

Il master per il controllo degli ingranaggi

Il master è uno speciale ingranaggio che viene accoppiato con l'ingranaggio da controllare per mettere in evidenza eventuali errori di costruzione o gravi imperfezioni che potrebbero compromettere le operazioni di finitura.

Il master viene utilizzato per controllare una vastissima gamma di ingranaggi, basti considerare che esistono anche master per micro dentature, con modulo di 0,1 mm.

Possono essere considerati master anche gli ingranaggi campione che vengono usati per l'azzeramento degli ingranometri o di altre apparecchiature. Questi ultimi tipi di master sono chiamati anche, specie in Oriente, "monitor gear".

Gli ingranometri a gioco zero sono apparecchi di controllo usati normalmente per mettere in evidenza tre errori sugli ingranaggi: l'errore di eccentricità, l'errore di interasse ed eventuali ammaccature presenti sui denti.

A differenza dei precedenti, gli ingranometri monofianco sono apparecchi più sofisticati in quanto permettono la determinazione degli errori su ogni singolo fianco dei denti dell'ingranaggio.

Il contatto tra master ed ingranaggio avviene con gioco, riproducendo in un certo qual modo le condizioni di accoppiamento che si hanno nella scatola cambio.

Si possono ancora distinguere gli ingranometri monofianco che operano senza carico da quelli in cui si applica un carico per simulare ancora di più le condizioni di impiego.

Questi ultimi ingranometri sono prevalentemente usati in laboratorio.

Ritornando all'ingranometro a gioco zero, che è quello comunemente usato nelle officine per il controllo di massa si può dire che il classico rilievo è rappresentato dal diagramma di ingranamento di figura N°1 che indica chiaramente gli errori di eccentricità, di interasse e la presenza di eventuali ammaccature.

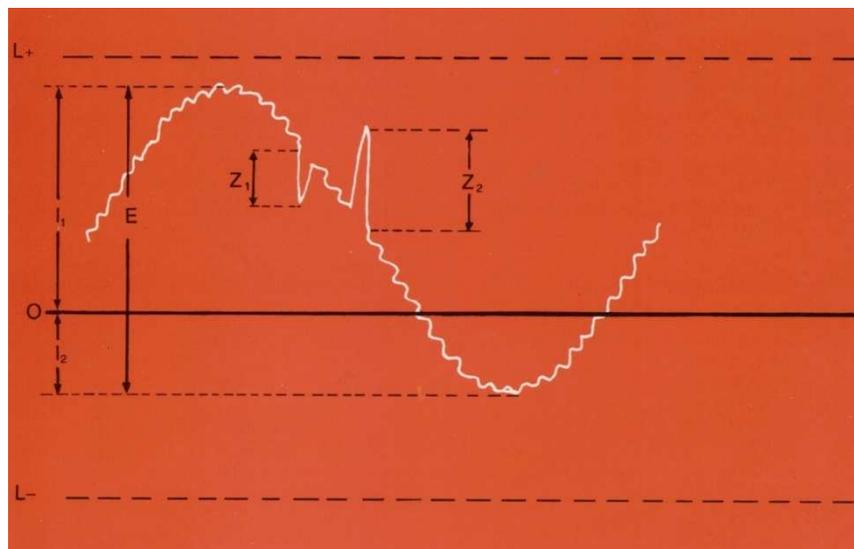


Figura N°1- Diagramma di ingranamento di un apparecchio monofianco

- E = Eccentricità
- $(1 - 2)$ = Scostamento dall'interasse teorico
- Z_1 e Z_2 = Ammaccature

Come sarà accennato tra poco, gli ingranometri più moderni di questo tipo possono mettere in evidenza altri errori oltre a quelli appena elencati.

Il controllo avviene analizzando le irregolarità di rotazione del master quando ingrana con l'ingranaggio; queste irregolarità, normalmente si manifestano come uno spostamento in senso radiale della slitta portamaster.

Gli spostamenti della slitta vengono rilevati da un sensore e inviati ad un'apparecchiatura elettronica che provvederà alla loro elaborazione.

Come si è detto però non è questo il solo caso in cui si impiega un master.

Il caso più semplice di controllo è quello che si attua dopo un'operazione di dentatura con creatore o con coltello stozzatore e prima di iniziare un'operazione di finitura o con rettifica o con rasatura.

In questo caso è estremamente importante che l'ingranaggio che deve essere finito non abbia gravi errori, come per esempio un dente incompleto o dei raggi di raccordo sul fondo dente troppo grandi, perché in questo caso potrebbe provocare la rottura dei denti del coltello rasatore o gravi danni alla mola di rettifica.

