

WPLYW NAGNIATANIA NA UMOCNIENIE ELEMENTÓW CZĘŚCI MASZYN OKRĘTOWYCH

Nagniatanie może być wykorzystywane w procesie technologicznym wytwarzania i regeneracji wielu elementów części maszyn okrętowych. Często regenerowane są powierzchnie walcowe zewnętrzne (np. czopy wałów napędowych i korbowych). W pracy określono wpływ technologii nagniataniem na umocnienie warstwy wierzchniej próbek walcowych wykonanych ze stali C45. Nagniatanie wykonano za pomocą nagniataka krążkowego z dociskiem sztywnym NK-01 produkcji Katedry Materiałów Okrętowych i Technologii Remontów. Nagniatak ten może być wykorzystywany do obróbki wykańczającej zewnętrznych powierzchni walcowych elementów części maszyn okrętowych.

WPROWADZENIE

Nagniatanie jest obróbką wykańczającą wykorzystującą miejscowe odkształcenie plastyczne przedmiotu obrabianego, uzyskane pod wpływem stykowego oddziaływania twardego i gładkiego narzędzia (element roboczy ma postać: kulki, krążka, wałka) na powierzchnię obrabianą. Głównymi celami stosowania obróbki nagniataniem jest:

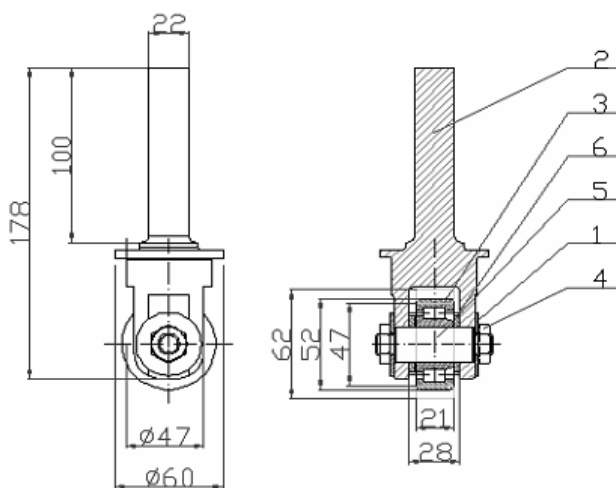
- obróbka umacniająca – uzyskanie odpowiednich zmian właściwości fizycznych materiału w warstwie wierzchniej, które między innymi zmniejszają jego zużycie cierne, a zwiększają wytrzymałość zmęczeniową, twardość, odporność na korozję itd.,
- obróbka gładkościowa – ma na celu określone zmniejszenie nierówności i chropowatości powierzchni,
- obróbka wymiarowo-gładkościowa – uzyskanie odpowiedniej dokładności wymiarowej, połączone z otrzymaniem określonej niższej chropowatości powierzchni.

Często stosuje się również obróbkę nagniataniem w celu zmniejszenia naprężeń po obróbce cieplnej i cieplno-chemicznej, zwiększenia wytrzymałości zmęczeniowej kontaktowej, zmniejszenia zużycia uszczelnień gumowych, zwiększenia trwałości warstwowych łożysk ślizgowych, zwiększenia odblaskowości, zmniejszenia podatności na pęknięcia cieplnych form do odlewania metali, a także (jako obróbka poprzedzająca) zwiększenia przyczepności i równomierności powłok galwanicznych [1, 2, 3, 4].

W pracy zaproponowano zastosowanie technologii nagniataniem w celu umacniającego, aby uzyskać zmniejszenie zużycia ciernego i zwiększenie twardości, a w związku z tym zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej powierzchni walcowych zewnętrznych. Elementy części maszyn typu wałek mogą być zastosowane jako wały napędowe różnych urządzeń okrętowych.

