

ZB nr 4

Nowe rozwiązania inżynierii powierzchni dla przekładni zębatych w napędach lotniczych



Prof. Dr hab. inż. Piotr Kula
Politechnika Łódzka
Instytut Inżynierii Materiałowej



Dr inż. Bogdan Kozik
Politechnika Rzeszowska



Podzadanie 4.2

Analiza rozwiązań konstrukcyjnych przekładni stosowanych w nowoczesnych konstrukcjach samolotowych

1. Program ART - ADVANCED ROTORCRAFT TRANSSMISSION

CEL: Zmniejszenie masy i głośności przekładni stosowanych w śmigłowcach cywilnych i wojskowych przy jednoczesnym podniesieniu ich sprawności i niezawodności

UCZESTNICZY: ALLVAC (Allegheny Teledyne Company), Arrow Gear Company, Bell Helicopter Textron, Boeing Mesa/Philadelphia, Boeing Precision Gear Incorporated, Carpenter Technology Corporation, Latrobe Steel Company, Rolls Royce Allison, Sikorsky Aircraft Corporation, oraz The Purdy Corporation.

OKRES REALIZACJI: 1988-1996

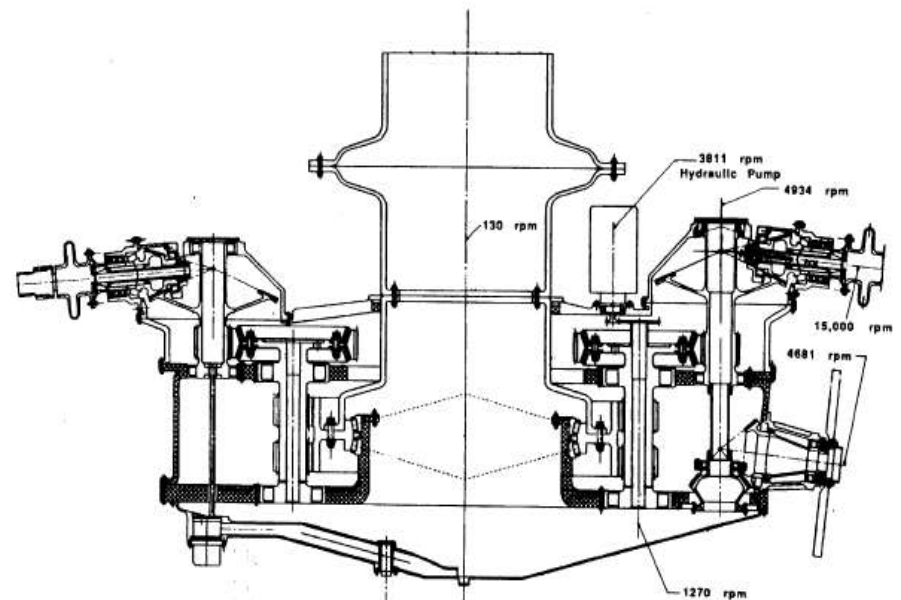
Podzadanie 4.2

Analiza rozwiązań konstrukcyjnych przekładni stosowanych w nowoczesnych konstrukcjach samolotowych

1. Program ART - ADVANCED ROTORCRAFT TRANSMISSION OPRACOWANE KONSTRUKCJE

Przekładnia wielodrożna

1. Opracowano nowo przekładnię wielodrożną o 23% lżejszą, o 10dB cichszą, o poziomie niezawodności czterokrotnie wyższym niż wcześniej stosowane
2. Opracowana przekładnia wielodrożna okazała się być bardziej niezawodna niż przekładnia planetarna.
3. Osiągnięto masę niższą od stosowanych wcześniej przekładni dzięki wykorzystaniu materiałów kompozytowych zwłaszcza jako elementy obudów, wałki główne i pomocnicze.
4. Zmniejszono koszt użytkowania przekładni o około 300USD na lot ze względu na wydłużenie okresów między przeglądowych i czasu do naprawy głównej z 997h do 3890h.
5. Całkowity koszt obsługi floty zmalał o około 1,7 mld dolarów ze względu na zastosowanie nowych przekładni.
6. Dzięki konstrukcji wielodrożnej urządzenia dodatkowe mogą być napędzane bezpośrednio bez konieczności stosowania dodatkowych skrzynek rozdzielczych