Questi grossi errori possono essere provocati, non molto raramente, da rotture dei denti del coltello stozzatore o da usure anomale sui denti del coltello o del creatore.

Il master per questo controllo, applicato in una semplice apparecchiatura all'entrata della macchina finitrice, non ha particolari esigenze di precisione, ma dovrà essere costruito in modo che durante la rotazione arrivi a toccare tutto il profilo dell'ingranaggio da ispezionare, fino all'inizio del profilo attivo a fondo dente.

Un altro caso di master che non richiede una grande precisione di costruzione è quello che viene usato per il set-up degli ingranometri. In questo caso per la verità si tratta di un vero ingranaggio campione, costruito con le stesse caratteristiche geometriche dell'ingranaggio da controllare. La sola avvertenza è quella di fare il possibile per avere le tolleranze di spessore del dente (o quota sui rulli) a metà tolleranza dell'ingranaggio da controllare, ma in ogni caso è importante sapere quanto è in realtà questo valore, per poter tarare correttamente l'apparecchio di controllo. Per il resto le tolleranze dovrebbero essere all'incirca come quelle dell'ingranaggio o un po' minori.

Il master vero e proprio, quello che si usa negli ingranometri è invece un ingranaggio molto preciso che si accoppia con l'ingranaggio da controllare. Purtroppo però, per quanto preciso sia, non sarà mai privo di errori.

Questi errori si sovrappongono a quelli dell'ingranaggio introducendo un margine di incertezza nella misura, incertezza che è tanto maggiore quanto meno è preciso il master.

Tralasciando gli errori di profilo e di elica che, nel master sono solitamente estremamente limitati e praticamente privi di influenza sulla misura degli errori di eccentricità e di interasse, bisogna soffermare l'attenzione su quello che succede nella sovrapposizione dell'errore di eccentricità del master con quello dell'ingranaggio.

La precisione degli ingranaggi e quindi anche dei master è definita dalla tabella DIN 3962 e gli errori dipendono dal modulo, dal diametro e dalla classe di precisione che si considera.

Nella tabella seguente sono riportati gli errori di eccentricità ammessi per le classi che possono interessare i master. Vi vede subito intanto che la classe DIN 2 ha degli errori che sono il 50% di quelli di classe DIN 4, ma come si è detto, con le moderne macchine rettificatrici non è molto difficile ottenere dei master di classe DIN 2.

Errori di eccentricità in micrometri secondo DIN 3962

Modulo mm	Diametro mm	Classe DIN 2	Classe DIN 3	Classe DIN 4
1 - 2	50 - 125	4	6	8
	125 - 280	5	7	9
2 - 3,55	50 - 125	5	7	10
	125 - 280	5,5	8	11
3,55 - 6	50 - 125	5,5	8	11
	125 - 280	6	9	12

Si può osservare che non sono errori del tutto trascurabili se confrontati con i corrispondenti errori sugli ingranaggi.

Se si pensa che se si deve controllare, per esempio, un ingranaggio di classe DIN 6, che ha un errore di eccentricità di 20 – 22 micrometri (per moduli da 2 a 3,55 mm), si vede che un master di classe DIN 4, con un errore di 10 micrometri, copre in pratica il 50% dell'errore che si deve controllare.

Gli errori di eccentricità del master e dell'ingranaggio seguono una legge sinusoidale, del tipo indicato in figura N°1, con ampiezza pari all'errore ammesso e con periodo che dipende dal numero di denti.

Se, come deve essere, il numero di denti dell'ingranaggio è diverso da quello del master, le due sinusoidi, di ampiezza e di periodo diverso si sommano o si sottraggono con una legge causale, rendendo molto incerto il risultato del controllo.

Fino a qualche anno fa il master standard era quello di classe DIN 4 e quello di classe DIN 3 era considerato un master di precisione.

Oggi le cose sono cambiate. I master vengono rettificati con rettifiche a controllo numerico, sia con il metodo per generazione che con il metodo di forma che garantiscono, per tutti i parametri, ma specialmente per la divisione, direttamente connessa all'eccentricità, delle precisioni molto alte.

Per questa ragione oggi il master standard è considerato quello di classe DIN 3, mentre quello di precisione è di classe DIN 2.