1. METODYKA BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH

W pracy zaprezentowano badania wykonane w laboratorium Katedry Materiałów Okrętowych i Technologii Remontów, na próbkach typu A ze stali C45 o średnicy $\phi 48$ mm. Próbki były poddane nagniataniu, a następnie hartowaniu. W artykule określono wpływ technologii nagniataniem oraz nagniataniem z późniejszym hartowaniem na umocnienie warstwy wierzchniej próbek stalowych. Wyniki pomiarów twardości warstwy wierzchniej próbek poddanych nagniataniu porównano do wyników twardości próbek poddanych wyżarzaniu pełnemu, jak również wyniki pomiarów twardości warstwy wierzchniej próbek poddanych nagniataniu, a następnie hartowanych porównano do wyników pomiarów twardości próbek hartowanych. Obróbkę nagniataniem przeprowadzono za pomocą nagniataka krążkowego NK-01 (rys. 1), wykonanego w Katedrze Materiałów Okrętowych i Technologii Remontów. Podczas obróbki nagniataniem zastosowano następujące parametry technologiczne: posuw – 0,08 mm/obr, wartość przesunięcia ruchu wglębnego narzędzia – 0,3 mm, prędkość obrotowa – 710 obr/min. Maksymalna liczba przejść obróbkowych k wynosiła 7.



Rys. 1. Nagniatak NK-01 z dociskiem sztywnym: 1 – podkładka, 2 – uchwyt, 3 – element nagniatający: łożysko toczne walcowe NJ2304 o średnicy $\phi 52$ mm (istnieje możliwość zastosowania innych średnic zewnętrznych w zakresie od $\phi 47$ mm do $\phi 62$ mm), 4 – nakrętka M12, 5 – sworzeń pasowany o średnicy $\phi 20$ mm, 6 – podkładki dystansowe

Do smarowania i chłodzenia użyto oleju maszynowego. Do pomiaru twardości zastosowano twardościomierz, który umożliwił pomiar metodą Rockwella. Pomiar twardości metodą Rockwella przeprowadzono wg PN-ISO 1024-2/96, wartości twardości odczytano bezpośrednio ze wskaźnika zegarowego. Podczas badania użyto skali czerwonej wewnętrznej HRB (wglębnik w kształcie kulki o średnicy 1,5875 mm) i skali HRC czarnej zewnętrznej (wglębnik w kształcie stożka diamentowego o kącie wierzchołkowym równym 120°). Parametry pomiaru (czas i siła wcisku) były znormalizowane, automatycznie zachowane przez odpowiednie ustawienie twardościomierza. W celach porównawczych uzyskane wyniki twardości zamieniano na twardość podawaną w skali HV.

2. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Po przeprowadzonej obróbce nagniataniem określono na podstawie pomiarów twardości umocnienie warstwy wierzchniej próbek stalowych. Próbki poddane wyżarzaniu zupełnemu miały najmniejszą twardość, następnie próbki poddane nagniataniu, dalej próbki po hartowaniu, natomiast próbki poddane uprzednio nagniataniu, a potem hartowaniu uzyskały największą twardość (tab. 1). Na podstawie danych zawartych w tabeli 1 można zauważyć, że największym stopniem umocnienia cechują się powierzchnie obrobione poprzez nagniatanie, a następnie poddane obróbce cieplnej poprzez hartowanie – można wtedy uzyskać ponadpięciokrotne umocnienie warstwy wierzchniej materiału ($S_u = 5,31$). Można zatem stwierdzić, że aby uzyskać powierzchnię regenerowaną o dużym umocnieniu, można ją nagniatąć, a następnie poddać hartowaniu.

Tabela 1

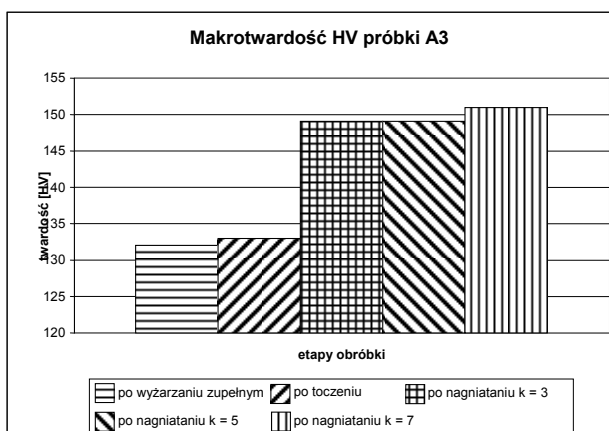
Wyniki pomiarów twardości dla próbek typu A

Nr próbki	Etap obróbki	k	Twardość HV	Umocnienie $S_u = S_1/S_0$
A1	<i>W</i>	-	128	-
A2	<i>N</i>	7	152	1,21
A3	<i>N + H</i>	7	680	5,31
A4	<i>H</i>	-	599	4,67