Podzadanie 4.2

Analiza rozwiązań konstrukcyjnych przekładni stosowanych w nowoczesnych konstrukcjach samolotowych

2. Program ART - ADVANCED ROTORCRAFT TRANSMISSION OPRACOWANE KONSTRUKCJE



McDonnell Douglas Helicopter Company we współpracy z armią amerykańską zaproponował wykorzystanie kół zębatach talerzowych w układach przeniesienia napędu. Mogą one być wykorzystane do zmiany kąta pomiędzy poziomo usytuowanym silnikiem turbinowym a pionowym wyjściem wałka wirnika zamiast przekładni kątowych z kołami o zębach krzywoliniowych. Na rysunku przedstawione jest testowane rozwiązanie przekładni. Rozwiązanie takie umożliwiłoby zdecydowane obniżenie masy systemu co jednak wymagało modyfikacji zarysu zębów i doboru nowych materiałów na koła zębata mogących sprostać podwyższonym w tym wypadku wymaganiom wytrzymałościowym (Podobne rozwiązania analizowane były we współpracy Boeing –DARPA)

Podzadanie 4.2

Analiza rozwiązań konstrukcyjnych przekładni stosowanych w nowoczesnych konstrukcjach samolotowych

3. Program ART II + RDS 21 (Rotorcraft Drive System for 21st century)

CELE:

1. Zintegrowanie systemów opracowanych w ramach projektu ART I
2. Opracowanie i wykonanie modułów podsystemów
3. Zintegrowanie wszystkich komponentów w wspólny system napędu
4. Wykorzystanie efektów synergicznych i korzyści płynących z :
 - stosowania zaawansowanych systemów smarowania
 - ograniczania emisji hałasu
 - stosowania lekkich obudów
 - ograniczania ilości przełożeń i części składowych przekładni
 - stosowania materiałów i technologii umożliwiających większe obciążenia przekładni

OKRES REALIZACJI: 1997-2005

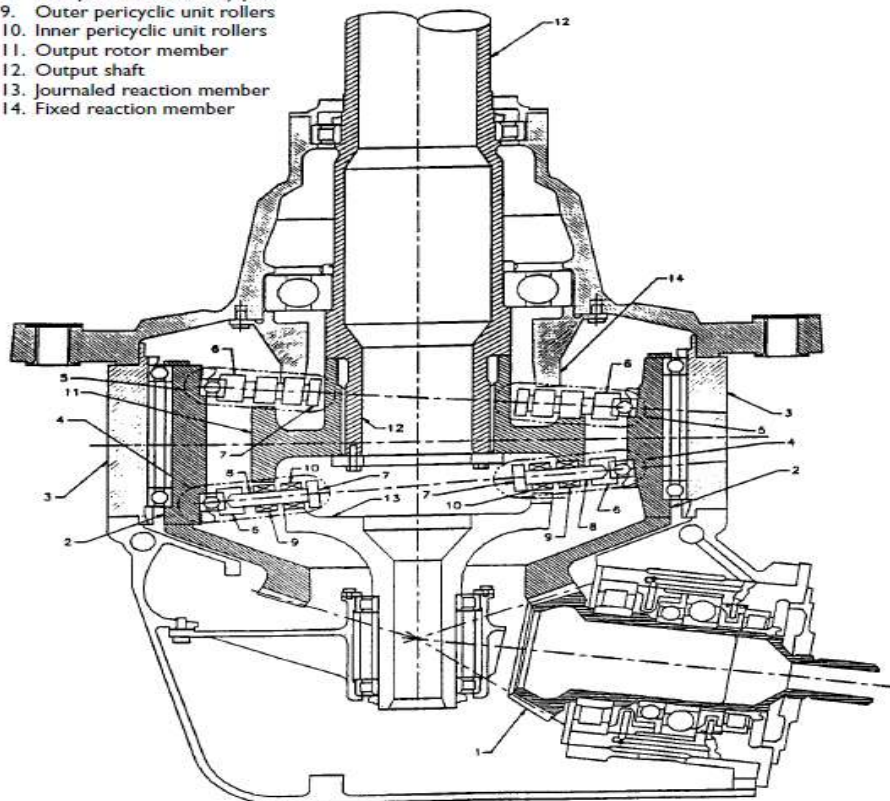
Podzadanie 4.2

Analiza rozwiązań konstrukcyjnych przekładni stosowanych w nowoczesnych konstrukcjach samolotowych

