

WYZWANIA KONSTRUKCYJNE DLA PRZEKŁADNI STOŻKOWYCH STOSOWANYCH W LOTNICZYCH SILNIKACH TURBOWENTYLATOROWYCH

Jacek SOWA¹

STRESZCZENIE

Publikacja ta ma na celu przybliżenie czytelnikom wymagania, jakie są stawiane projektowanym kołom zębatym stożkowym stosowanym w układach napędów silników turbowentylatorowych. Przedstawione zostaną zarówno trudne warunki pracy kół, ich wpływ na niezawodność silnika, oraz w konsekwencji na bezpieczeństwo lotu.

1. WPROWADZENIE

Nowoczesne samoloty wykorzystują coraz więcej energii do sterowania płatowcem jak i dla zapewnienia odpowiedniego komfortu podróży. Zastosowanie nowoczesnej elektroniki oraz hydrauliki łączy się zarówno z nowym systemem sterowania zwanym „fly-by-wire”, nowoczesnymi systemami nawigacyjnymi, oraz zaawansowaną elektroniką pokładową. Taki rozwój konstrukcji samolotów wymusza na producentach silników lotniczych zapewnienie w swoich konstrukcjach możliwości odbioru coraz to większej mocy z silnika. Równocześnie budowa samego silnika znacznie się zmieniła na przestrzeni ostatnich lat. Standardem stało się elektroniczne sterowanie silnika oznaczane jako FADEC (Full Authority Digital Engine Control). Dodatkowo producenci silników wprowadzają coraz więcej urządzeń wykonawczych w układzie sterowania silnikiem opartych na zasilaniu elektrycznym, takich jak elektrozawory, silniki

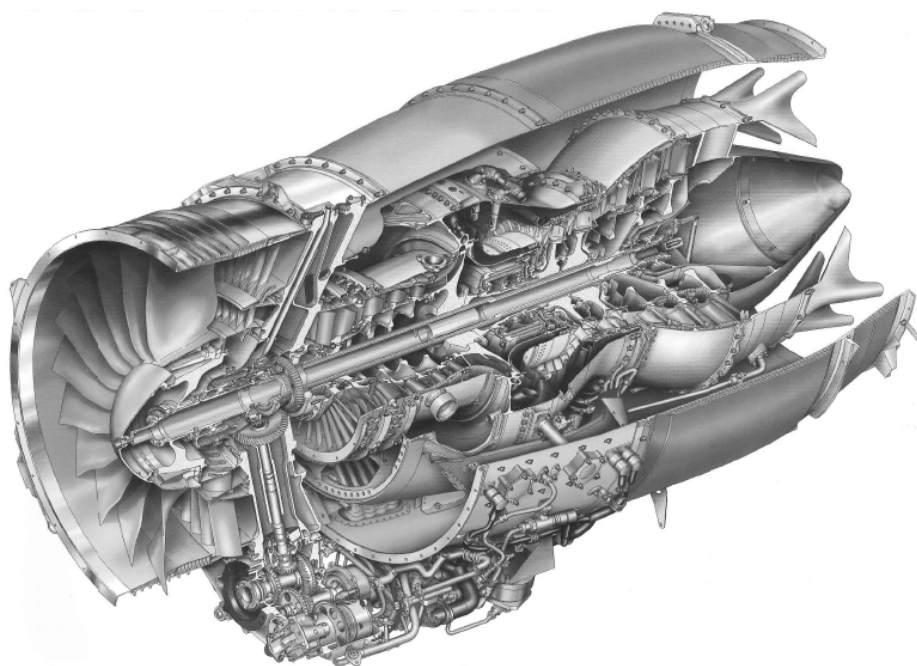
¹ mgr inż. Jacek Sowa – Dział Konstrukcji Silników WSK „PZL-Rzeszów” S.A.

krokowe, pompy elektryczne, i inne. Trend ten jest nazywany jako „elektryczny silnik”.

Stosowanie tych wszystkich urządzeń powoduje znaczny zwiększony pobór mocy z wytwornicy gazu, jednocześnie obniżając sprawność silnika.