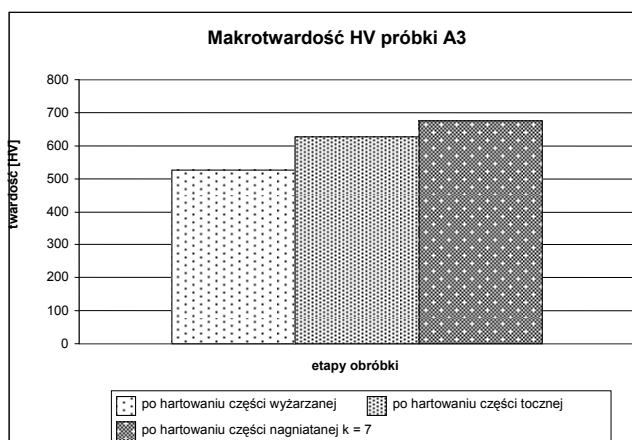
Objaśnienia:

- k – liczba przejść obróbkowych po nagniataniu
- W* – po wyżarzaniu zupełnym
- N* – po nagniataniu
- N + H* – po nagniataniu i po następnym hartowaniu
- H* – po hartowaniu
- S_0 – twardość przed obróbką [HV]
- S_1 – twardość po obróbce [HV]
- S_u – umocnienie warstwy wierzchniej materiału

Na rysunku 2 przedstawiono średnie wartości uzyskanych twardości HV dla kolejnych etapów obróbki próbki typu A3. Na wykresie widać, że nastąpił znaczny przyrost twardości po nagniataniu względem twardości warstwy wierzchniej po toczeniu, a także i po wyżarzaniu zupełnym.

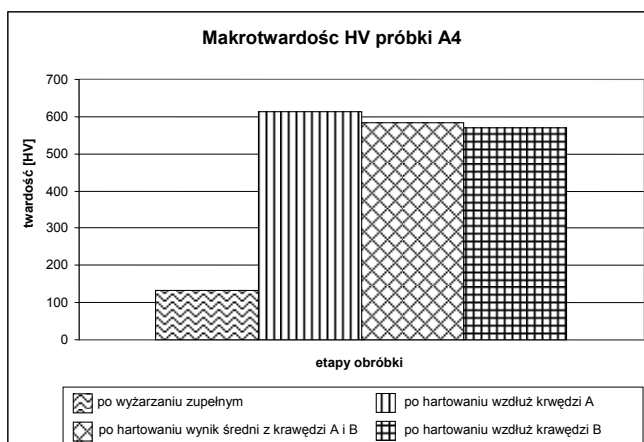


Rys. 2. Twardość HV próbki typu A3 po kolejnych etapach obróbki, przed hartowaniem (k – liczba przejść obróbkowych po nagniataniu)



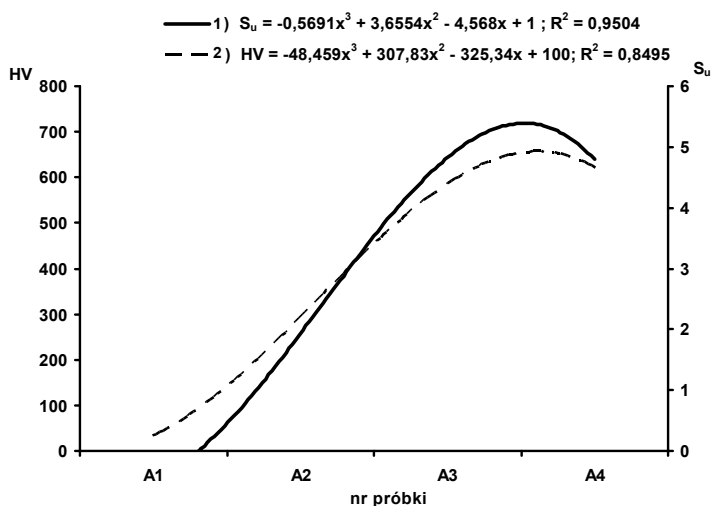
Rys. 3. Twardość HV próbki typu A3 po kolejnych etapach obróbki, po hartowaniu (k – liczba przejść obróbkowych po nagniataniu)

Na rysunku 3 przedstawiono wykres średniej wartości twardości HV dla poszczególnych etapów obróbki po hartowaniu próbki A3. Na wykresie widoczny jest przyrost twardości warstwy wierzchniej badanej próbki po nagniataniu (po siódmym przejściu narzędzia) względem powierzchni toczonej. Nastąpiło także zwiększenie twardości w części próbki toczonej względem części wyżarzanej zupełnie. Wyniki te wskazują na to, że wzrost twardości w warstwie wierzchniej próbki wykonanej ze stali C45 po poszczególnych etapach obróbki przed hartowaniem ma wpływ na uzyskiwanie wyższych wartości twardości po hartowaniu.