4. Program ART II + RDS 21 (Rotorcraft Drive System for 21st century)

OPRACOWANE KONSTRUKCJE

1. Spiral bevel gear members-input torque and speed
2. Split torque/path pericyclic retaining ring assembly
3. Upper transmission housing
4. Pericyclic lower unit assembly
5. Pericyclic upper unit assembly
6. Outer ring of pericyclic unit assembly
7. Inner ring of pericyclic unit assembly
8. Pericyclic unit assembly pins
9. Outer pericyclic unit rollers
10. Inner pericyclic unit rollers
11. Output rotor member
12. Output shaft
13. journaled reaction member
14. Fixed reaction member



Przekładania PVT – (pericyclic variable rotor speed drive transmission)

Możliwa do zastosowania w następujących konstrukcjach: AH-64 Apache, H-60 Sea/Blackhawks, CH-47D Chinook, OH-58D, RAH-66 Comanche, oraz V-22 Osprey.

Przekładnia jest alternatywą dla systemów tradycyjnych. W przekładni tej większa ilość elementów uczestniczy w przekazywaniu momentu obrotowego co zmniejsza ich jednostkowe obciążenie, jednocześnie ułatwiając zwiększenie gęstości mocy przekazywanej. Dodatkowo konstrukcja przekładni umożliwia uzyskanie prędkości wirnika nieosiągalnych dla wcześniejszych rozwiązań.



Podzadanie 4.2

Analiza rozwiązań konstrukcyjnych przekładni stosowanych w nowoczesnych konstrukcjach samolotowych

4. Program Variable/Multispeed Rotorcraft Drive System Concepts

UCZESTNICY: ARL (Army Research Laboratory), NASA Lewis Research Centre
OKRES REALIZACJI: 2000-2012

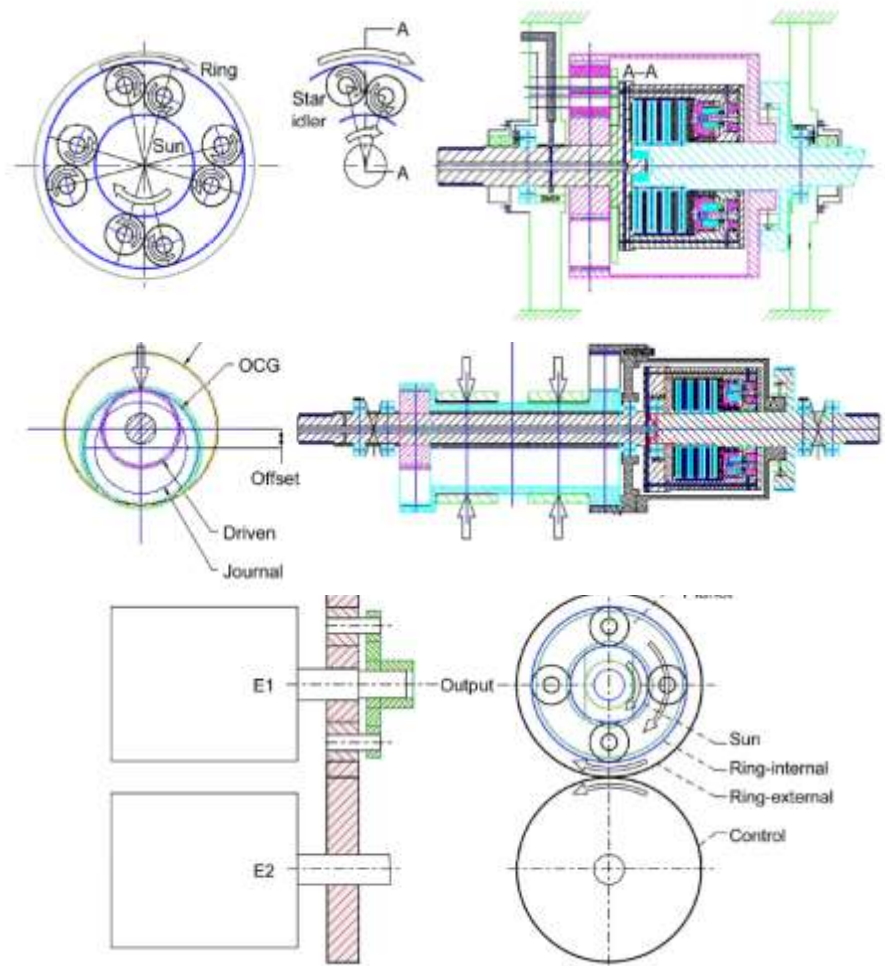
CELE:

1. Opracowanie przekładni o wysokiej niezawodności i sprawności
2. Możliwość stosowania w maszynach wszechstronnych, efektywnych, o wysokich mocach.
3. Opracowanie wirników o możliwości regulacji prędkości w dużym zakresie, bez spadku sprawności i z zachowaniem momentu dla uzyskania wysokiej prędkości działania oraz redukcji głośności.

Podzadanie 4.2

Analiza rozwiązań konstrukcyjnych przekładni stosowanych w nowoczesnych konstrukcjach samolotowych

5. Program Variable/Multispeed Rotorcraft Drive System Concepts OPRACOWANE KONSTRUKCJE



1. Przekładania dwubiegowa z podwójnym układem zwrotnym kół zębatych pośredniczących (Inline Two-Speed With Double Star/Idler Reversing Stage)
 2. Przekładnia z przesuniętym kołem zespolonym (Offset compound gear)
 3. Planetarna przekładnia różnicowa z kołem zębatym pierścieniowym o bezstopniowej regulacji (Planetary Differential With Variable Controlled Ring Gear)
- Przekładanie 1 i 2 zostały wyselekcjonowane spośród wielu rozwiązań ze względu na prostotę budowy i przewidywany wysoki poziom niezawodności w połączeniu z łatwością wytwarzania i późniejszej obsługi. Przekładania 3 została wybrana ze względu na prostotę konstrukcji i możliwość wykonania. Ponadto daje ona możliwość współpracy z wariatorem dwudrożnym.

Podzadanie 4.13

Analiza rozwiązań materiałowych stosowanych w konstrukcyjnych przekładni samolotowych

CHARAKTER PRACY I WYMAGANIA

W nowoczesnych systemach przenoszenia napędu współpracujących z silnikami turbinowymi wykorzystywanymi w przemyśle lotniczym, zarówno wojskowym jak i cywilnym do napędu śmigłowców i samolotów śmigłowych stosowane są materiały umożliwiające redukcję masy przy zapewnieniu wysokiej niezawodności konstrukcji. Koła zębate wykonane ze stopów żelaza powinny charakteryzować się wysoką odpornością na zużycie o charakterze zmęczeniowym, stabilnością struktury podczas pracy w podwyższonych temperaturach i odpornością warstwy wierzchniej na zużycie o charakterze pittingowym. Koła zębate nowoczesnych zespołów napędowych współczesnych samolotów pracują w skrajnie niekorzystnych warunkach przenosząc bardzo wysokie momenty obrotowe, pracując z prędkościami obrotowymi dochodzącymi do kilkudziesięciu tysięcy obrotów na minutę. Ponadto przewidywać należy sytuacje awaryjne jak brak środka smarnego.

Podzadanie 4.13

Analiza rozwiązań materiałowych stosowanych w konstrukcyjnych przekładni samolotowych

Steel	Composition, % mass							
	C	Mn	Si	Pmax	Smax	Ni	Cr	Mo
Carbon steels								
1010	0.08-0.13	0.30-0.60		0.035	0.045			
1019	0.15-0.20	0.70-1.00		0.035	0.035			
1524	0.19-	1.35-		0.035	0.035			
Alloy steels								
Cr-Mn								
5120	0.17-0.22	0.70-0.90	0.20-0.35	0.035	0.040		0.70-0.90	
Cr-Mn-Mo								
4118H	0.17-0.23	0.60-1.00	0.20-0.35	0.035	0.040		0.30-0.70	0.08-0.15
Cr Mn-Mo-Ni								
8620	0.18-0.23	0.70-0.90	0.20-0.35	0.035	0.040	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25
Cr-Ni								
3310	0.08-0.13	0.45-0.60	0.20-0.35	0.025	0.025	3.25-3.75	1.40-1.75	
Mo-Ni								
4620	0.17-0.22	0.45-0.60	0.20-0.35	0.035	0.040	1.65-2.00		0.20-0.30
4820	0.18-0.23	0.45-0.60	0.20-0.35	0.035	0.040	3.25-3.75		0.20-0.30
Cr-Mo-Ni								
4320	0.17-0.22	0.45-0.65	0.20-0.35	0.035	0.040	1.65-2.00	0.40-0.60	0.20-0.30
8910	0.08-0.13	0.45-0.60	0.20-0.35	0.025	0.025	3.00-3.50	1.00-1.40	0.08-0.15