W największych silnikach do samolotów komunikacyjnych odbierana moc dochodzi nawet do 800KM. W silniku turbowentylatorowym moc ta odbierana jest z wału sprężarki wysokiego ciśnienia poprzez układ kół stożkowych oraz promieniowy wał przechodzący przez trakt gazowy wewnątrz jednej z owiewek podtrzymujących podporę łożyska sprężarki. Taki układ został wymuszony warunkami rozruchu silnika, bowiem podczas rozruchu rozrusznik umieszczony na skrzyni napędu agregatów rozkręca sprężarkę wysokiego ciśnienia aż do momentu uzyskania odpowiedniego ciśnienia powietrza w komorze spalania i rozpoczęcia procesu zapłonu paliwa. W momencie rozpoczęcia ciągłej pracy rozrusznik jest odłączany a moc płynie w kierunku odwrotnym ze sprężarki do skrzyni napędu agregatów.

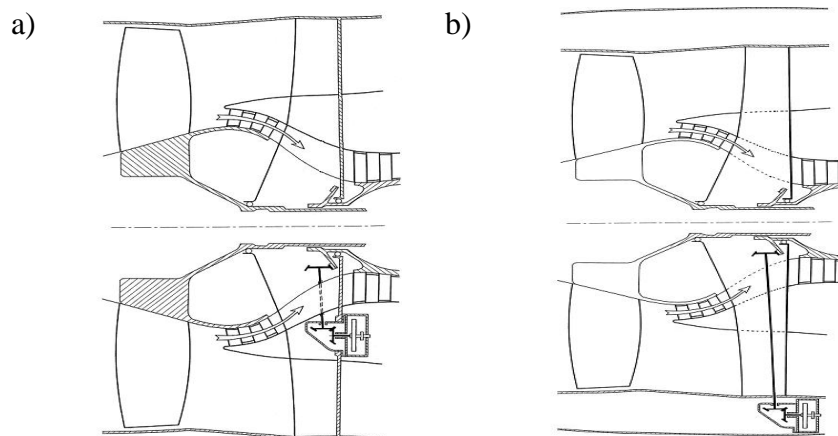
Rysunek 1 pokazuje obecnie stosowane rozwiązanie układu napędowego silnika.



Rys. 1. Przekrój przez typowy silnik turbowentylatorowy

Skrzynia przekładniowa napędu agregatów, może być zamontowana zarówno w gondoli silnika, co ułatwia dostęp przez personel naziemny lub tuż na

kadłubie sprężarki pod zewnętrznym traktem gazowym, co obniża wielkość gondoli, a tym samym opór aerodynamiczny. Typowe układy napędowe aktualnie stosowane w silnikach turbowentylatorowych przedstawiono na Rys. 2.



Rys. 2. Typowe lokalizacje skrzyń napędu agregatów. a) montaż tuż nad wytwornicą gazów, b) montaż poza zewnętrznym traktem gazowym w gondoli silnika.

Skrzynka napędu agregatów oprócz pompy hydraulicznej oraz prądnicy pługowca napędza krytyczne dla pracy silnika urządzenia takie jak: prądnica wzbudnika zapłonu oraz komputera sterującego silnikiem, pompy olejowe układu smarowania, pompę paliwową, oraz inne. Tak, więc awaria któregoś z komponentów układu przeniesienia napędów może mieć krytyczne w skutkach następstwa nawet w postaci zatrzymania silnika, co w przypadku samolotów jedno silnikowych może doprowadzić nawet do katastrofy lotniczej.

Analiza niezawodności oraz dane z jednostek naprawczych wskazują, iż para kół stożkowych umieszczona wewnątrz podpory łożyska sprężarki jest najsłabszym elementem układu napędu skrzynki agregatów. Wynika to z warunków pracy oraz odpowiedzialności tego systemu..

