

KAZIMIERZ POGÓRECKI

Instytut Metalurgii Żelaza

PŁOMIENIOWE HARTOWANIE POWIERZCHNIOWE CIĘŻKICH
PRZEKŁADNI ZĘBATYCH PALNIKIEM ACETYLENOWO-TLENOWYM

Streszczenie. Opisano technologię płomieniowego hartowania powierzchniowego ciężkich przekładni zębatych metodą "zęb po zębie" ze szczególnym uwzględnieniem wałków zębatych daszkowych $\varnothing 1000 \times 3500 \div 5000$ mm, z zębami o module 24, 34 i 45 mm, wykonanych ze stali 45.

Przedstawiono wyniki oraz sprawozdanie z 5-letniej eksploatacji przemysłowej przekładni hartowanych powierzchniowo płomieniem acetylenowo-tlenowym.

1. Wstęp

Hartowanie powierzchniowe ciężkich przekładni zębatych (moduł zęba powyżej 12 mm) jest szczególnie korzystne ze względów ekonomicznych i technologicznych. Podczas hartowania powierzchniowego nagrzewają się tylko powierzchnie boczne (pracujące) zębów na niewielką głębokość i dzięki temu po hartowaniu otrzymuje się twardą warstwę powierzchniową oraz miękką, ciągliwą rdzeń zęba. Przez utwardzenie boków zębów przedłuża się żywotność przekładni dzięki zwiększeniu zmęczeniowej wytrzymałości stykowej i odporności na ścieranie boków zębów, a ciągliwy rdzeń zęba pozwala na przeniesienie znacznych obciążeń zginających. Hartowanie powierzchniowe umożliwia utwardzanie dużych kół zębatych, które ze względu na duże wymiary (np. $\varnothing 3000$ mm) nie mogą być utwardzane ani drogą nawęglania, ani ulepszania cieplnego. Przynosi ono oszczędności materiałowe, gdyż stwarza możliwość zastąpienia stali wyżej stopowych stalami węglowymi lub niskostopowymi.

W stosunku do innych metod obróbki cieplnej hartowanie powierzchniowe odznacza się ekonomią czasu i energii cieplnej (krótki czas nagrzewania). Metoda ta szczególnie korzystna jest dla dużych kół i wałków uzębionych, pracujących przy du-

zych naciskach powierzchniowych i wolnych obrotach, a więc np. dla przekładni walcowniczych, cementowniczych itp.

2. Urządzenia do hartowania kół zębatach metodą "zab po zębie"

Zęby kół zębatach o module powyżej 7 mm i o dużych średnicach mogą być utwardzane jedynie metodą posuwową "zab po zębie". Odpowiednio skonstruowany palnik przesuwają się wzdłuż zęba grzejąc dwa jego boki (lub sąsiadujące boki dwóch zębów), a złączony z palnikiem natryskiwacz wodny chłodzi nagrzany przez palnik wycinek powierzchni zęba.

Maszyna hartownicza składa się z części napędowej oraz podpór walca zębatego (rys.1). Część napędowa umocowana na łożu o długości 6 m składa się z silnika elektrycznego, reduktora 6-biegowego, śruby pociągowej i suportu. Nadaje ona ruch posuwowy palnikowi umocowanemu na suportie z prędkością w granicach 42 do 275 mm/min (144 różne prędkości). Na suportie umocowany jest kołek prowadzący w kształcie stożka, którego zadaniem jest nadanie hartowanemu walcowi zębatach odpowiedniego ruchu obrotowego w przypadku hartowania kół skośnych i daszkowych. Kołek wchodzi w lukę międzyzębną i naciska na pobocznicę sąsiadujących z hartowanym zębów. Walec uzębiony spoczywa swobodnie na podporach rolkowych (po dwie rolki na każdy czop). Odstęp między rolkami jest zmienny, a rolki można wymieniać zależnie od wielkości średnic czopów hartowanego walca. Walec umieszczony jest nad wanną, do której ścieka woda chłodząca.

Instalacja zasilająca w tlen i acetylen składa się z 2 ramp, do których przyłączonych jest po 10 butli tlenowych względnie acetylenowych i odpowiednich urządzeń pomiarowych i zabezpieczających.

Do hartowania użyto palników smoczkowych konstrukcji IMZ (patent nr 37806) o wydajności acetylenu: 6000 l/godz. - dla kół o module $m = 24$ mm oraz o wydajności 8000 l/godz. - dla kół o modułach 34 i 45 mm (dla kół o module 34 mm część otworków wylotowych końcówek palnika była zastąpiona wkrętami - rys.2). Metoda obliczeń palników podana jest w literaturze [1].