W konstrukcjach stosuje się zarówno typowe stale do nawęglania (Tabela I) jak również stale specjalnie opracowane w ostatnich latach w celu sprostania wzrastającym wymaganiom wytrzymałościowym stawianym kołom zębatym oraz wymaganiom nowoczesnych technologii obróbkowych jak nawęglanie próżniowe.

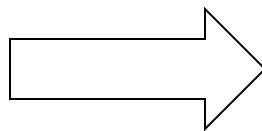
Podzadanie 4.13

Analiza rozwiązań materiałowych stosowanych w konstrukcyjnych przekładni samolotowych

STALE SPECJALNE

Material	Producent	Składnik stopowy, % masy							
		C	Mn	Cr	Ni	Mo	Si	V	inne
XD15NW	Aubert&Duvall	0,37	-	15,5	0,20	1,80	-	0,30	-
X13VDW	Aubert&Duvall	0,12	-	11,5	2,50	1,60	-	0,03	-
N360 IsoExtra	Bohler Uddeholm	0,33	0,50	15,0	0,40	1,00	-	-	-
N695	Bohler Uddeholm	1,05	0,20	17,0	-	0,50	0,50	-	-
R250	Bohler Uddeholm	0,83	0,70	4,00	-	4,30	0,20	1,10	-
R350	Bohler Uddeholm	0,14	0,30	4,25	3,50	4,30	0,18	-	-
CBS-600	Carpenter Technology	0,19	0,60	1,45	-	1,00	1,10	0,06	0,06% AL
Pyrowear 53	Carpenter Technology	0,10	0,35	1,00	2,00	3,25	1,00	0,10	2,0% Cu
Pyrowear 675	Carpenter Technology	0,07	0,65	13,0	2,60	1,80	0,40	0,60	-
LescalloyBG42VIM-VAR	The Timken Company	1,15	0,50	14,5	-	4,00	0,30	1,20	-
CSB-50NIL	The Timken Company	0,13	0,25	4,20	3,40	4,25	0,20	1,20	-
CSS-42L	The Timken Company	0,12	-	14,0	2,00	4,75	-	0,60	12,5% Co 0,02% Cb
Ferrium C61	Questek Innovation	0,15	-	3,50	9,50	1,10	-	0,09	18,0% Co

Głównymi składnikami stopowymi stali specjalnych jest chrom (11 – 18% masy) i molibden (0,5 – 4,5% masy) oraz w zależności od gatunku: nikiel (0,2 – 4% masy, ale również 6 – 13%), wanad (0,1 – 1,5% masy), a w niektórych kobalt (10 – 18% masy). W przypadku stali wysokostopowych głównym składnikiem stopowym jest molibden (3 – 5% masy) lub zamiennie wolfram, chrom (0,2 – 4,5%), nikiel (0,2 – 3,5%), wanad (0,1 – 1,5%). Kilka przykładów nowoczesnych gatunków stali przedstawiono w tab. I. Większość z nich ma niską zawartość węgla i wymagane własności użytkowe osiąga po zastosowaniu nawęglania i utwardzania lub ulepszenia cieplnego.



Nowoczesne wysokoobciążone przekładnie samolotowe wymagają stosowania materiałów o wysokich właściwościach wytrzymałościowych rdzenia z możliwością modyfikacji mikrostruktury ich powierzchni na drodze nowoczesnych procesów obróbki cieplno-chemicznej takich jak np. nawęglanie próżniowe z hartowaniem w gazach o podwyższonym ciśnieniu, zapewniające wysoką wydajność i ekonomiczność procesu przy jednocześnie osiągalnej wysokiej jakości warstw utwardzonych, powtarzalnych i w porównaniu do metod konwencjonalnych obniżonych odkształceniach hartowniczych i niskiej uciążliwości dla środowiska naturalnego.

