

Produzione di ingranaggi in piccole-medie aziende

La produzione di ingranaggi in grande serie, tipica del settore automobilistico, ha come primo problema la riduzione dei tempi di lavorazione, con lo scopo della riduzione dei costi, naturalmente ferma restando la qualità finale del prodotto.

A questo scopo si ricercano le dentatrici più veloci, più moderne, con sofisticati sistemi automatici di caricamento e che possano sfruttare totalmente le potenzialità dei moderni creatori in Metallo Duro o in acciai superlegati e magari che possano lavorare a secco.

Si preferiscono, ancora nella maggioranza dei casi, le finiture con la rasatura più veloce della rettifica anche se la qualità dell'ingranaggio risulta, nel complesso, inferiore.

Si usano macchine dedicate per l'esecuzione della sbavatura e smussatura dei denti che permettono di eseguire queste operazioni in pochi secondi, qualsiasi sia il numero di denti dell'ingranaggio, anche se il costo della macchina a volte non è trascurabile.

Tutto questo trova la sua logica giustificazione nei grandi numeri, ma queste scelte non sono più valide quando si debbano eseguire piccolissime serie o perfino pezzi singoli.

In questi casi le problematiche sono del tutto diverse.

Un costruttore di ingranaggi con una produzione di questo ultimo tipo deve cimentarsi con una grandissima varietà di ingranaggi che si alternano in officina in un modo vorticoso, deve disporre di un immenso numero di utensili e di una quantità enorme di attrezzatura, quali: mandrini portapezzo, sistemi di bloccaggio, mole, utensili vari ecc.

Deve essere disposto ad usare anche cicli non convenzionali pur di ricavare in tempo la dentatura voluta, perché nella stragrande maggioranza dei casi sono richiesti tempi di consegna brevissimi.

Si tratta infatti, molto spesso, di pezzi singoli che devono sostituire ingranaggi rotti, oppure prototipi per verifiche funzionali urgenti.

In questi casi quindi, il vero e proprio tempo di taglio ha poca importanza, mentre è predominante l'influenza dei tempi di attrezzamento.

Un classico esempio di un'azienda con queste caratteristiche è la EUREN s.r.l (Bruino – Torino) ed è quindi interessante prenderla come riferimento per ampliare un po' le considerazioni di cui sopra.

Questa ditta è specializzata nella produzione di ingranaggi cilindrici e conici di alta qualità (anche per il settore aeronautico), di prototipi, di *innesti Curvic Coupling*, di *face gear* e di gruppi corona-vite senza fine.

Piccole e piccolissime serie quindi, con tutte le problematiche relative.

Esaminiamo ora brevemente le caratteristiche salienti di qualche operazione per produrre ingranaggi cilindrici e conici.

La dentatura di ingranaggi cilindrici

In primo luogo bisogna osservare che le macchine, siano esse dentatrici a creatore o stozzatrici a coltello, devono avere il massimo grado di flessibilità.

Non devono essere quindi macchine con caricamento automatico, in questo caso assolutamente inutile, anzi dannoso, ma devono consentire un rapido set-up delle attrezzature e dei parametri di lavorazione.

Sono quindi ideali le macchine a Controllo Numerico che permettono una rapidissima regolazione degli angoli di elica, degli interassi, delle lunghezze delle corse radiali ed assiali e dei parametri di taglio.

Naturalmente una macchina di questo tipo richiede personale tecnico specializzato che stabilisca a tavolino tutti questi elementi in base alle caratteristiche dell'ingranaggio da lavorare.

Inoltre non è necessario che la dentatrice sia in grado di lavorare a secco o che possa fornire grandissime prestazioni a livello di velocità di taglio e di avanzamenti, piuttosto

dovrà essere in grado di dentare ingranaggi con foro e poter ospitare alberi dentati della massima lunghezza, con la massima gamma di diametri possibili.

Le alte velocità di taglio ed i forti avanzamenti non sono necessari, come non è necessario usare creatori a più principi in quanto il tempo di taglio, come si è detto, è una porzione trascurabile del tempo totale di allestimento.