2. WARUNKI PRACY

Warunki pracy przekładni są wprost związane z fazą lotu pługowca. Rozpoczynając projektowanie rozważa się wszystkie fazy lotu, niemniej jednak zazwyczaj pozostają trzy kluczowe, praca na wolnych obrotach, zakres startowy, oraz praca jednosilnikowa. W zależności od wielkości silnika prędkość obrotowa koła zębatego umieszczonego na wale sprężarki wysokiego ciśnienia wynosi od 8000 do nawet 55000 obr/min, co daje prędkości liniowe na stożku podziałowym po stronie dużego modułu w zakresie od 90 do 210 m/s. Tak

wielkie prędkości obrotowe przekładają się na duże prędkości poślizgu w zazębieniu, które to są wynikiem znacznego pochylenia linii zęba, które standardowo wynosi 35 stopni. Prędkości poślizgu dochodzą nawet do 25m/s. Dodatkowo, dzięki zastosowaniu nowoczesnych materiałów oraz zwiększonemu chłodzeniu elementów wirujących, dzięki upustowi powietrza ze sprężarki, nowoczesne silniki mają coraz wyższe temperatury pracy. Ponieważ chłodzenie powietrzem skupia się głównie na module turbin, to temperatura oleju dostarczanego do wewnątrz podpory łożyskowej sprężarki wysokiego ciśnienia od strony jej wlotu, stale rośnie. Powoduje to, że koła stożkowe umieszczone w okolicy tej podpory pracują w wysokiej temperaturze, nawet do 160 stopni C.

Powyższe czynniki powodują, iż głównym czynnikiem określającym żywotność kół stożkowych stosowanych w tym obszarze nie jest zginanie czy kontakt, a odporność na zacieranie.

3. ASPEKTY KONSTRUKCYJNE

Podstawowymi problemami w prawidłowym montażu kół w silniku jest odpowiednie zapewnienie bazowych dystansów montażowych zapewniających właściwy luz boczny realizowany poprzez odpowiednią sztywność podpór. Dużym wyzwaniem jest zaprojektowanie właściwego położenia koła względem łożyska podpierającego sprężarkę, aby uniknąć wpływu rozszerzalności cieplnej sąsiadujących części na wielkość luzu. Problem ten eliminuje się poprzez zamontowanie koła stożkowego tuż za łożyskiem podpierającym wał sprężarki i dociśnięciem go za pomocą nakrętki z właściwie wyliczonym napięciem wstępnym.

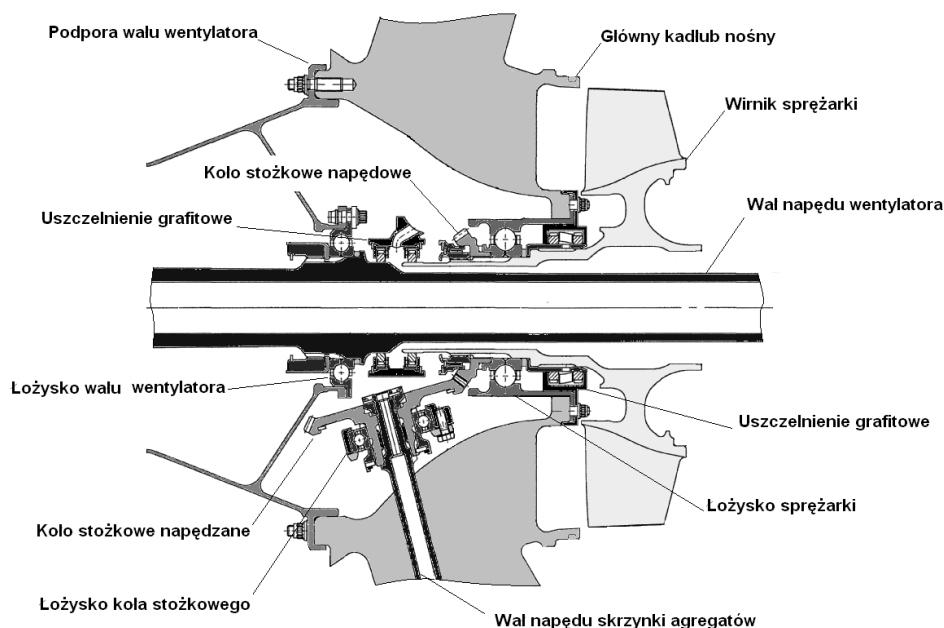
Dodatkowo wymiar koła jest ograniczony od wewnątrz średnicą wału sprężarki, na którym jest ono osadzone, oraz od zewnątrz kadłubem podpory łożyskowej oraz kształtem traktu gazowego silnika właściwego.