Nowoczesnym typem stali o podwyższonych właściwościach użytkowych jest stop Ferrium C61. Jest to stop należący do nowej klasy martenzytycznych, wtórnie utwardzanych stali stosowanych na łożyska i elementy przekładni. Ferrium C61 jest doskonałą alternatywą dla typowych materiałów stosowanych w przekładniach, gdzie od części wymagana jest wytrzymałość rdzenia, ale nie ma możliwości ich przeprojektowania. Ferrium C61 został specjalnie opracowany dla zapewnienia wysokiej twardości nawęglanych powierzchni (60 – 62 HRC) i posiada dobre właściwości trybologiczne, ciągliwość i odporność zmęczeniową podobne do właściwości typowych stali wykorzystywanych w tych zastosowaniach, takich jak AISI 9310 i EN36C, ale ma dodatkowo bardzo wysoką wytrzymałość rdzenia. Stal Ferrium C61 została opracowana specjalnie do nawęglania w wysokich temperaturach.

Podzadanie 4.13

Analiza rozwiązań materiałowych stosowanych w konstrukcyjnych przekładni samolotowych

Jednakże niezależnie od zastosowanego materiału, sposobu modyfikacji jego powierzchni czy też konstrukcji przekładni, koniecznym jest określenie właściwości wytrzymałościowych materiału w warstwie utwardzonej o charakterze gradientowym. W tym celu wykorzystywane będzie nowoczesne oprogramowanie symulacyjne JMatPro umożliwiające precyzyjne określenie przebiegu zmian podstawowych właściwości na przekroju warstwy umocnionej w procesach nawęglania i azotowania kół zębatach przekładni.

JMatPro jest platformą, która umożliwia obliczanie szerokiej gamy właściwości materiałów i stopów, ukierunkowaną w szczególności na stopy wieloskładnikowe stosowane w praktyce przemysłowej.

Przy pomocy JMatPro można uzyskać dane dotyczące:

1. Równowagi fazowej w stopach
2. Procesów krystalizacji i topnienia
3. Właściwości mechanicznych stopów
4. Właściwości termo-fizycznych stopów
5. Przemian fazowych

JMatPro obejmuje interfejs użytkownika, z modułami kalkulacji w językach C / C + +, i jest obecnie dostępny dla systemów Windows i Linux 98/NT/2000/Vista.

Podzadanie 4.13

Analiza rozwiązań materiałowych stosowanych w konstrukcyjnych przekładni samolotowych

Przykład wykorzystania programu JMatPro oraz oprogramowania symulacyjnego procesów nawęglania próżniowego SimVacPlus®

MATERIAŁ: Stal stopowa AMS 6265

SKŁAD CHEMICZNY:

C – 0,07-0,13

Si – 0,15-0,35

Mn – 0,4-0,7

Cr – 1,00-1,40

Mo – 0,08-0,15

Ni – 3,0-3,5

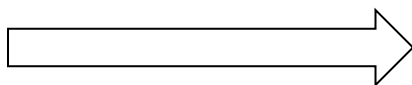
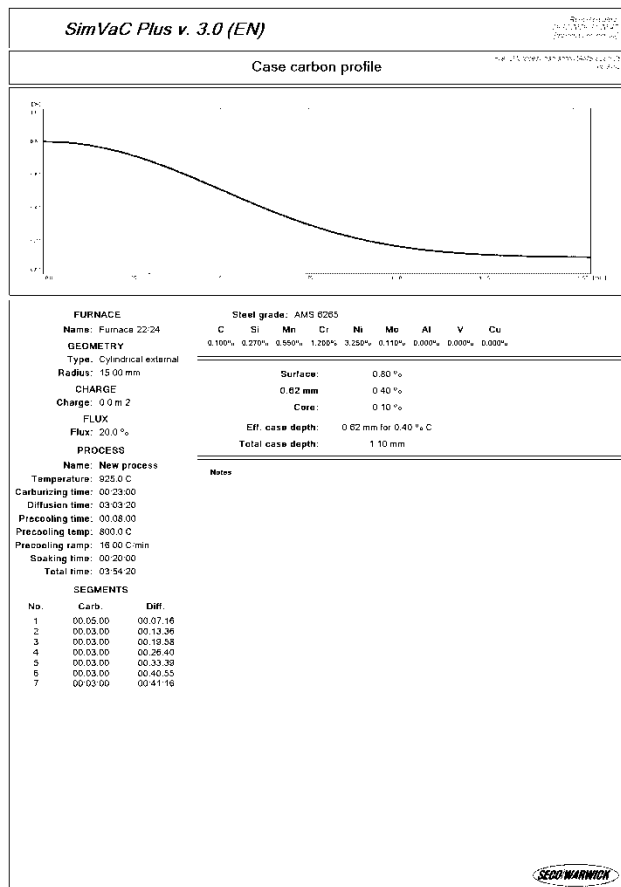
P+S – max. 0,03

