

Lepsze zabezpieczenie przekładni rozwiązaniem dla lotnictwa

Improved gearbox protection – a solution for the aircraft industry

Andrzej MALASIŃSKI



W KILKU SŁOWACH

Wdrożenie procesu hartowania z wykorzystaniem atmosfery ochronnej pozwala na eliminację procesu miedziowania galwanicznego stanowiącego zabezpieczenie powierzchni nawęglanej i powierzchni rdzenia obrabianych detali przed niekorzystnymi zjawiskami typu utlenienie, odwęglenie i nawęglenie powierzchniowe. Niekorzystną pod względem ekonomicznym, ekologicznym i jakościowym technologię miedziowania międzyoperacyjnego można zastąpić kontrolowanym procesem nagrzewania i wygrzewania, stosując atmosferę ochronną o regulowanym składzie. W konsekwencji wybrane detale, zwłaszcza koła zębate - będą mogły być obrabiane z powierzchniami na „gotowo” i będą spełniały wszystkie wymagania norm lotniczych w zakresie mikrostruktury warstwy nawęglonej i rdzenia.



SUMMARY

Implementation of the hardening process relying on a protective atmosphere allows for the elimination of the galvanic copper plating process which protects the carburised and core surfaces of treated components against such reactions as oxidation, decarburisation, and surface carburisation. The copper plating technology, taking place in-between operations and being unfavourable with regards to economic, environmental, and quality factors, can be replaced by the controlled heating and soaking process utilising a protective atmosphere with a controlled composition. As a consequence, certain parts, especially gear wheels, can undergo in-situ surface treatment, while conforming with all requirements set by aviation standards concerning the microstructure of the carburised layer and core.

Koła zębate stanowiące podstawowy asortyment produkcyjny PWK są nieodzownymi elementami konstrukcyjnymi przekładni. Użebienia kół zębatach przekładni lotniczych podlegają cyklicznemu zginaniu, zużyciu ściernemu, naciskom powierzchniowym.

Powyższe warunki pracy wymagają, aby materiał kół posiadał właściwą udarność, plastyczność, wytrzymałość doraźną i zmęczeniową oraz odpowiednio twardą powierzchnię zębów. Aby sprostać powyższym wymaganiom dobrano właściwy gatunek stali i rodzaj obróbki cieplnej.

Ze względu na seryjny i masowy charakter produkcji kół zębatach istnieje racjonalne i ekonomiczne uzasadnienie zastosowania niżej wymienionych rodzajów obróbki cieplnej:

- wyżarzanie bądź normalizowanie,
- ulepszanie cieplne,
- hartowanie powierzchniowe- indukcyjne,
- azotowanie, azotonawęglanie,

- nawęglanie gazowe i hartowanie.

Stosowane w przekładniach lotniczych koła zębate charakteryzują się tym, że zazwyczaj nie poddaje się utwardzaniu wszystkich ich powierzchni tym samym nawęglaniem i obróbka cieplna po nawęglaniu mają ogromny wpływ na cały proces technologiczny wytwarzania kół zębatach.

Aby zapobiec dyfuzji węgla, a tym samym i utwardzenia określonych powierzchni stosuje się różne środki ochronne:

- naddatek technologiczny na obróbkę mechaniczną,
- pokrywanie miejscowe lub całościowe części specjalnymi pastami ochronnymi,
- pokrywanie powierzchni części warstwą miedzi.

W celu zapewnienia rygorystycznych wymagań jakościowych (w szczególności odwęglenia i utlenienia warstwy wierzchniej) produkowanych kół zębatach - w chwili obecnej stosuje się





głównie technologię miedziowania galwanicznego - wspieraną dodatkowo pokryciami pasty zabezpieczającej/ antydyfuzyjnej.