Typowy układ podpory sprężarki pokazano na rys 3.

Ze względu na odprowadzanie ciepła oraz straty w zazębieniu ważnym zagadnieniem jest również umieszczenie wtryskiwacza olejowego względem koła. Umieszczenie go tuż przy wżębieniu powoduje zwiększenie grubości filmu olejowego, ale równocześnie podniesienie strat w zazębieniu związanych z wypieraniem klina olejowego z przestrzeni między zębami. Natomiast umieszczenie dyszy tuż za wyzębieniem jest korzystne ze względu na szybkie odprowadzenie ciepła powstającego w zazębieniu. Niestety wadą tego rozwiązania, zwłaszcza w kołach szybkoobrotowych jest zmniejszenie grubości filmu olejowego przy wejściu w zazębienie ze względu na jego odrzucanie siłą odśrodkową z powierzchni zębów.

Dodatkowym czynnikiem powiększającym straty w zazębieniu jest utrata mocy ze względu na mieszanie mgły olejowej. Patrząc na koło stożkowe od strony naciętego uzębienia, koło przypomina kształtem sprężarkę odśrodkową.

I w rzeczywistości kołowo-łukowy kształt zęba oraz duża prędkość obrotowa koła powoduje generowanie znacznych zaburzeń w przepływie mgły olejowej wewnątrz przegrody łożyskowej tworząc dodatkowy opór dla koła. Powoduje to dodatkowe generowanie ciepła oraz zaburzenie celności strugi olejowej przy niewłaściwym położeniu wtryskiwaczy.



Rys 3. Typowy układ podpory łożyska sprężarki od strony wlotu powietrza

4. TENDENCJE ROZWOJOWE

Aktualnie w praktyce przemysłowej, aby ominąć problemy z podwyższonym ryzykiem zatarcia, profile czynne zębów powleka się powłokami antyzatarcowymi. Popularnym stało się pokrywanie boków zębów srebrem. Cienka warstewka srebra toleruje poślizg wraz ze stykiem metal do metalu oraz ułatwia kontrolę stanu powierzchni zęba. Dodatkowo wprowadza się nowe materiały na koła zębate takie jak Pyrowear 53®, który zachowuje swoje właściwości wytrzymałościowe w wyższych temperaturach. W celu ograniczenia strat spowodowanych mieszaniem mgły olejowej wprowadza się cienkie osłony wykonywane z blachy, które jednocześnie uspokajają przepływ oleju a tym samym jego szybsze odprowadzenie. Ma to istotny wpływ na gospodarkę cieplną w przegrodzie łożyskowej, ponieważ szybkie usunięcie gorącego oleju powoduje mniejsze nagrzewanie podpory. Dodatkowo, aby walczyć z coraz wyższymi

temperaturami oleju główni ich producenci dopracowują nowe ich typy. W ostatnich latach wiele firm lotniczych dopuściło do użytkowania oleje typu HTS (High Thermal Stability) typowym przykładem jest firma Shell oferująca olej Areoshell 560. Wszystkie te zabiegi pozwalają na budowanie gorętszych i bardziej efektywnych termodynamicznie silników.

LITERATURA

- [1] Pratt&Whitney: the Aircraft Gas Turbine Engine and Its Operation. P&W Hardford 1988.
- [2] Rolls Royce: The Jet Engine. Rolls Royce Plc. 1996.
- [3] AGMA: Design Guidelines for Aerospace Gearing. AGMA 1994.

DESIGN CHELENGES FOR BEVEL GEARING APPLIED IN AEROSPACE GAS TURBINE ENGINES

SUMMARY

This paper is focused to present for wide readers technical requirements which are generated and has to be met during design process for aircraft turbo-fan engine bevel gears. The paper presents demanding operation condition, but also operating regimes and its influence on part sand engine reliability.