Dla poszczególnych palników otrzymano następujące wymiary charakterystyczne (tablica 1).

Tablica 1

Parametry palników

Wydajność palnika w l/godz. acetyleniu	Srednica otwo- ru wylotowego końcówki mm	Ilość otworów wylotowych obu końcówek	Srednica ko- mory miesza- na mm
6000 (m = 24 mm)	1,0	16	5,0
8000 (m = 34 mm)	1,2	12	5,2
8000 (m = 45 mm)	1,4	16	5,6

We wszystkich przypadkach stosowano zespół dwóch końcówek rozgałęzionych pozwalający na dokładne ustawienie palnika względem obu boków zęba (dzięki szczelnym przegubom). Dla kół zębatych o module 34 i 45 mm zastosowano końcówki dyszkowe (rys.2), zaś dla zębów o module 24 mm - końcówki otworzkowe (rys.3).

3. Technologia, warunki i wyniki hartowania

3.1. Wąły zębate o module 24 mm

Wąły zębate o module zęba 24 mm hartowano palnikiem o charakterystyce podanej w tablicy 1 z końcówką jak na rys.3 (z lewej strony rysunku pokazano przekrój przez komorę mieszanki palnej, z prawej - przekrój przez natryskiwacz wodny). Odległość natryskiwacza wodnego od palnika wynosiła 20 mm. Osie otworków wodnych były wzajemnie równoległe, dzięki czemu chłodzenie boków zębów było równomierne. Zastosowane w pierwszej fazie badań wiercenie otworków w kierunku prostopadłym do zarysu zęba powodowało skupianie się strugi wodnej w pobliżu połowy wysokości zęba, wskutek czego wierzchołek i podstawa zęba nie były dostatecznie chłodzone. Końcówki palnika były ustawione prostopadle do kierunku pochylenia zębów, wskutek czego jeden z boków zębów (górny) był ogrzewany nieco wcześniej niż drugi. Palnik przesuwał się zawsze od czoka walca zębatego ku środkowi, tak że walce daszkowe były hartowane w dwóch etapach: w pierwszym hartowano zęby pochyłone w jednym kierunku, w drugim - zęby o pochyleniu przeciwnym. Zastosowano szybkości posuwu palnika od 158,0 do 114,5 mm/min, uzyskując warstwy zahartowane o grubości 1-6 mm, przy czym optymalne wyniki uzyskano dla szybkości posuwu 137 mm/min (tablica 2).

Tablica 2

Wyniki hartowania walców zębatach

Moduł walca zębatego mm	Szybkość posuwu palnika mm/min	Ciśnienie robocze tlenu kg/cm ²	Ciśnienie robocze acetylenu kg/cm ²	Twardość powierzchniowa boków zębów HRG	Całkowita ^{x)} grubość warstwy zahartowanej mm
24	137	8	0,8	57	3
34	56	10	1,0	60	5
45	48	10	1,0	60	7

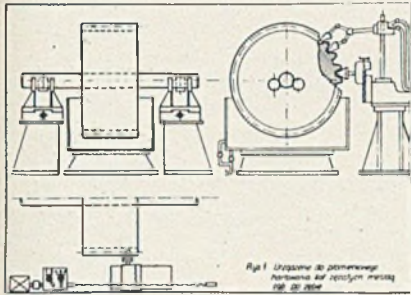
x) Grubość warstwy mierzona na średnicy podziałkowej koła zębatego; pod uwagę brano grubość warstwy trawiącej się na ciemno na szlifie poprzecznym.

Rys.4a przedstawia rozkład twardości w warstwie utwardzonej, otrzymany dla czterech różnych szybkości posuwu palnika. Przy szybkości posuwu 137 mm/min. uzyskano grubość warstwy utwardzonej około 3 mm, przy czym warstwa powierzchniowa o grubości około 2 mm ma strukturę martenzytyczną z niewielką ilością troostytu o twardości około 57 HRC. Przy mniejszych szybkościach posuwu występuje w strukturze warstwy powierzchniowej martenzyt gruboiglasty.