Charakterystyka obszaru badawczo- rozwojowego

PWK świadome niekorzystnej pod względem ekonomicznym, ekologicznym i jakościowym technologii miedziowania elektrolitycznego przystąpiło do prac mających na celu zastąpienie technologii miedziowania cienkiego (poprzedzającego operację hartowania) kontrolowanym procesem nagrzewania i wygrzewania w procesie hartowania z użyciem atmosfery ochronnej o regulowanym składzie

Wspomniany powyżej aspekt jakościowy związany jest w głównej mierze z nawęgleniami w miejscach niedopuszczalnych (rys. 1).

Przyczynami tego stanu rzeczy są najczęściej:

- uszkodzenia mechaniczne miedzi,
- słaba przyczepność miedzi do podłoża,
- porowatość miedzi
- zbyt mała grubość miedzi.

Przy czym największy udział w powstawaniu odchyłek jakościowych stanowią uszkodzenia miedzi powstałe w wyniku zakaleczeń mechanicznych powstałych podczas operacji gratowania.

Aspekt ekologiczny związany jest z użyciem toksycznych roztworów w trakcie miedziowania i odmiedziowania (w szczególności sześciowartościowego chromu) oraz koniecznością unieszkodliwiania ścieków.

Aspekt ekonomiczny związany jest z kosztami:

- realizacji operacji miedziowania i odmiedziowania
- gospodarki zarządzania ściekami,
- potencjalnie niejakościowej produkcji (odchylki i braki)
- transportu



Rys. 1. Nawęglenia w miejscach niedopuszczalnych

Modernizacja obróbki cieplnej po nawęglaniu kół zębatych

Najskuteczniejszą ochronę (przed utlenieniem, nawęgleniem bądź odwęgleniem) wsadu podczas nagrzewania i wygrzewania zapewniają nam atmosfery ochronne i obojętne, które można stosować we wszystkich rodzajach procesów obróbki cieplnej (nawęglanie, hartowanie, wyżarzanie i odpuszczanie).

Z uwagi na fakt, że dla większości obrabianych cieplnie detali PWK stosowane jest oprzyrządowanie ograniczające deformacje hartownicze jedynym możliwą aplikacją jest atmosfera ochronna. Zakładając, że proces obróbki cieplnej prowadzimy w sposób w pełni kontrolowany możemy spodziewać się zamierzonych i co najważniejsze powtarzalnych wyników tej obróbki.

W związku z powyższym PWK w ramach programu operacyjnego POIG 1.4-4.1 przystąpiło do prac badawczo- rozwojowych i wdrożeniowych mających na celu wyeliminować procesu miedziowania międzyoperacyjnego (poprzedzającego proces hartowania) na rzecz hartowania kół zębatych w atmosferze ochronnej.

W ramach I etapu projektu (prace badawcze i rozwojowe) zrealizowano kolejne podzadania projektu:

- opracowano założenia i warunki techniczne do wymagań w zakresie doboru atmosfery ochronnej
- wykonano analizę w zakresie opracowania atmosfer ochronnych
- opracowano analizę termodynamiczną warunków reakcji utlenienia, odwęglenia i nawęglania w różnych atmosferach oraz wytypowano wstępne składy atmosfer ochronnych
- wykonano próbki i części testowe do badań własności atmosfer
- przeprowadzono badania własności utleniających i redukujących atmosfer
- przeprowadzono badania własności odwęglających atmosfer
- przeprowadzono badania metalograficzne próbek po procesie z zastosowaniem atmosfer
- opracowano rodzaj atmosfery ochronnej wraz z optymalnym jej składem i warunkami jej stosowalności
- opracowano założenia techniczne konstruk-



cji pieca karuzelowego do pracy z opracowaną atmosferą ochronną

- opracowano założenia i wytyczne do systemu monitorowania i kontroli składu chemicznego atmosfery ochronnej
- opracowano prototypowe technologie obróbki cieplnej detali produkcyjnych w oparciu o wyniki ustalonego składu atmosfery ochronnej

W ramach II etapu projektu (prace wdrożeniowe) zrealizowano zakup i uruchomienie produkcyjnego pieca z obrotowym trzonem typu RHE (rys.2), którego konstrukcja została określona na bazie wyników i wytycznych opracowanych w ramach I etapu projektu. Zakupiony piec charakteryzuje się wyposażeniem w system monitorowania procesu obróbki cieplnej zgodnie z opracowaną w ramach projektu technologią, z zastosowaniem atmosfery ochronnej.