Oltre alla precisione della dentatura, cioè del profilo, dell'elica e della divisione, nel master è molto importante il parallelismo delle facciate e la loro perpendicolarità rispetto l'asse del master. Errori di questo tipo evidentemente indurrebbero delle irregolarità nella rotazione con conseguenti incertezze sulla precisione del controllo.

Ma anche con questo incremento della qualità dei master il problema, se pur un poco ridotto, permane.

Bisogna però subito precisare che una valida soluzione è già stata trovata grazie all'uso di un computer dedicato all'analisi dei rilievi.

Esistono infatti particolari softwares che permettono di separare gli errori di eccentricità imputabili al master da quelli relativi all'ingranaggio.

La prima condizione per rendere possibile ciò è che il numero di denti dell'ingranaggio non deve essere divisibile per quello del master, condizione facilmente ottenibile in sede di progetto del master. La seconda è che bisogna far ruotare l'ingranaggio per almeno due giri in regime di acquisizione dei dati, e quindi si ha un piccolo aumento del tempo di controllo.

Questo software è molto importante, perché nel caso vengano accoppiate nell'ingranometro, ruota e controruota, si possono discriminare gli errori di eccentricità dell'una e dell'altra.

E' evidente che questo particolare software ha permesso di fare un notevole salto di qualità nell'attendibilità dei controlli di eccentricità con gli ingranometri a gioco zero.

In assenza di uno di questi softwares, quando bisogna determinare l'affidabilità dell'apparecchio di controllo, cioè la sua ripetibilità, è necessario partire con il controllo avendo cura di posizionare master ed ingranaggio sempre nella stessa posizione. Ciò è facilmente fattibile segnando i denti di partenza.

E' di una certa importanza anche il fatto che il master abbia o no l'elica bombata. Normalmente gli ingranaggi hanno l'elica bombata e ciò è già sufficiente a garantire un contatto corretto anche con un master avente l'elica teorica ed infatti praticamente tutti i master sono costruiti con profilo ed elica teorici.

Potrebbe però nascere qualche inconveniente se l'ingranaggio da controllare non avesse la bombatura, in questo caso il contatto tra i denti potrebbe essere solo ad un'estremità del dente stesso con possibili sfalsamenti nella misura (figura N°2).

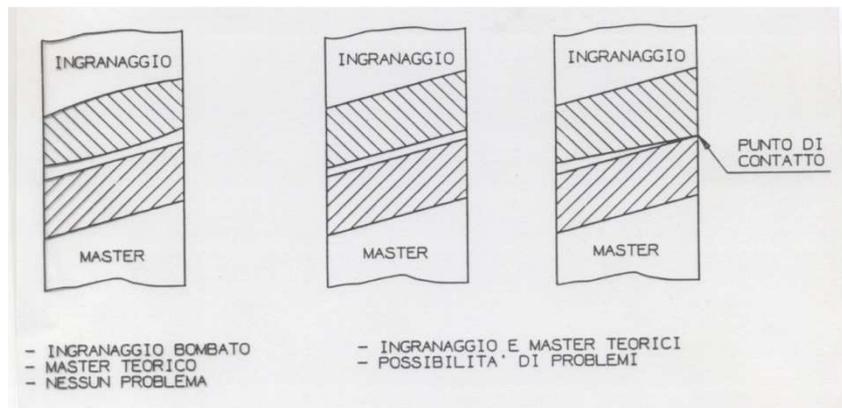


Figura N°2- Master con elica teorica o con elica bombata

Un'altra importante novità relativa agli ingranometri a gioco zero, introdotta molto recentemente, è costituita dalla possibilità di rilevare anche gli errori dell'inclinazione dell'elica e della eventuale conicità della dentatura.

Ciò è reso possibile dal fatto che il gruppo portamaster può inclinarsi nelle due direzioni indicate schematicamente in figura N°3.

