MECHANIKA
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
MECHANICS
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
9-M/2012
ZESZYT 26
ROK 109
ISSUE 26
YEAR 109

MAREK BINIENDA*, PAWEŁ JUST**, JAROSŁAW KOMOROWSKI,
MAGDALENA POKRZYWA, EMILIA WOŁOWIEC*

WPŁYW PROCESU AZOTONASIARCZANIA NA ZMIANĘ WYMIARÓW CZOPA WAŁU KORBOWEGO ODLANEGO METODĄ *LOST FOAM* ZE SFEROIDYZACJĄ „INMOLD"

EFFECT OF CHANGE DIMENSIONS SULFONITRIDING CRANKSHAFT CHOP BY LOST FOAM CAST OF SPHEROIDIZATION INMOLD

Streszczenie

W artykule przedstawiono sposób modyfikacji warstwy wierzchniej czopu korbowego metodą azotonasiarczania w celu polepszenia jego odporności korozyjnej, wyeliminowania możliwości zacierania wraz z uzyskaniem wysokiej trwałości elementu dzięki podniesieniu wytrzymałości na ścieranie poprzez zmniejszenie współczynnika tarcia a także zwiększenie twardości powierzchni. Wał korbowy z żeliwa sferoidalnego został odlany w technologii lost foam z sferoidyzacja inmold, obrobiony cieplnie, a następnie poddany obróbce cieplno-chemicznej. Zbadano własności warstwy azotonasiarczonej oraz przyrost wymiarów czopu powstały w wyniku obróbki cieplno-chemicznej.

Słowa kluczowe: lost foam, inmold, azotonasiarczanie, obróbka cieplno-chemiczna, metoda Sulfonit, innowacyjne technologie odlewnicze

Abstract

The paper shows how to modify the surface layer of the crank stud sulfonitriding method in order to improve its corrosion resistance, and eliminate the possibility of scuffing of the element to obtain a high durability by improving the abrasion resistance by decreasing the coefficient of friction and increasing the surface hardness. Ductile iron crankshaft was cast in the lost foam technology of spheroidization inmold, heat treated and then subjected to thermochemical treatment.

Keywords: lost faom, inmold, sulfonitriding, termochmical treatment, Sulfonit method, innovative casting technologies

* Mgr inż. Marek Binienda, Jarosław Komorowski, mgr inż. Magdalena Pokrzywa, Emilia Wołowiec, Instytut Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Łódzka.

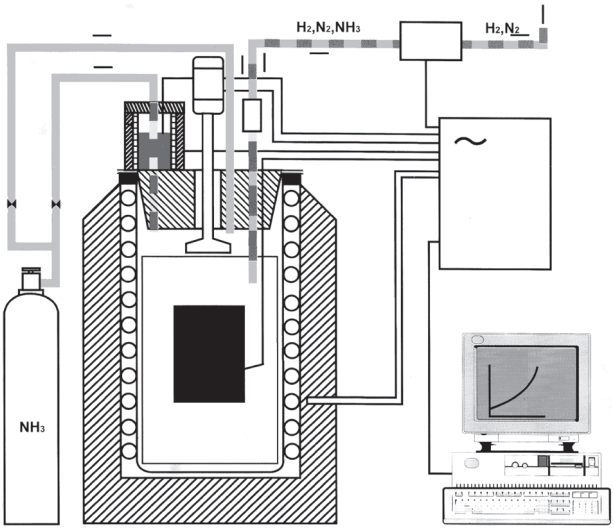
** Mgr Paweł Just, Katedra Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Łódzka.

1. Wstęp

W związku ze wzrostem rozwoju przemysłu motoryzacyjnego żeliwo sferoidalne otrzymywane metodą *lost foam* ze sferoidyzacją inmold jest ciekawą alternatywą dla drogich stali i innych stopów żelaza, ze względu na znaczne obniżenie kosztów produkcji i inwestycji w porównaniu z technologiami tradycyjnymi. Technologia ta umożliwia produkcję odlewów o dobrej dokładności wymiarowej i jakości oraz stosowanie mniejszych nadlewów i układów wlewowych. Wytwarzane tą metodą odlewy charakteryzują się większą w stosunku do metody tradycyjnej dokładnością wymiarową i w konsekwencji wymagają mniejszego nakładu pracy związanego z obróbką wykańczającą. Przeprowadzenie modyfikacji i sferoidyzacji w formie (inmold) jest metodą przyjazną dla środowiska; używa się w niej niewielkiej ilości zaprawy magnezowej (0,7–2,0%), a jej reakcja z ciekłym żeliwem jest prawie bezdymna. Metoda inmold zapewnia największy procent uzyskania magnezu z zaprawy magnezowej, która wykorzystywana jest w reakcji sferoidyzacji żeliwa [1]. Zastosowanie w kolejnym kroku technik inżynierii powierzchni, takich jak azotonasiarczanie, zdecydowanie poprawia własności mechaniczne żeliwa sferoidalnego: między innymi pozwala uzyskać kilkakrotnie większą twardość powierzchni żeliwa sferoidalnego jak również zmniejszenie współczynnika tarcia [2].