Przeprowadzono symulację nawęglania stali w programie SimVacPlus® zakładając:

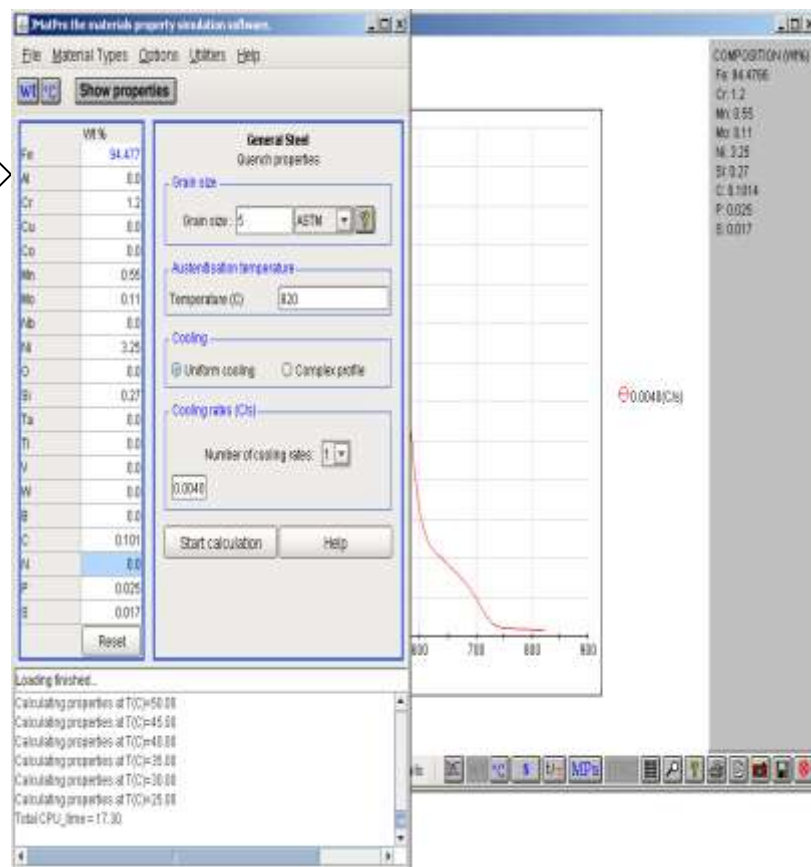
powierzchniowe stężenie węgla: 0,8%

grubość warstwy nawęglanej: 0,6mm (dla kryterium 0,4%C)

Przykład wykorzystania programu JMatPro oraz oprogramowania symulacyjnego procesów nawęglania próżniowego SimVacPlus®



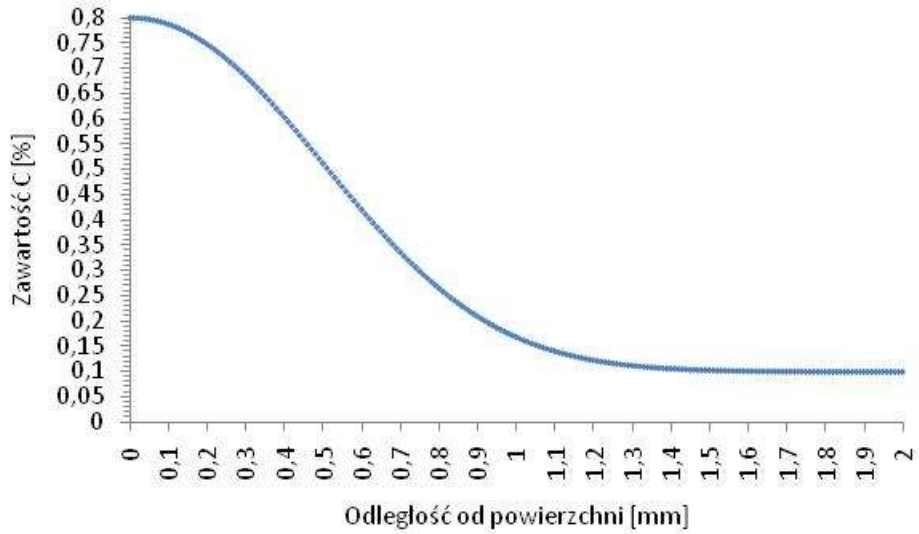
Dane dotyczące uzyskanego rozkładu stężenia węgla w warstwie wierzchniej materiału, po procesie nawęglania zostały zaimplementowane w programie JMatPro



