasycania) wg następującego porządku : 4'/5' ; 3'/5' ; 2'/5' i 1'/20'.	62	60	po wymrażaniu 68 HRC, po kolejnym odpuszcz. w temp. 180 °C – 65 HRC
18HGT	Do komory grzewczej pieca RVFOQ-224 wprowadzono w fazie aktywnej acetylen z butli wyposażonej w reduktor . Dopływ acetyleny regulowano ręcznie. Chłodzenie nawęglonego wsadu w oleju o temperaturze 50 °C (w komorze chłodzenia) – 5 min	61-62	58	po II hartow. 65 HRC, po kolejnym odpuszcz. w temp. 180 °C – 61 HRC
<b>Uwaga uzupełniająca :</b> Acetylen wprowadzono do komory grzewczej przez zawór ograniczenia próżni.				



Dopiero hartowanie z temperatury wynoszącej ok. 1150 °C przyniosło pożądany efekt – twardość końcową w przedziale 60-62 HRC.

Zarówno przy pierwszym hartowaniu, jak i przy drugim – czynnikiem chłodzącym był sprężony azot. Obróbkę podzerową przeprowadzono w ciekłym azocie. Odpuszczano w elektrycznym piecu komorowym, w powietrzu.

#### 4.3.3. Nawęglanie próżniowe

Nawęglano próbki ze stali 1.2316, WCLV oraz 18HGT. Podstawowe informacje o warunkach procesu i wynikach następującej po nim obróbki cieplnej (hartowanie I i II, odpuszczanie, obróbka podzerowa) podano w tablicy 4.

##### *Stal 1.2316*

Jak wynika z danych przedstawionych w tablicy 4, nawęglanie i następująca po nim obróbka cieplna (I hartowanie i odpuszczanie) spowodowała uzyskanie twardości 60 HRC, a dodatkowa obróbka podzerowa przyczyniła się do dalszego wzrostu twardości o 3-4 HRC.

Badania metalograficzne ujawniły w strefie przypowierzchniowej siatkę węglików w osnowie martenzytycznej.

##### *Stal WCLV*

Jest to stal narzędziowa do pracy na gorąco. Wg „Charakterystyk stali” [4], po hartowaniu z temperatury w przedziale 1020-1050 °C/olej lub powietrze, WCLV uzyskuje twardość w granicach 48-53 HRC. Z wykresu zamieszczonego w tym źródle [4], hartowanie z temperatury 1100-1150 °C pozwala osiągnąć twardość 58-60 HRC. Odpuszczanie w przedziale temperatury 100-500 °C daje praktycznie stałą twardość, wynoszącą ok. 55 HRC.

Z danych zamieszczonych w tablicy 4 wynika, że nawęglanie i następująca po nim obróbka cieplna przyczyniło się do uzyskania na powierzchni próbek twardości 60-62 HRC. Mimo, iż obserwacje mikroskopowe nie ujawniły różnic w strukturze (siatka węglików w osnowie martenzytycznej) próbki nawęglonej nie poddanej obróbce podzerowej i próbki wymrażanej, to obrazy rozkładu twardości w warstwie wierzchniej obu próbek były wyraźnie odmienne. Twardość maksymalna na

powierzchni próbki wymrażanej wynosiła ok. 900 HV0,5 (ok. 67 HRC), a następnie opadała liniowo do ok. 620 HV0,5 (ok. 56 HRC) na głębokości  $s = 1,0$  mm, gdy w przypadku próbki nie wymrażanej, do głębokości  $s = 0,6$  mm od powierzchni twardość utrzymywała się w przedziale 700-750 HV0,5 (60-62 HRC), aby następnie opadać liniowo do 620 HV0,5 (56 HRC) na głębokości  $s = 1,2$  mm. Wyniki rozkładu twardości potwierdzają rezultaty obróbki podane w tablicy 4.

##### *Stal 18HGT*

Jest to stal stopowa do nawęglania. Wg informacji zawartych w [1], po bezpośrednim hartowaniu z temperatury nawęglania (930 °C) stal 18HGT uzyskuje twardość w przedziale 59-62 HRC, natomiast jednokrotne hartowanie z temperatury 820 °C pozwala osiągnąć ok. 65 HRC.

