



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA
Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in
INGEGNERIA MECCANICA - INDIRIZZO VEICOLI TERRESTRI

Titolo della tesi

Progetto e analisi di ingranaggi spiroconici mediante codici di calcolo

Candidato

Alessio Artoni

Relatori

Prof. Ing. M. Guiggiani

Ing. F. Di Puccio

Ing. M. Gabiccini

Anno Accademico 2003-2004 – Appello di Laurea del 23 Luglio 2004

Alla mia famiglia

Ringraziamenti

Desidero esprimere i ringraziamenti più sentiti ai miei relatori per i loro preziosi consigli e per la disponibilità nei miei confronti.

Un ringraziamento particolare a Marco Gabiccini, che si è spesso fatto carico dei miei problemi e mi ha supportato in molte occasioni.

La mia gratitudine va anche a Sandeep Vijayakar (ANSol), all'Ing. Marco Facchini (Avio S.p.A.) e a Carlo Lanfredi e Franco De Vivo (Gleason Italy), per l'interesse mostrato e per il materiale messo a disposizione.

Infine, un ringraziamento sincero alla mia famiglia e alla mia ragazza, che mi hanno sostenuto e sopportato nel lungo tragitto verso questo traguardo.

Sommario

L'ampia diffusione delle ruote ipoidi e coniche a spirale (o spiroconiche) comporta la necessità di indirizzare la ricerca verso un miglioramento delle condizioni di ingranamento e una riduzione della rumorosità. Data la complessità della geometria delle dentature, l'analisi dell'ingranamento e delle sollecitazioni sotto carico è demandata a codici di calcolo numerici implementati su computer.

Questa tesi, dopo una rassegna dei principali metodi di taglio delle ruote spiroconiche e ipoidi ed uno studio geometrico del metodo Gleason Face-milling, propone un'analisi del software *Hypoid Face Milled* della società americana Advanced Numerical Solutions (*ANSol*), allo scopo di valutarne le potenzialità. Per la riproduzione della geometria e per la tooth contact analysis si è ricorsi al codice Hypoid Face Milling – sviluppato presso il DIMNP della Facoltà di Ingegneria –, mentre per la Loaded Tooth Contact Analysis e per l'analisi delle sollecitazioni si è creato un modello ad elementi finiti in ambiente Ansys. Sulla base dei risultati ottenuti si è condotta quindi un'analisi comparativa del software *Hypoid Face Milled*.

Indice

Sommario	i
Indice	ii
Elenco delle figure	iv
1 Introduzione	1
2 Nomenclatura e metodi di taglio delle ruote spiroconiche e ipoidi	4
2.1 Terminologia	4
2.1.1 Dati geometrici dello sbozzato pignone	4
2.1.2 Dati geometrici dello sbozzato corona	6
2.2 Metodo di taglio Gleason Face-milling	8
2.3 Metodi di taglio Oerlikon-Klingelberg	11
3 Geometria del metodo Gleason Face-milling	13
3.1 Generazione delle superfici del dente	14
3.1.1 Sistemi di riferimento impiegati nell'analisi	15
3.2 Movimenti macchina	16
3.2.1 Modified roll	16
3.2.2 Posizionamento della testa rotante sulla culla	17
3.2.3 Posizionamento dell'asse della culla rispetto allo sbozzato	18
3.3 Tipologie di utensili	19
3.3.1 Profilo straight blade	19
3.3.2 Profilo straight blade con toprem	23
3.3.3 Profilo straight blade con toprem particolare	28
3.3.4 Profilo curved blade con toprem	28
3.3.5 Profilo curved blade con toprem particolare	34
3.4 Famiglia di superfici generante	34
3.4.1 Modello generale di processo face-milling Gleason	34
3.5 Equation of meshing	37
3.6 Superfici del dente	40
3.7 Documenti speciali Gleason	40
3.7.1 Dimension Sheet	40

3.7.2	Special Analysis File (S.A.F.)	40
3.7.3	Summary	41
4	Rappresentazione geometrica e TCA	45
4.1	Rappresentazione della geometria del dente	45
4.2	Confronto con la geometria generata dal software Gleason	45
4.2.1	Lato concavo del dente corona	46
4.2.2	Lato convesso del dente corona	48
4.2.3	Lato concavo del dente pignone	50
4.2.4	Lato convesso del dente pignone	50
4.3	Confronto della TCA	53
4.3.1	Fondamenti teorici	53
4.3.2	Confronto sulla funzione errore di trasmissione	57
4.3.3	Confronto sul bearing contact	58
5	Analisi delle sollecitazioni e LTCA	60
5.1	Creazione di un modello comparativo ad elementi finiti in ambiente Ansys	60
5.1.1	Campionamento di punti sul modello teorico	60
5.1.2	Creazione della geometria: primo modello e modello finale	63
5.1.3	Meshatura	66
5.1.4	Vincoli e carichi applicati	69
5.1.5	Soluzione	71
5.2	Confronto dei risultati	71
6	Conclusioni	84
A	File batch per Ansys	86
B	Primi 47 Record dello <i>Special Analysis File</i>	98
	Bibliografia	107