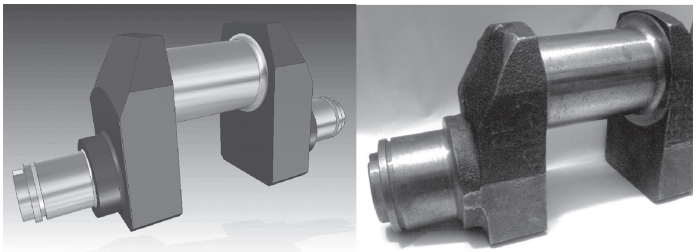
Azotonasiarczanie metodą Sulfonit przeprowadza się w piecu retortowym, w atmosferze amoniaku i par siarki, w temperaturze od 500 do 700ºC, w czasie od 10 minut do kilku godzin. W wyniku procesu otrzymuje się warstwę azotowaną taką samą, jak w metodzie azotowania klasycznego, przy czym w fazie ε wytworzone są siarczki żelaza. Decydujące znaczenie w eksploatacji elementów maszyn ma budowa strukturalna fazy ε z wtrąceniami siarczku żelaza, które oddzielają powierzchnie tarciowe i obniżają ich adhezję [3]. Prowadzi to do uzyskania wysokiej odporności na zużycie, niskich oporów tarcia, podwyższonej odporności korozyjnej i pełnej odporności na zacieranie. Możliwe jest także kształtowanie w szerokim zakresie struktury i właściwości warstwy wierzchniej poprzez sterowanie parametrami procesu oraz poprzez wytworzenie odpowiedniej ilości siarczku żelaza w fazie ε.

W rzeczywistych rozwiązaniach konstrukcyjnych elementów maszyn i urządzeń obserwuje się jednoczesne zachodzenie różnych procesów tribologicznych zużycia (od normalnego po ścierne i zmęczeniowo-stykowe) [3, 4]. Mając to na uwadze, przeprowadzono badania azotonasiarczania pod kątem jego wpływu na wymiary przemysłowo stosowanych czopów korbowych, w których zachodzą powyższe procesy zużycia.



Rys. 1. Schemat urządzenia służącego do azotonasiarczania metodą Sulfonit: 1) zasobnik z amoniakiem, 2, 3) zawory regulujące dopływ gazu, 4) zbiornik z siarką, 5) piec, 6) retorta, 7) wsad, 8) filtr wodny 9) kontrola stopnia dysocjacji amoniaku [3]

Fig. 1. Scheme of the sulfonitriding station: 1) tank with ammonia, 2, 3) gas flow regulating valves, 4) sulfur tank, 5) furnace, 6) retort, 7) batch, 8) water filter, 9) control the degree of dissociation of ammonia [3]



Rys. 2. Wał korbowy z żeliwa sferoidalnego: a) projekt wału korbowego wykonany w programie SolidEdge, b) wał korbowy przygotowany do obróbki azotonasiarczania

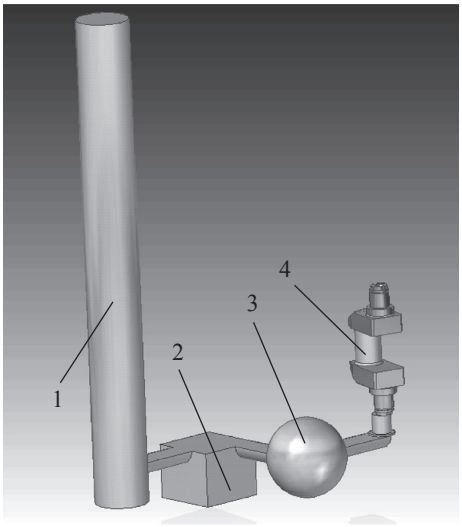
Fig. 2. Ductile iron crankshaft: a) crankshaft design made in SolidEdge, b) crankshaft machining sulfonitriding prepared

2. Materiały i metodyka badań

Do badań wykorzystano element mechanizmu korbowego silnika przenoszący ruch posuwisto-zwrotny tłoka na ruch obrotowy wału korbowego (czop korbowy). Metoda azotonasiarczania gazowego Sulfonit, którą wykorzystano do jego ulepszenia nadaje się doskonale do obróbki cieplno-chemicznej zarówno żeliwnych, jak i stalowych części maszyn.