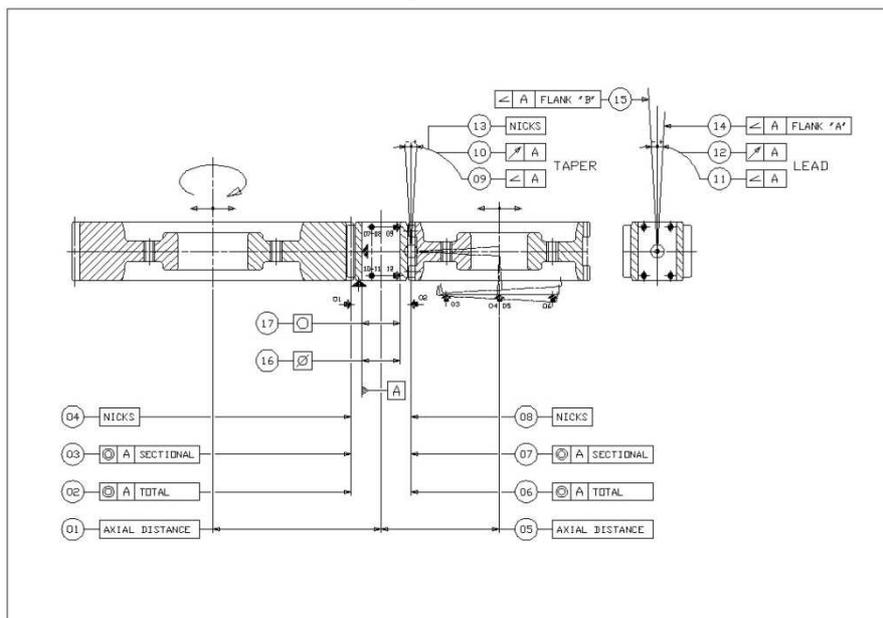


Figura N°3- Rappresentazione schematica della testina portamaster per controllo elica e conicità dei denti (master basculante)

Poiché il master è premuto contro l'ingranaggio, i suoi denti trovano alloggiamento nei vani dei denti dell'ingranaggio, cioè seguono la direzione dei denti dell'ingranaggio stesso.

Nello schema sinottico della figura N° 3 si può osservare che la rotazione è data da un ingranaggio apposito (sulla sinistra). Infatti non è possibile assegnare questa funzione all'ingranaggio da controllare in quanto si misurano anche i parametri del foro, e nemmeno il master può essere motorizzato in quanto deve essere poter muoversi liberamente nei due sensi indicati.

E' sufficiente misurare l'inclinazione del master in una direzione e nell'altra per sapere quanto la dentatura è conica o quanto l'elica si scosta da quella teorica.

E' anche possibile, analizzando i valori di conicità e di elica risalire all'errore di elica di ogni singolo fianco del dente dell'ingranaggio.

E' evidente che non si tratterà di un vero e proprio rilievo dell'elica, ma della determinazione della sua inclinazione media, ma comunque è un bel passo avanti nel controllo automatico degli ingranaggi.

In questo tipo di controllo è necessario usare un master modificato che venga in contatto con i fianchi dei denti dell'ingranaggio alle estremità degli stessi,

Deve essere quindi scaricato al centro.

Infatti se il master fosse teorico e l'ingranaggio bombato, il contatto avverrebbe al centro dei denti ed il master non avrebbe la possibilità di seguire l'andamento dell'elica.

Questo tipo di controllo ha superato recentemente con successo la fase di messa a punto e di sperimentazione ed è entrato nella fase di commercializzazione.

Ancora due parole sui master che attualmente vengono prodotti, per dire che oltre alla più alta precisione dei parametri della dentatura, essi hanno anche una durata decisamente superiore in quanto, già da alcuni anni, vengono ricoperti con TiN.

L'acciaio normalmente usato per la costruzione dei master è un superrapido della categoria M2, con una durezza di circa 62 – 64 HRC, questa caratteristica abbinata alla ricopertura conferisce, come è noto, una maggior resistenza all'usura e quindi una maggior costanza dimensionale.



Figura N°4 - Master per ingranaggio cilindrico elicoidale ricoperto con TiN

Oggi si possono avere dei casi di master che vengono sostituiti anche dopo un milione di pezzi controllati, specie se la pressione del master sul pezzo non è molto

elevata. A questo proposito i moderni ingranometri prevedono dispositivi per la regolazione della pressione in funzione delle caratteristiche del pezzo da controllare, per esempio la pressione potrebbe variare da 5 a 35 N.

Bisogna notare che minore è la pressione minore sarà l'usura dell'ingranaggio e maggiore sarà anche la sua sensibilità.

Il master usurato verrà poi nuovamente rettificato e ricoperto con TiN e potrà essere nuovamente usato avendo l'avvertenza di ricalibrare il valore dell'interasse rilevato.

Questa operazione di ripristino del master può, in teoria, essere ripetuta più volte.

Dopo l'affilatura il profilo del master non è più quello originale, cambia infatti il diametro del cerchio di rotolamento e quindi anche l'angolo di pressione di funzionamento.

Tutto ciò però non ha alcuna influenza sulla precisione del controllo, a parte che bisogna ritarare l'apparecchio per quanto riguarda l'interasse.