Se sono necessarie una o due ore per allestire la macchina e per cambiare i mandrini, gli utensili, le corse ecc., uno o due minuti in più o in meno nel tempo di taglio sono assolutamente insignificanti.

Una macchina a Controllo Numerico è inoltre utile se si devono dentare due ingranaggi diversi su uno stesso albero.

E' possibile allora montare sul mandrino porta creatore due diversi creatori e programmare il CN in modo che si autogestisca le regolazioni per i due ingranaggi che vengono così eseguiti in successione (vedere figura N°1).



Figura N°1 - Dentatura di due ingranaggi con un creatore doppio.

Le dentatrici a coltello, indispensabili per eseguire ingranaggi sottobattuta, hanno le stesse esigenze, ma in più devono poter eseguire sia ingranaggi esterni che dentature interne, ed ingranaggi alberati, con la massima estensione possibile di diametri e lunghezze.

Anche qui sarebbe preferibile, anzi quasi essenziale, una stozzatrice a Controllo Numerico, che abbia la guida elicoidale gestita dal CN, cioè che non necessiti delle guide elicoidali meccaniche che avrebbero un costo elevatissimo con tempi di attrezzamento molto alti.

Da notare inoltre che si possono trovare in queste officine, macchine che sono praticamente sparite in aziende di grandi dimensioni.

Per esempio le dentatrici a coltello lineare di tipo Maag, sono ancora molto utili per eseguire pochi pezzi grazie alla maggior flessibilità di questo utensile rispetto ai coltelli circolari.

E' quasi superfluo evidenziare le profonde differenze nella scelta delle macchine di questo tipo di produzione da una macchina destinata ad una produzione di grandi serie, dove è invece essenziale l'esecuzione della dentatura nel minor tempo possibile.

I creatori, come si è detto, possono tranquillamente essere ad un principio, ma anche le lunghezze possono essere ridotte al minimo.

Non è necessario infatti che la loro produttività totale sia elevata.

Una grande lunghezza del creatore servirebbe solo ad aumentare il suo costo, con la prospettiva di restare per lunghi anni, e forse per sempre, a magazzino, inutilizzato.

Così come non è necessario che sia costruito con acciai pregiati, come gli acciai superlegati, e tanto meno in metallo duro.

Anche la ricopertura con TiN può essere quasi sempre evitata, a meno che non si debbano dentare ingranaggi di un acciaio particolarmente resistente.

Il costo del creatore non è un elemento trascurabile. Se si pensa che nel caso si debbano eseguire pochissimi pezzi (da 1 a 10) e per far ciò si debba acquistare un creatore specifico, si capisce che l'incidenza del costo del creatore per ogni pezzo diventa molto grande.

In una azienda, come la già citata Euren, che vede passare nell'officina circa 300 ingranaggi diversi ogni mese, esiste uno sterminato magazzino di utensili, la cui gestione richiede un'attenzione non indifferente.

La ditta di cui sopra, per esempio, ha in stock circa 1500 creatori diversi, oltre 800 coltelli stozzatori, 800 rasatori e 250 brocche..

La ricerca dell'utensile adatto ad eseguire un determinato ingranaggio, non sempre ha esito positivo, ed allora si può optare per diverse soluzioni.

- *Dentare con utensili che producano profili approssimati (prevedendo di finire i pezzi con rettifica)*
- *Modificare utensili esistenti (in casa o all'esterno)*
- *Variare le impostazioni per ottenere i giusti profili con utensili aventi moduli ed angoli di pressione diversi.*
- *Scegliere di dentare con coltello anziché con creatore.*
- *Ricavare dal pieno la dentatura con una rettifica di forma.*

L'esecuzione di ingranaggi conici ed innesti curvic coupling

Qui il discorso non è lineare come negli ingranaggi cilindrici.

In genere vengono richieste grosse coppie di ingranaggi che devono essere dentate in breve tempo.

Tenere in magazzino un gran numero di frese e di lame in modo di coprire buona parte delle necessità, è un'impresa impossibile.