Rys.2. Piec obrotowy typu RHE

W ramach II etapu projektu zweryfikowano doświadczalnie technologię wytwarzania kół zębatych zgodnie z systemem zarządzania jakością. Celem tych prac było potwierdzenie zgodności przebiegu i efektów wszystkich etapów produkcji części prototypowych z wymaganiami systemu zarządzania jakością, wymaganiami rysunkowymi, wymaganiami norm, procedur, instrukcji. W wyniku tych prac przygotowano dane do procedury certyfikacji obróbki cieplnej części zgodnie z wymaganiami dotyczącymi krytycznych części lotniczych. Określono stopień przystosowania opracowanych technologii prototypowych do warunków produkcyjnych PWK z uwzględnieniem istniejących w zakładzie systemów organizacji produkcji (metody wzorcowe, lean manufacturing). Po procesie

weryfikacyjnym przystąpiono do procedury certyfikacji procesu opartego w głównej mierze na potwierdzeniu zgodności odbioru jakościowego wytypowanych części produkcyjnych z SZJ

Odbiór jakościowy części po obróbce cieplnej

Wraz ze zmianą konstrukcji kół zębatych stosowanych w przekładniach lotniczych zmieniły się procesy specjalne wykorzystywane przy ich produkcji jak również metody ich monitoringu i kontroli.

W chwili obecnej obowiązek spełnienia wymagań lotniczej normy materiałowej AMS dla własności mechanicznych materiału spoczywa na zatwierdzonym dostawcy półwyrobu (odkuwka, pręt). Wraz z dostawą półwyrobu dostawca jest zobowiązany przedstawić atest potwierdzający zgodność półwyrobu z zamówieniem co upoważnia do dopuszczenia go do dalszej produkcji. W dalszym etapie produkcyjnym kół zębatych oprócz materiału kontrolowany jest również sam proces obróbki cieplnej zgodnie z wymaganiami klienta, a wykorzystane w procesie urządzenia muszą spełniać wymagania normy AMS2750 D.

Kontrola procesu nawęglania (piece komorowe typu CASEMASTER)

1. Ciągły monitoring i kontrola potencjału węglowego atmosfery nawęglającej za pomocą okresowo legalizowanej sondy tlenowej.

2. Okresowa kontrola koncentracji węgla na różnej głębokości. Do badania wykorzystywana jest specjalnie zaprojektowana próbka, na której po procesie nawęglania i wysokiego odpuszczania dokonuje się pomiaru stężenia węgla na przekroju warstwy nawęglanej. Uzyskanie wartości koncentracji węgla w powyższych przedziałach potwierdza prawidłowy przebieg procesu nawęglania i jest fundamentem właściwego rozkładu mikrotwardości po procesie obróbki cieplnej

3. Do każdego wsadu nawęglanego dokładane są reprezentatywne próbki, które odzwierciedlają przebieg procesu produkcyjnego części. Próbki te po przeprowadzeniu całego cyklu obróbki cieplnej (hartowanie, obróbka podzerowa, sezonowanie) są kierowane do laboratorium i poddawane badaniom metalograficznym (mi-





rostruktura, twardość warstwy i rdzenia oraz grubość warstwy nawęglanej). W przypadku uzyskania zadawalających wyników części są kierowane na kolejne operacje obróbki cieplnej (hartowanie, obróbka podzerowa, sezonowanie).

4. Po procesie obróbki cieplnej kolejna próbka świadek (towarzysząca każdej serii części) jest po raz kolejny kierowana na badania metalograficzne. Celem tego badania jest weryfikacji poprawności przeprowadzenia całego cyklu obróbki cieplnej

5. Kontrola ostateczna, której poddawane są wszystkie pierwsze serie produkcyjne (np. po wprowadzeniu istotnych zmian w procesie produktu tak jak to miało miejsce w omawianym przypadku) po całym procesie produkcyjnym, a więc po obróbce cieplnej i mechanicznej. Celem badania jest potwierdzenie zgodności parametrów metalurgicznych i wymiarowych z wymaganiami rysunku konstrukcyjnego.