Badaniom poddano próbki pobrane z odlewów z żeliwa sferoidalnego. Odlewy te otrzymano innowacyjną metodą łączącą technologię *lost foam* z sferoidyzacją inmold [5]. Zestaw

modelowy składający się z układu wlewowego, komory reakcyjnej o kształcie prostopadłościanu, komory mieszania o kształcie ściętej kuli oraz dwóch odlewów próbnych wykonano metodą wycinania na ploterze termicznym z bloku styropianowego [6]. Schemat układu wlewowego wraz z odlewami próbnymi przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Schemat układu wlewowego wraz z odlewem próbnym: 1) wlew główny, 2) komora reakcyjna, 3) komora mieszania, 4) odlew – wał korbowy

Fig. 3. The scheme of the gating system with experimental mould cavity: 1) pouring gate, 2) the reaction chamber, 3) mixing chamber, 4) cast – crankshaft

Żeliwo wytopiono w piecu indukcyjnym o pojemności wsadu 30kg PI-30. Do wytopów użyto surówki norweskiej OB, której skład przedstawiono w tabeli 1. Zawartość krzemu uzupełniono poprzez dodanie żelazokrzemu FeSi75. Do sferoidyzacji żeliwa w formie zastosowano zaprawę LAMET 5504 1–4 mm, w ilości 1,5% masy sferoidyzowanego żeliwa. Jest ona zarówno sferoidyzatorem i modyfikatorem grafityzującym [7]. Szczegółowy skład chemiczny zaprawy przedstawia tabela 2.

Po stopieniu wsadu kontrolowano jego temperaturę za pomocą termoelementu zanurzeniowego PtRh10-Pt. Formę zalewano żeliwem o temperaturze 1550°C.

Table 1

Skład chemiczny norweskiej surówki OB

Skład chemiczny [%]					
C	Si	Mn	P	S	Fe
3,940	1,090	0,015	0,023	0,004	94,928

Table 2

Skład chemiczny zaprawy sferoidyzująco-modyfikującej

Skład chemiczny [%]				
Si	Mg	Ca	MZR	Al
40,0–49,0	3,0–6,5	0,3–1,0	0,4–1,4	0,5–1,2

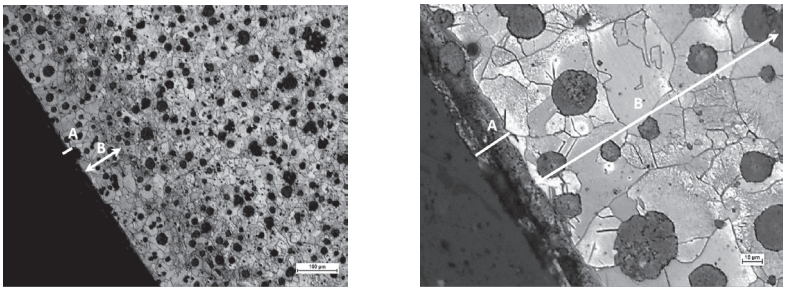
Materiał do badań mikroskopowych stanowiły próbki wycięte z odlewu próbnego z części walcowej czopu korbowego współpracującego z półpanewkami stopy korbowodu wykonane z żeliwa sferoidalnego. W celu umocnienia warstwy wierzchniej, przeprowadzono proces azotonasiarczania metodą Sulfonit.

Proces azotonasiarczania rozpoczęto od umieszczenia elementu w piecu retortowym, do którego dwoma przewodami doprowadzony był amoniak znajdujący się w butli ciśnieniowej. Na obu przewodach znajdowały się zawory regulujące natężenie przepływu gazu. Jednym przewodem amoniak przepływał bezpośrednio do retorty, drugim natomiast przepływał najpierw poprzez zbiornik z ciekłą siarką. W ten sposób pary siarki transportowane były do retorty. Obrabiane elementy umieszczono w retorcie ogrzewanej w piecu rezystancyjnie. Pary siarki opuszczające retortę wraz z częściowo zdysocjowanym amoniakiem wyłapywane były przez filtr wodny. Stopień dysocjacji kontrolowano specjalistycznym miernikiem. Temperatura procesu azotonasiarczania elementu wynosiła 540ºC i była utrzymywana przez 6 godzin. Temperatura siarki podawanej do wnętrza komory razem z amoniakiem wynosiła 160ºC. Po procesie gotowy element poddano badaniom metalograficznym. Ponieważ proces azotonasiarczania jest procesem końcowym gotowych elementów maszyn i urządzeń, dlatego też po wykonanym procesie obróbki cieplno-chemicznej elementu nie poddano go żadnej obróbce mechanicznej.