Allora è necessario attrezzarsi in modo da costruirsi gli utensili che servono ed inoltre essere in grado di progettarli e di definire quali utensili sono necessari per un determinato ingranaggio.

A volte il cliente fornisce tutte le specifiche (summary), altre volte dà all'azienda solo un campione o un disegno di massima ed in questi casi bisognerà in pratica ricalcolare tutti i parametri geometrici, gli utensili ed il summary di taglio in funzione del carico che si vuole trasmettere.

Poiché in genere si tratta di coppie coniche di grandi dimensioni (la ditta citata arriva fino a 920 mm di diametro), viene richiesta normalmente la certificazione di qualità, con i rilievi dimensionali e la specificazione dell'area di contatto.

Molte volte si devono ultimare coppie coniche *dopo* trattamento termico (HRC 51-55) per eliminare le deformazioni in questi casi è necessario usare frese con lame in "carbide" che vengono costruite all'interno.

Un'alta precisione però non si può ottenere solo con la finitura di utensile. E' per questo che, dove è necessario, si rettificano i denti con una rettificatrice Gleason che permette di ottenere una geometria accurata dei denti, una ottima rugosità superficiale e di evitare gli effetti malefici delle distorsioni di trattamento termico.

Praticamente tutti gli ingranaggi conici vengono forniti già accoppiati.

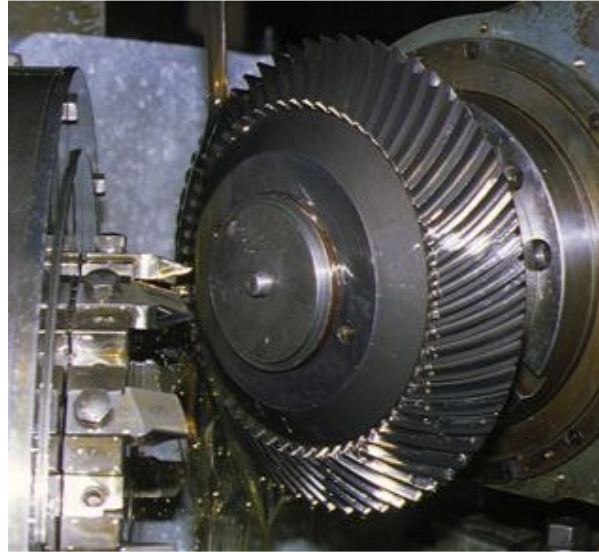


Figura N°2- Dentatura di una grande corona conica.

La finitura degli ingranaggi cilindrici

Anche la finitura degli ingranaggi cilindrici, eseguite in piccole serie ha caratteristiche ed esigenze del tutto diverse da quelle relative alle grandi produzioni.

Si è già accennato al fatto che nell'industria automobilistica il più delle volte si preferisce la rasatura, essendo un'operazione veloce e poco costosa, ma nel caso di esecuzione di pochi pezzi la situazione si capovolge.

L'incidenza del costo del rasatore sarebbe molto grande, senza contare che il rasatore va acquistato da ditte specializzate, essendo praticamente impossibile attrezzarsi per costruirseli autonomamente ed allora anche i tempi di approvvigionamento diventerebbero troppo lunghi.

La rettifica dei denti con il metodo di forma è quindi la soluzione ideale.

Questo metodo di rettifica è estremamente flessibile, perché può coprire una vastissima gamma di diametri (da qualche millimetro a circa 400 mm) e lunghezze di alberi fino a 1500 mm, se la macchina è appositamente attrezzata.

Gli angoli di elica possono andare da 0° a 90° quindi da ingranaggi a denti dritti a viti senza fine.

Le mole in ceramica inoltre hanno costi molto bassi e possono essere sagomate come si vuole, coprendo agevolmente tutta la gamma degli angoli di pressione.

Certo il tempo di lavorazione è più lungo in rettifica che in rasatura, ma ciò non significa gran che se consideriamo anche i tempi di attrezzamento ed i costi dell'utensileria.