Informacje te potwierdzają wyniki doświadczeń przedstawione w tablicy 4. Hartowanie z temperatury nawęglania (1020 °C) dało twardość 61-62 HRC, natomiast II hartowanie z temperatury 850 °C pozwoliło uzyskać na powierzchni próbek twardość 65 HRC.

Badania metalograficzne ujawniły różnice w strukturze strefy przypowierzchniowej próbki hartowanej z temperatury nawęglania (drobno iglasty martenzyt i austenit szczątkowy) i próbki nr 2, poddanej dodatkowo II hartowaniu (drobno iglasty martenzyt z wydzieleniami węglików). Odmienne był także rozkład twardości w warstwie wierzchniej obu próbek.

## 5. PODSUMOWANIE

W minionym stuleciu ważny kierunek rozwoju technologii obróbki cieplnej wyznaczało dążenie do ochrony nagrzanego wsadu przed szkodliwym oddziaływaniem atmosfery piecowej. W pierwszej połowie XX wieku dużym osiągnięciem było zastosowanie generatorów i pieców do obróbki w atmosferach regulowanych. Kolejny etap rozwoju w ostatnich dziesięcioleciach, to zdobywające rynek piece próżniowe. Podane przykłady [7] zastosowań użytkowanego w Instytucie pieca próżniowego RVFOQ-224 są ilustracją korzyści, jakie przynoszą tego rodzaju urządzenia. Należą do nich:

► w przypadkach, gdy jest to potrzebne – możliwość obróbki cieplnej w temperaturze przewyższającej temperaturę znamionową tradycyjnych, elektrycznych pieców komorowych,

► czysta, jasna powierzchnia oraz nie występowanie niepożądanych zmian w warstwie wierzchniej obrobionych przedmiotów,

► w następstwie powyższej zalety – uniknięcie konieczności dodatkowego czyszczenia, szlifowania lub trawienia obrobionych części, a co jest z tym często związane – konieczności stosowania naddatków na tę obróbkę,

► możliwość hartowania z chłodzeniem za pomocą sprężonego azotu, co przyczynia się do zmniejszenia lub wyeliminowania odkształceń hartowniczych.

Pracownia Obróbki Ciepłej Instytutu Obróbki Plastycznej w Poznaniu, prowadzi badania procesów obróbki cieplnej narzędzi do obróbki plastycznej oraz świadczy usługi dla przedsiębiorstw przemysłowych w zakresie obróbki cieplnej wyrobów oraz narzędzi do obróbki plastycznej na zimno i na gorąco.

*Pracę zrealizowano w ramach działalności statutowej finansowanej przez Ministerstwo Edukacji i Nauki: BC 901 76 000 Określenie optymalnych parametrów obróbki cieplnej stali narzędziowych w zmodernizowanym piecu próżniowym RVFOQ-224.*

## LITERATURA

- [1] W. Luty: Obróbka cieplna stopów żelaza (Poradnik inżyniera), WNT Warszawa 1977.
- [2] Informacja techniczna: VANADIS 23, Uddeholm – Szwecja.
- [3] Informacja techniczna: THYROPLAST 2316, Edelmetall Wittem-Krefeld GmbH.
- [4] M. Białecki: Charakterystyki stali – F - Stale narzędziowe; FIII - Stale stopowe do pracy na gorąco, Wyd. „Śląsk” Katowice 1979.
- [5] M. Białecki: Charakterystyki stali – F - Stale narzędziowe; FII - Stale stopowe do pracy na zimno, Wyd. „Śląsk” Katowice 1976.
- [6] L. A. Dobrzański (i in.): Zasady doboru materiałów inżynierskich, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej Gliwice 2000.
- [7] S. Głowacki, W. Majchrzak, A. Majchrzak: Praca BC 901 76 000 – 001 002 003 05.5018 Określenie optymalnych parametrów obróbki cieplnej stali narzędziowych w zmodernizowanym piecu próżniowym RVFOQ-224. Poznań 2005 (praca niepubl.).