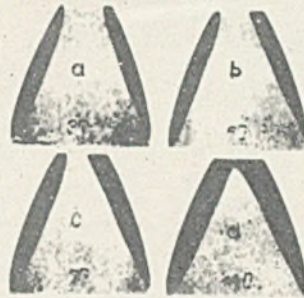
3.2. Wały zębate o module 34 mm

Hartowanie przeprowadzano palnikiem o wydajności 8000 litrów acetylenu na godzinę (tablica 1). Ustawienie końcówki dyszkowej palnika względem zarysu zęba przedstawia rys.2. Stosowano szybkości posuwu palnika w granicach 46 do 59 mm/min. Na rys.4b przedstawiono rozkład twardości w warstwach hartowanych z różną szybkością posuwu, zaś na rys.5 wpływ szybkości posuwu palnika na grubość warstwy zahartowanej. Najkorzystniejsze wyniki uzyskano przy szybkości posuwu palnika 59 mm/min. Twardość powierzchniowa boku zęba wynosiła około 60 HRC, a grubość całkowita warstwy zahartowanej około 5 mm (tablica 2), przy czym w odległości 3 mm od powierzchni twardość wynosiła jeszcze około 50 HRC.

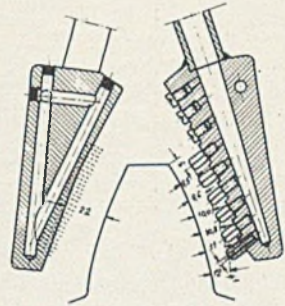
Warstwa przypowierzchniowa miała strukturę martenzytyczną w odległości 3 mm od powierzchni wykazała obok martenzytu - troostyt i ferryt; w odległości 5 mm od czoła mieszaninę



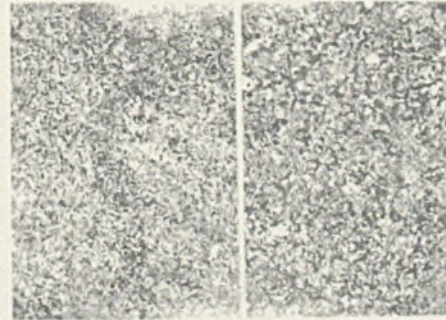
1



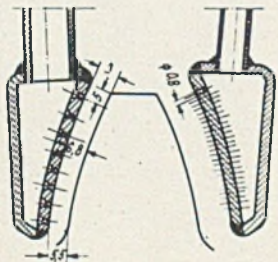
5



2



6a, b

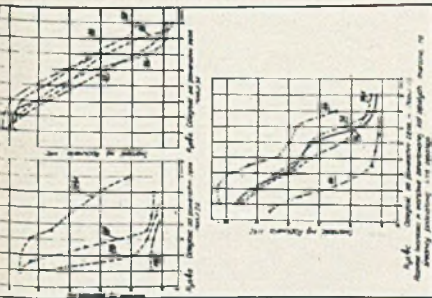


3

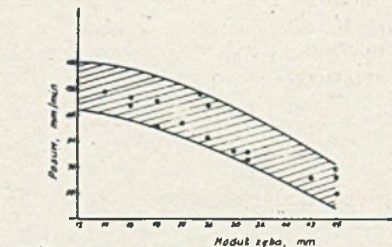


6c

Nr rys.	Opis (struktura)	Powiększenie ×
1	Urządzenie do płomieniowego hartowania, hartowania kół zębatach metodą „ząb po zębie“.	—
2 i 3	Sposób ustawienia końcówek palnika w stosunku do boków zębów: rys. 2 — dla $m = 34$ mm (z lewej strony rys. przekrój przez natryskiwacz wodny) rys. 3 — dla $m = 24$ mm (z prawej strony rys. przekrój przez natryskiwacz wodny).	—
4	Rozkład twardości w warstwie zahartowanej kół zębatach (mierzony na średnicy podziałowej).	—
5	Wpływ szybkości posuwu palnika na grubość warstwy zahartowanej zębów koła o $m = 34$ mm a) — $v = 59$ mm/min; b) — $v = 53$ mm/min; c) — $v = 50$ mm/min; d) — $v = 46$ mm/min.	—
6	Struktura warstwy powierzchniowej boków zębów walca zębatego $m = 45$ mm, hartowanego przy różnych szybkościach posuwu palnika: a) $p = 48$ mm/min; HRC = 60 Struktura: martenzyt + troostyt b) $p = 54$ mm/min; HRC = 57 Struktura: martenzyt + ferryt + troostyt c) $p = 86$ mm/min; HRC = 48 Struktura: martenzyt + troostyt + ferryt.	125
7	Orientacyjny dobór szybkości posuwu palnika w zależności od wielkości modułu zęba.	—



4



Rys. 7 Orientacyjny dobór szybkości posuwu palnika punkty — wartości punkty hartowania uzyskane dla kół zębatach z różnych rodzajów stali.