In definitiva si ottengono risultati migliori anche perché vengono eliminate le distorsioni dovute al trattamento termico ed i costi finali del prodotto sono inferiori.

Insomma, la rettifica di forma è la macchina ideale per le aziende che producono piccole serie e prototipi, anche perché, molto facilmente, si possono eseguire modifiche di profilo e di elica, anche complesse, arrivando ad accoppiamenti particolarmente silenziosi.

Per tutte queste ragioni, anche quando il cliente prescrive a disegno la finitura con la rasatura accontentandosi di una classe di precisione DIN 5-6, gli ingranaggi vengono rettificati ottenendo normalmente classi di precisione DIN 4-5.

Naturalmente per non tutti gli ingranaggi è possibile questa scelta.

Esiste infatti una vasta gamma di ingranaggi sottobattuta, vicini cioè ad un rasamento o ad un altro ingranaggio, in genere cioè quelli che vengono dentati con un coltello stozzatore, nei casi cioè dove la mola "non passa", ebbene qui è giocoforza usare la rasatura.

I controlli

La necessità di una grande flessibilità dei mezzi esistenti in officina si estende anche ai mezzi di controllo.

L'apparecchio che più soddisfa le esigenze di "polifunzionalità" è certamente quello che può fare i controlli tridimensionali.

Con questo tipo di apparecchio si possono controllare i profili, le eliche, i passi ed eccentricità degli ingranaggi cilindrici e conici, corone e viti senza fine, certamente con tempi più lunghi rispetto agli evolventimetri specializzati, ma con il vantaggio che si possono controllare anche ingranaggi interni di piccole dimensioni e tutte le altre quote lineari, come ad esempio lunghezze, posizione di rasamenti, diametri, interassi dei fori della scatola cambio, ecc.

Questi apparecchi 3D in sostanza possono fornire oltre ai soliti diagrammi relativi alla dentatura, anche una certificazione di tutte le altre quote che non potrebbero essere controllate con apparecchi dedicati alla pura dentatura.

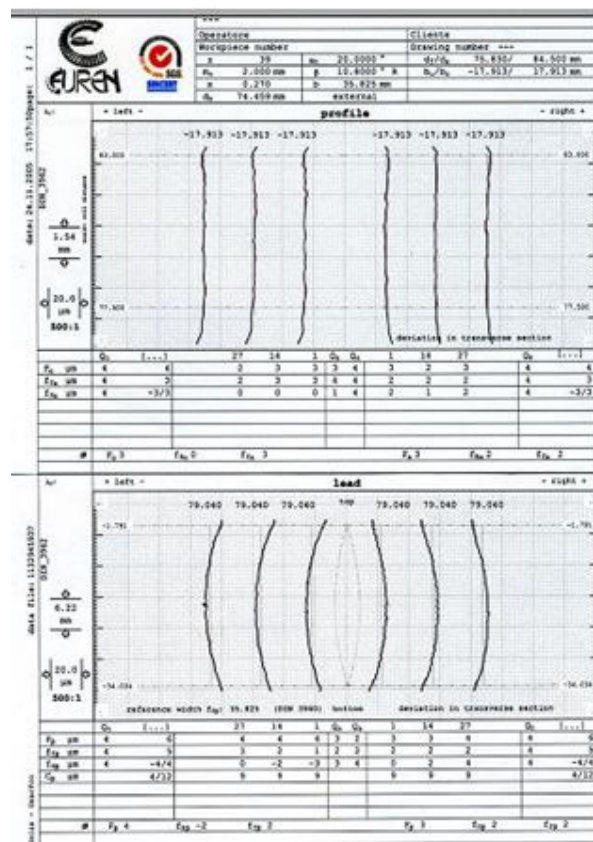


Figura N°3- Grafico del profilo e dell'elica di un ingranaggio satellite per uso aeronautico rettificato con rettificatura di forma. Si può notare che la qualità ottenuta è DIN 4 ed in alcuni parametri dell'elica anche DIN 2-3. Rilievi eseguiti con apparecchio 3D Zeiss UMM 550 a scansione continua.