Elenco delle figure

1.1	Diagramma di flusso dell'approccio tecnico seguito.	3
2.1	Parametri geometrici di un blank pignone e sua posizione rispetto al sistema di riferimento S_1	6
2.2	Parametri geometrici di un blank corona e sua posizione rispetto al sistema di riferimento S_2	7
2.3	Schema di generazione di una ruota spiroconica.	9
2.4	Macchina utensile Gleason per il taglio di ruote spiroconiche e ipoidi.	9
2.5	Ruota pianoconica immaginaria.	10
2.6	Creatore conico adottato da Klingelnberg.	11
2.7	Differenze fra il metodo Gleason Face-milling ed il metodo Oerlikon Face-hobbing.	12
3.1	Sistemi di riferimento applicati per il passaggio da S_p a S_{m1} . Illustrazione dei settaggi macchina e dell'installazione dell'utensile per la generazione di pignoni right-hand.	16
3.2	Sistemi di riferimento applicati per il passaggio da S_p a S_{m1} . Illustrazione dei settaggi macchina e dell'installazione dell'utensile per la generazione di pignoni left-hand.	17
3.3	Sistemi di riferimento applicati per il passaggio da S_{m1} a S_1 . Illustrazione dei settaggi macchina e dell'installazione dello sbozzato.	18
3.4	Profili <i>straight blade</i>	20
3.5	Profili <i>straight blade con toprem</i>	24
3.6	Profili <i>curved blade con toprem</i>	29
3.7	Esempio di <i>Dimension Sheet</i>	42
3.8	Primi 6 Record di uno <i>Special Analysis File</i>	43
3.9	Estratto di un <i>Summary</i> per rettifica.	44
4.1	Error norm sul fianco concavo del dente ruota – Max = 0.144152 μm	47
4.2	Normal error sul fianco concavo del dente ruota – Max = 0.10503 μm ; Min = -0.0254911 μm	48
4.3	Error norm sul fianco convesso del dente ruota – Max = 0.136268 μm	49
4.4	Normal error sul fianco convesso del dente ruota – Max = 0.0264164 μm ; Min = -0.09733339 μm	49

4.5	Error norm sul fianco concavo del dente pignone – Max = 2.29985 μm . . .	51
4.6	Normal error sul fianco concavo del dente pignone – Max = 0.0568047 μm ; Min = -1.70725 μm	51
4.7	Error norm sul fianco convesso del dente pignone – Max = 0.182485 μm . .	52
4.8	Normal error sul fianco convesso del dente pignone – Max = 0.122366 μm ; Min = -0.0545366 μm	52
4.9	Sistemi di riferimento applicati per la simulazione dell’ingranamento: (a) illustrazione della rotazione del pignone; (b) illustrazione dello spostamento ΔA_1 ; (c) illustrazione degli spostamenti ΔA_2 e ΔE e dell’errore angolare $\Delta \gamma$; (d) illustrazione della rotazione della ruota.	54
4.10	Errori di trasmissione del codice DIMNP (in rosso) e di <i>Hypoid Face Milled</i> (in nero).	58
4.11	Confronto fra i bearing contact sul dente ruota valutati dai due codici. . .	59
5.1	Modellazione del dente ruota con patch di Coons.	63
5.2	Tensioni secondo Von Mises nel modello con patch di Coons.	64
5.3	Curve B-splines ottenute con <i>Pro/Engineer</i>	65
5.4	Superfici ottenute con <i>Pro/Engineer</i>	65
5.5	Mesh del modello del pignone.	67
5.6	Mesh del modello della corona.	67
5.7	Contact pairs fra le superfici attive dei denti.	69
5.8	Modello vincolato e caricato.	70
5.9	Errori di trasmissione del codice DIMNP (in rosso) e di <i>Hypoid Face Milled</i> (in azzurro).	72
5.10	Errori di trasmissione del codice DIMNP e di <i>Hypoid Face Milled</i> (ordinate a fondo scala).	72
5.11	Risultato del comando PATTERN per il pignone.	73
5.12	Risultato del comando PATTERN per la corona.	73
5.13	Pignone: bearing contact e tensione principale S_1	77
5.14	Corona: bearing contact e tensione principale S_1	80
5.15	Contact pattern alla posizione 1.	82
5.16	σ_{VM} massime nei raccordi pignone (posizione 3).	83