Rys. 4. Twardość HV próbki typu A4 po kolejnych etapach obróbki, po hartowaniu

Na rysunku 4 zaprezentowano wyniki średniej twardości HV próbki A4 przed hartowaniem i po hartowaniu. Pomiary twardości po wyżarzaniu zupełnym warstwy wierzchniej materiału przeprowadzono wzdłuż jednej krawędzi A, a po hartowaniu – wzdłuż dwóch krawędzi A i B. Na wykresie również przedstawiono średnią wartość z krawędzi A i B po hartowaniu. Uzyskany efekt hartowania próbki A4, rozumiany jako wzrost twardości po hartowaniu względem twardości początkowej, jest znacznie mniejszy niż w przypadku twardości otrzymanych dla próbek typu A3. Z wykresu wynika, że średnia twardość uzyskana po hartowaniu na krawędzi A jest znacznie większa niż na krawędzi B. Prawdopodobnie krawędź B była krawędzią styku próbki A4 z komorą pieca.



Rys. 5. Zależność umocnienia warstwy wierzchniej (S_u) oraz twardości (HV) od sposobu obróbki (A1 – po wyżarzaniu zupełnym, A2 – po nagniataniu, A3 – po nagniataniu, a następnie po hartowaniu, A4 – po hartowaniu)

Na rysunku 5 przedstawiono zależność twardości i umocnienia warstwy wierzchniej materiału od sposobów zastosowanych obróbek cieplnych i mechanicznych. Najmniejsze twardości występują w próbkach (A1) po wyżarzaniu zupełnym. Duże wartości twardości mają próbki po hartowaniu (A4), jednak próbki po obróbce nagniataniem z następnym hartowaniem (A3) mają jeszcze wyższe wartości twardości. Największym umocnieniem warstwy wierzchniej materiału cechują się próbki po nagniataniu, a następnie poddane hartowaniu.

WNIOSKI

W pracy przedstawiono wpływ procesu nagniatania na umocnienie warstwy wierzchniej stali C45. Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych nagniatania powierzchni walcowych zewnętrznych można stwierdzić, że:

- obróbka nagniataniem powoduje powierzchniowe umocnienie,
- uzyskane wyniki pomiaru twardości dla różnych etapów obróbki przed hartowaniem i po hartowaniu wykazały, że proces nagniatania wpływa na wzrost twardości stali C45 w warstwie wierzchniej,
- największe umocnienie można uzyskać po nagniataniu i po następnym hartowaniu – występuje wtedy ponadpięciokrotne umocnienie warstwy wierzchniej materiału.

Obróbka nagniataniem z równoczesnym hartowaniem może być szeroko wykorzystana w procesie technologicznym wytwarzania, a także do regeneracji elementów części maszyn okrętowych.

LITERATURA

1. El-Taweel T. A., El-Axir M. H., *Analysis and optimization of the ball burnishing process through the Taguchi technique*, Int J Adv Manuf Technol, 2009, 41, s. 301–310.
2. Korzyński M., *Nagniatanie ślizgowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.
3. Labuda W., Starosta R., Dyl T., *Estimation of the influence of burnishing parameters on steel X5CrNi18-10 surface layers strengthening and roughness changes*, Journal of Kones Powertrain and Transport, 2008, vol. 15, no. 3, s. 259–267.
4. Przybylski W., *Współczesne problemy w technologii obróbki przez nagniatanie*, t. 2, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2008.

THE INFLUENCE OF BURNISHING ON THE SURFACE LAYER STRENGTHENING SHIP MACHINE

Summary

Burnishing can be used to production and regeneration of many elements of part of shipping machines. The cylindrical external surfaces be regenerated often (the journal of drive shaft and crankshaft). Examinations have been carried out for C45 steel with the use of fixed load burnisher NK-01 constructed in Department of Marine Materials and Technology. The research results have been presented in the paper and served as a basis for defining which parameters and values have greatest influence on the obtained hardness of the burnished surface. Finally conclusions related to the influence of burnishing on surface layer strengthening of a treated material have been drawn taking into account the results obtained in the research.