Badania metalograficzne

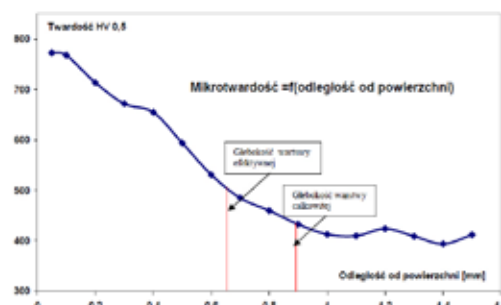
W celu oceny jakości przeprowadzonej obróbki cieplnej należy wykonać badania niszczące-metalograficzne. Badanie te polegają na wycięciu fragmentu części/ próbki a następnie skontrolowaniu mikrostruktury, twardości warstwy i rdzenia oraz grubość warstwy nawęglanej. Podstawą uzyskania właściwych wyników jest właściwa preparatyka próbek, na którą składa się:

- właściwe wytypowanie miejsca pobrania próbki (należy zachować prostopadłość płaszczyzny cięcia w stosunku do powierzchni badanej)
- właściwie pobranie próbki (bez narażenia próbki na lokalne przegrzania)
- dobór struktury stosowanej żywicy i parametrów procesu inkludowania
- dobór materiału ścierniwa i prędkości szlifowania przy planowaniu powierzchni badanej
- dobór parametrów polerowania i trawienia

Mając przygotowaną próbkę badawczą przystępujemy do określenia grubości warstwy nawęglanej, która jest dokonywana na podstawie rozkładu mikrotwardości. Klienci branży lotniczej stosują dwie metody pomiarowe grubości warstwy nawęglanej- metodę Vickers'a i Knoop'a różniące się między sobą kształtem penetratora. Mówiąc o głębokości warstwy nawęglanej

nej należy zdefiniować dwie wielkości:

- całkowitą głębokość warstwy nawęglanej określającą odległość od powierzchni (mierzonej prostopadle) punktu, w którym wartość uzyskanej twardości odpowiada określonej przez klienta wartości
- efektywną głębokość warstwy nawęglanej określającą odległość od powierzchni (mierzonej prostopadle) punktu, w którym uzyskano określoną przez klienta twardość (stanowiącej ok. 85% grubości warstwy całkowitej) -patrz rys. 3,



Rys. 3 Przykładowy rozkład mikrotwardości Vickersa HV0,5

Mikrostruktura

Odbiorowi jakościowemu poddawana jest również mikrostruktura rdzenia i warstwy. Badanie polega na odniesieniu obserwowanej w mikroskopie mikrostruktury do wzorców podanych przez właściwe normy odbiorców. Podczas badań metalograficznych oceniane są:

- mikrostruktura warstwy (rys. 4a)
- mikrostruktura rdzenia (rys. 4c)
- obecność i wielkość węglików (zwłaszcza w narożach zębów)- rys. 5,
- ilość austenitu szczątkowego
- wartość utlenienia (rys. 6)
- wielkość ziarna

Badania w kontroli ostatecznej

Oprócz wyżej opisanej metodyki badań wynikających z toku produkcyjnego okresowo i wybiórczo realizowane są badania metalograficzne części gotowych. Pojęcie wybiórczo odnosi się w głównej mierze do nowoopracowanych i wdrażanych części jak również części, dla których wprowadzono zmiany procesu produkcyjnego wymagających weryfikacji i zatwierdzenia.. W celu poprawności wykonania omawianego badania dla każdego detalu okre-



ślone są jednoznacznie miejsce pobrania próbek z detalu, miejsca krytycznych naprężeń, w których należy dokonać sprawdzenia.