7

perlitu, troostytu i ferrytu. Wolniejszy posuw powoduje dalszy niepożądany wzrost grubości warstwy zahartowanej (rys. 5d), przy czym w warstwie przypowierzchniowej obserwuje się znaczny wzrost ziarna i w efekcie martenzyt gruboiglasty.

3.3. Walce zębate o module 45 mm

Walce te hartowano przy użyciu palnika, który zastosowano dla walców o module 34 mm, lecz przy wykorzystaniu 8 dyszek w końcówce na każdy bok zęba (rys.2). Stosowano szybkości posuwu palnika w granicach 40-86 mm/min. Na rys.4c przedstawiono rozkład twardości w warstwach zahartowanych z różną szybkością posuwu. Optymalną okazała się szybkość 48 mm/min. przy której otrzymuje się warstwę o grubości około 7 mm o twardości powierzchniowej około 60 HRC.

Struktura warstwy przypowierzchniowej składa się z martenzytu z b. niewielką ilością troostytu (rys.6a). Przy posuwie palnika 54 mm/min. w warstwie przypowierzchniowej o twardości około 57 HRC (rys.4c) występuje obok martenzytu niewielka ilość ferrytu i troostytu (rys.6b), natomiast przy posuwie palnika 86 mm/min. otrzymuje się strukturę martenzytyczno-troostyczno-ferrytyczną o twardości około 48 HRC (rys.6c).

4. Żywotność walców zębatach w eksploatacji przemysłowej

W okresie od 1957 do 1962 r. zahartowano w hucie "Zygmunt" wg opisanej technologii około 60 ciężkich przekładni zębatych o modułach od 12 do 49 mm, z 12 gatunków stali (i staliw), głównie ze stali węglowych 35, 40, 55 i stopowych 30HM, 40HM, 35HGS, 35HN, 50HN, 37GHNM. Na rys.7 zestawiono szybkości posuwów palnika w zależności od modułu zęba, stosowane dla walców zębatach z różnych stali. Pozwala on na orientacyjny dobór szybkości posuwu palnika. Niektóre z tych kół znajdują się w eksploatacji od 1957 r., a ich obserwacja pozwala na wyciągnięcie konkretnych wniosków o ich jakości eksploatacyjnej. I tak np.:

1) Walce zębate przekładni walcowniczej huty im. Nowotki o module 27 mm (ciężar 13,7 t) ze stali 55 zabudowane 15.6.58 r. i pracujące do tej pory wykazały do 10.2.61 r. (termin oględzin) nieznaczne starcie rzędu 1 mm bez śladów pittingu. Upřednio stosowane walce ze stali 35SG w stanie ulepszonej o twardości boków zębów 270 HB były całkowicie zużyte po półrocznej eksploatacji.

2) Walce zębate napędu zgniatacza huty "Pokój" o module 49 mm ze stali 40HM zabudowane 25.8.58 r. pracują do dnia dzisiejszego bezawaryjnie, mimo b. ciężkich uderzeniowo-zwrotnych warunków pracy. Stosowane uprzednio walce z tej samej stali w stanie ulepszonym cieplnie o twardości boków zębów 280 HB musiały być wycofane z eksploatacji już po upływie roku. Podobne przedłużenie żywotności zaobserwowano dla walców zębatach walcowni średniej tej huty o module 32 mm ze stali St6.

3) Walce zębate walcowni trio huty "Kościuszko" $m = 12$ mm ze stali 45S zabudowane w r. 1960, wykazały po nieomal 3 latach eksploatacji zużycie wskutek ścierania oraz pittingu większe niż 0,5 mm. Przewiduje się jeszcze około 4-letni okres ich eksploatacji. Uprzednio wykonywane walce zębate ze stali ulepszanych cieplnie pracowały najwyżej 2 lata.

Przykłady te wskazują na wielkie oszczędności uzyskane dzięki zastosowaniu kół zębatach z zębami hartowanymi powierzchniowo płomieniem acetylenowo-tlenowym. Pochodzą one z czterech źródeł:

- możliwości zastąpienia stali stopowych - stalami węglowymi;
- znacznemu skróceniu i potanieniu zabiegów obróbki cieplnej;
- oszczędności stali dzięki znacznemu przedłużeniu żywotności kół zębatach w eksploatacji;
- zwiększeniu produkcji walcowni dzięki wyeliminowaniu kilku przestojów na wymianę zużytych przekładni.

LITERATURA

- [1] K.Pogórecki - "Hartowanie płomieniowe stali i żeliwa" PWT Warszawa, 1955 r.
- [2] Sprawozdanie IMŻ Nr 674.