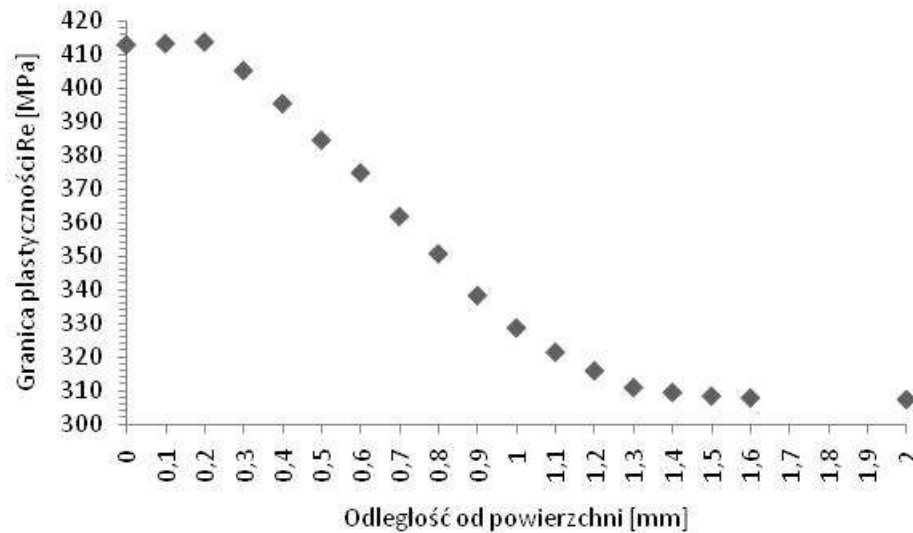
Raport z symulacji procesu nawęglania SimVacPlus®
%Cpow – 0,8%
Gw – 0,6mm
Całkowita Gw – 1,1mm

W programie JMatPro założono:
Uśredniony skład chemiczny
Temp. Austenitizacji: 1093K
Wielkość ziarna: 5 ASTM
Obliczenia Re – w temp. 298K

Przykład wykorzystania programu JMatPro oraz oprogramowania symulacyjnego procesów nawęglania próżniowego SimVacPlus®



Zamiana zawartości węgla w funkcji odległości od powierzchni
Podłoże AMS 6265, po nawęglaniu próżniowym



Zamiana Re w funkcji odległości od powierzchni
Podłoże AMS 6265, po nawęglaniu próżniowym

Przedstawienie głównych wniosków z dokonanych wizyt studyjnych w przedsiębiorstwach Doliny Lotniczej w kontekście uwzględnienia potrzeb przemysłu lotniczego dotyczących B+R

Oczekujemy dostarczenia dokładnych danych przekładni, koniecznych dla dalszej realizacji projektu – szczegółowego doboru materiałów i technologii dla konkretnego rozwiązania projektowego

Wykazanie rzeczywistych aktualnych wskaźników realizacji celów projektu w ramach danego ZB-

NA OBECNYM ETAPIE REALIZACJI PROJEKTU - NIE DOTYCZY

Przedstawienie stanu realizacji zakupów u Partnerów dla ZB
(wyposażenie laboratoryjne, materiały i surowce , usługi obce)

NA OBECNYM ETAPIE REALIZACJI PROJEKTU NIE WDROŻONO PROCEDUR PRZETARGOWYCH

Podsumowanie efektów realizacji za I i II półrocze 2009r.
- wskazanie rozbieżności w stosunku do Szczegółowego Planu Badań w kontekście wnioskowanego aneksu.

ZREALIZOWANO ZADANIA BADAWCZE 4.13 ORAZ 4.2 WEDŁUG HARMONOGRAMU