Podsumowanie

Udoskonalenie obróbki cieplnej kół zębatych poprzez wdrożenie procesu hartowania z wykorzystaniem atmosfery ochronnej pozwala na eliminację procesu miedziowania galwanicznego stanowiącego zabezpieczenie powierzchni nawęglanej i powierzchni rdzenia obrabianych detali przed niekorzystnymi zjawiskami typu utlenienie, odwęglenie i nawęglanie powierzchniowe. Niekorzystną pod względem ekonomicznym, ekologicznym i jakościowym technologią miedziowania międzyoperacyjnego zastąpiono kontrolowanym procesem nagrzewania i wygrzewania stosując atmosferę ochronną o regulowanym składzie. W konsekwencji wybrane detale będą mogły być obrabiane z powierzchniami na „gotowo” i będą spełniały wszystkie wymagania norm lotniczych w zakresie mikrostruktury warstwy nawęglonej i rdzenia. W tabeli 1 przedstawiono różnice pomiędzy dotychczas stosowaną obróbką cieplną, a nowo opracowaną dla części typu koło zębate.

Dotychczasowy proces obróbki cieplnej	Nowo opracowany proces obróbki cieplnej
Nazwa operacji	Nazwa operacji
Hartowanie	Hartowanie
Odpuszczanie	Odpuszczanie
Miedziowanie*	Miedziowanie
Oczyszczanie chemiczne**	Oczyszczanie chemiczne*
Nawęglanie	Nawęglanie
Miedziowanie próbek	
Obróbka cieplna próbek	Obróbka cieplna próbek
Odmiedziowanie	
Oczyszczanie	
Miedziowanie***	
Hartowanie	Hartowanie
Obróbka podzerowa	Obróbka podzerowa
Niskie odpuszczanie	Niskie odpuszczanie
Odmiedziowanie	Odmiedziowanie
Kontrola	Kontrola

Tab. 1 Porównanie dotychczas stosowanego i nowo opracowanego procesu obróbki cieplnej

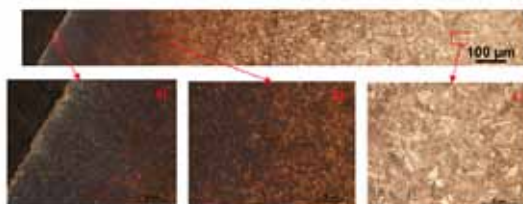
* dla potrzeb operacji nawęglania
 ** operacja wariantowa
 *** dla potrzeb operacji hartowania

Dzięki zastosowaniu pieca RHE z atmosferą ochronną PWK może poszczycić się :

- działaniem na rzecz zdrowia i życia ludzi,
- polepszeniem technologiczności kół zębatych,
- typizacją procesów technologicznych kół zębatych.
- zmniejszeniem czasu wygrzewania części w piecu o ok. 15%
- skróceniem cyklu hartowania o ok. 2 dni (z uwagi na eliminację miedziowania i odmiedziowania z procesu produkcyjnego)
- poprawieniem warunków środowiskowych poprzez zastosowanie w procesie wytwarzania atmosfery z gazów obojętnych.
- zmniejszeniem energochłonności poprzez wykluczenie w procesie generatora do spalania gazów węglowodorowych i eliminację operacji miedziowania, odmiedziowania z procesu produkcyjnego

Spodziewanymi korzyściami są:

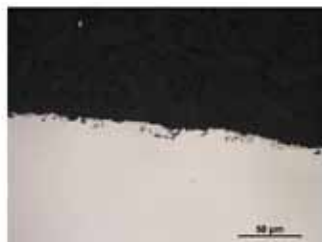
- zmniejszenie o 7-8% kosztów produktu,
- skrócenie cyklu produkcyjnego o ok. 8%,
- stworzenie produktu bardziej przyjaznego środowisku naturalnemu,
- zmniejszenie poziomu odchyłek i braków o 8-10% (z tytułu złej jakości części po procesie obróbki hartowania).



Rys. 4. Mikrostruktura warstwy wierzchniej



Rys. 5. Rozkład i wielkość węglików



Rys. 6 Ocena utlenienia powierzchni próbek