Evidentemente non è possibile, per ragioni di praticità, fare a meno di apparecchi di controllo di elica ed evolvente, ma essi possono essere anche di tipo vecchio, essendo adibiti più che altro a controlli intermedi.

Per quanto riguarda i controlli intermedi, è da notare che le rettifiche di cui si è detto poco sopra, sono dotate di dispositivo di controllo in macchina, che può fornire i diagrammi attraverso un plotter, e che comunque fornisce tutte le informazioni per le correzioni immediate di elica e di profilo.

Gli apparecchi per il controllo dimensionale a controllo numerico, quando vengono usati per il controllo degli ingranaggi conici, possono essere anche collegati alla dentatrice o alla rettifica per correggere “*in process*” automaticamente eventuali errori di dentatura. Questa tecnologia, che richiede un software notevolmente elaborato, permette di ottenere coppie coniche di elevatissima qualità.

Ingranaggi per l'aeronautica

Questo tipo di produzione richiede una alta specializzazione, principalmente a causa delle normative che bisogna rispettare per ragioni di sicurezza del prodotto.

Ogni pezzo destinato ai mezzi aeronautici, siano essi elicotteri od aerei, deve corrispondere al 100% alle specifiche indicate sui disegni.



Figura N°4- Main Shaft di elicottero (*Flight Safety Part*) in fase di montaggio sulla dentatrice a creatore.

Quando si inizia una nuova lavorazione, sul primo pezzo fornito, viene richiesto il certificato F.A.I (First Article Inspection) su cui vengono riportati i rilievi di tutte le quote indicate sul disegno.

Quando si dice tutte, significa proprio tutte, incluse quelle che possono sembrare assolutamente insignificanti, come smussi o raggi di raccordo.

Si controllano rugosità, circolarità, perpendicolarità, eccentricità, ecc. e naturalmente niente deve uscire dalle tolleranze prescritte.

Questo certificato serve per poter dare il via alla produzione.

Poi, nella fase di produzione regolare (si tratta comunque sempre di pochi pezzi), alcune quote poco importanti vengono controllate a campione, mentre quelle che hanno tolleranze massime di 50 micron vengono sempre controllate al 100%

Anche alcuni pezzi, particolarmente importanti, vengono controllati al 100% e per ognuno viene fornita una certificazione di qualità.

In generale, gli ingranaggi cilindrici che vengono montati sui velivoli, hanno una classe di precisione DIN 4, con una rugosità superficiale, nella parte attiva del dente, di $Ra = 0,4$ micron.

Come esempio di un pezzo difficile da eseguire si può citare l'albero principale (Main Shaft) di un elicottero, soprattutto per le sue caratteristiche dimensionali.

Si tratta di un albero con una lunghezza di 2150 mm con due ingranaggi di 90 e 140 denti di cui il primo con una leggerissima elica (solo pochi primi di grado). La durezza del materiale è di 45 HRC e le fasce dentate sono di 170 – 190 mm.

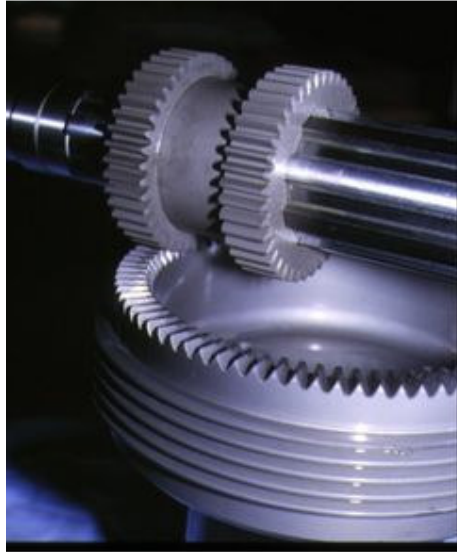


Figura N°5- *Accoppiamento di un doppio ingranaggio con un ingranaggio del tipo "Face Gear". Spostando assialmente il doppio ingranaggio si ha l'inversione del senso di rotazione del particolare condotto.*