3. Wyniki badań i ich analiza

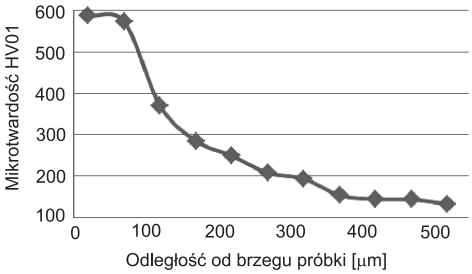
Wał korbowy wykonany z żeliwa sferoidalnego po procesie azotonasiarczania poddano badaniom metalograficznym oceniając mikrostrukturę i grubość warstwy azotonasiarczanej oraz dokonano pomiarów przyrostu średnicy czopu wału korbowego, która przed procesem wynosiła 40 mm. Na rys. 4 przedstawiono zdjęcie mikrostruktury czopa wałku korbowego. Grubość warstwy dyfuzyjnej wyniosła 170 µm natomiast średnica czopa powiększyła się o 20 µm. Jak można zauważyć w warstwie nie występują pęknięcia lub szczeliny co świadczy o dobrym zabezpieczeniu czopu przed czynnikami zewnętrznymi. Badania rozkładu twardości (rys. 5) wykazały dużą twardość bliską 600 HV na odcinku od powierzchni warstwy do 70 µm w głąb elementu, po czym twardość zmalała o 420 HV na odcinku 300 µm od powierzchni warstwy azotonasiarczanej.

a b



Rys. 4. Mikrostruktura warstwy azotonasiarczanej wytworzonej metodą Sulfonit na żeliwie sferoidalnym (A – ε+FeS+γ', B – strefa azotowania wewnętrznego): a) powiększenie x 100 trawienie Mi1Fe, b) powiększenie x 500 trawienie Mi1Fe

Fig. 4. Microstructure of nodular cast iron after sulfonitriding (A – ε+FeS+γ', B – a zone of internal nitriding): a) magnification x 100 digestion Mi1Fe, b) magnification x 500 digestion Mi1Fe



Rys. 5. Rozkład mikrotwardości w warstwie azotonasiarczanej czopu wykonanego z żeliwa sferoidalnego

Fig. 5. Microhardness distribution in the sulfonitriding layer on ductile iron crankshaft

4. Wnioski

Technologia *lost foam* ze sferoidyzacją inmold daje możliwość wykonania elementów z żeliwa sferoidalnego o dowolnym kształcie bez powiększania kosztów wytwarzania. Technologia ta eliminuje stosowanie rdzeni niezbędnych w tradycyjnej technologii odlewniczej do odwzorowania wewnętrznych powierzchni odlewu, zmniejsza liczbę urządzeń i oprzyrządowania technologicznego (brak formierek, mieszarek do sporządzania mas itp.) ze względu na zastosowanie masy formierskiej bez spoiwa. Wszystkie ww. zalety prowadzą do znacznego obniżenia kosztów produkcji. Korzyści potęgują zalety jednoczesnej sferoidyzacji w formie: duży uzysk Mg przewyższający 90%, brak zadymienia i świecenia, łatwość zautomatyzowania.

Połączenie metody odlewania z wykorzystaniem technologii *lost foam* z azotonasiarczaniem pozwala wytworzyć elementy pracujące z warunkach tarcia suchego, wysokich temperatur oraz w środowisku korozyjnym. Zastosowanie połączenia obu technologii pozwala na

znaczne obniżenie kosztów wytwarzania prototypów elementów maszyn i urządzeń narażonych na zużycie tribologiczne. Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, iż przyrost wymiarów czopu powstały w wyniku obróbki cieplno-chemicznej mieści się w granicach tolerancji wymiarowej, dlatego elementy poddane azotonasiarczaniu są gotowe do montażu bezpośrednio po procesie.

Literatura

[1] Pietrowski S., *Projekt Celowy*, Nr ROW-II-363/2008.

[2] Haś Z., *Sposób obróbki cieplno-chemicznej części maszyn stalowych i żeliwnych*, Patent nr 72531.

[3] Kula P., *Inżynieria warstwy wierzchniej*, Monografie 2000, PŁ.

[4] Gawroński Z., *Technologiczna warstwa wierzchnia w kołach zębatych i mechanizmach krzywkowych*, Monografie 2005, PŁ.

[5] Pacyniak T., Kaczorowski R., *Ductile cast iron obtaining by Inmold method with use of LOST FOAM process, Archives of Foundry Engineering*, vol. 8, Issue 3, July–September 2008.

[6] Pacyniak T., Just P., *Wykonywanie modeli z spienionych tworzyw wielkocząsteczkowych z wykorzystaniem plotera termicznego P 60 S firmy Megaplot*, Polska Metalurgia w latach 2006–2010, Kraków 2010.

[7] Guzik E., *Procesy uszlachetniania żeliwa*, *Wybrane zagadnienia*, Polska Akademia Nauk, Katowice 2001.