

I sistemi laser per la misura di posizionamento volumetrico e coordinamento dinamico

Ottimizzare i produttivi con misure rapide e

Specializzata nella costruzione di strumenti laser per la calibrazione delle macchine utensili, metrologia, OEM e per molte altre applicazioni industriali, Optodyne offre una gamma che comprende i sistemi laser per la misura volumetrica e la compensazione di errori di quadratura e di rettilineità e per misure senza contatto di coordinamento circolare e dinamica. Facili da installare e utilizzare, queste soluzioni misurano gli errori con precisione e velocità.

di Mariarosa Colonetti

In una competizione, in un mercato globale come quello attuale, richiede di migliorare le prestazioni delle macchine utensili per ottenere una maggiore produttività e una migliore qualità. Con l'ultima generazione dei controlli numerici è possibile conseguire una precisione elevata anche su macchine meno costose. Per ottenere questo è però importante misurare gli errori volumetrici del sistema e compensarli. La chiave di volta è come misurare questi errori in modo accurato e veloce. In generale, non è sufficiente calibrare la macchina per la precisione di posizionamento o per l'errore di passo sui tre assi.

Ci sono molti altri errori come la rettilineità delle guide, la perpendicolarità, l'effetto dello spostamento del baricentro e dei contrappesi i quali causano un errore di gran lunga superiore a quello causato dai tre errori di passo. La maggior parte dei moderni CNC offre la possibilità di ef-

fettuare la compensazione volumetrica che viene anche chiamata di cedimento o incrociata.

L'errore volumetrico può essere usato per generare il file di compensazione volumetrica che permette al CNC di compensare gli errori macchina e ottenere una precisione volumetrica più elevata.

Con la misura laser vettoriale possono essere determinati in poche ore tre errori di posizione, sei di rettilineità e tre di quadratura.

La tecnica di misura laser vettoriale per passi

Usando la tecnica di misura laser vettoriale (*patent pending*) possono essere determinati in poche ore anziché alcuni giorni - come con le tecniche convenzionali - tre errori di posizione, sei di rettilineità e tre di quadratura. Il punto fondamentale della tecnica di misura vettoriale è che la direzione della misura o del raggio laser non è parallela a quella del movimento. Ne risulta che l'errore misurato è sensibile sia alla componente parallela sia alle due componenti perpendicolari alla direzione di spostamento dell'asse lineare. Un metodo per l'utilizzo di questa tecnica è di eseguire la misura sequenziale per passi. Il raggio laser

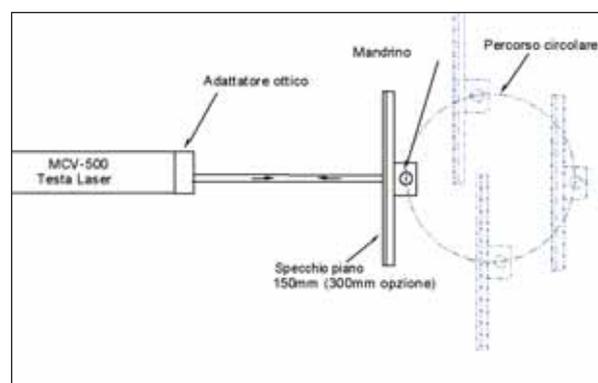


è puntato lungo la direzione diagonale; invece di muovere gli assi x, y e z in maniera continua nella direzione diagonale, la macchina è ora programmata per muovere l'asse x, fermarsi, acquisire il dato, muovere l'y, fermarsi, acquisire il dato e poi muovere l'asse z, fermarsi e acquisire il dato. Il processo continua fino a che non è stato raggiunto lo spigolo opposto; per questo è chiamato metodo di misura diagonale sequenziale per passi.

Misura di interpolazione circolare dinamica

Per macchine di elevata qualità e produttività, per lavorazioni ad alta velocità o costruzione di stampi, per ottenere un'ottima precisione e super-finitura, la misura della precisione statica non è sufficiente. Il profilo accettabile dipende dalla precisione volumetrica e dalla precisione di interpolazione dinamica, dal rateo di accelerazione e decelerazione della macchina e dall'algoritmo del servo-

controllo. Lo standard di verifica della precisione di contornatura è l'uso del test di circolarità. La misura di circolarità è un modo rapido ed efficiente per misurare la precisione d'interpolazione circolare. La misura di circolarità illustra come i due assi lavorano insieme per muovere la macchina lungo un percorso circolare. Quando la macchina muove i suoi assi lungo una traiettoria circolare, ogni asse vie-



Schema relativo a test di contornatura circolare.

migliorano le prestazioni delle macchine utensili.

processi precise



Optodyne ha realizzato un sistema laser per la misura volumetrica e la compensazione di errori di quadratura e rettilineità oltre che per misure senza contatto di coordinamento circolare e dinamica.

(Foto a destra). Optodyne progetta, costruisce e commercializza strumenti di precisione laser per calibrazione e compensazione di macchine utensili, metrologia, OEM, e un'ampia varietà di applicazioni industriali.

ne sollecitato con accelerazione, velocità e posizionamento di forma sinusoidale. Lo schema a sinistra mostra le deviazioni della macchina dal percorso circolare teorico. Dalla forma del grafico si può diagnosticare lo sbilanciamento dei servozionamenti, errori e picchi di inversione, errori di squadratura, errori ciclici, perdita di moto, vibrazioni ecc.

La misura di contornatura senza contatto

Attualmente, alle macchine utensili ad alta velocità sono generalmente richieste precisioni nell'ordine di alcuni micron, mentre sono effettuati movimenti a una velocità relativamente alta; è importante conoscere la massima velocità a cui si può ottenere la precisione richiesta. Per esempio per molti stampi sono richiesti raggi di curvatura inferiori a 50 mm e le velocità sono di alcuni metri per minuto, quindi è importante effettuare la prova di contornatura con piccoli raggi e ad alta velocità.

Molte delle ballbar telescopiche lavorano con raggi da 50 a 600 mm, da cui sorge l'impossibilità di eseguire i test di circolarità su diametri piccoli come richiesto in alcune appli-

cazioni. Inoltre, gli errori evidenziati dalla ballbar telescopica sono una combinazione di problemi dovuti alla geometria, al controllo e al servosistema. Questi errori sono in questo caso maggiori di quelli prodotti dal solo loop di controllo.

Usando la laser/ballbar (*patent pending*), può essere misurata la precisione di contornatura dinamica a vari raggi e ad alta velocità. In aggiunta possono essere determinati anche il raggio, la velocità e l'accelerazione. La laser/ballbar è progettata per una misura di contornatura circolare senza contatto (*patent pending*). I componenti necessari per questa prova sono: un sistema di calibrazione, un adattatore ottico, uno specchio piano con regolazione micrometrica, un'interfaccia e un PC portatile con Windows. Per piccoli raggi e alta velocità è necessario acquisire i dati a velocità elevata; con la speciale interfaccia miniaturizzata Pcmcia possono essere acquisiti diecimila dati al secondo. Il software per l'acquisizione e analisi gira sotto Windows

e con alcuni clic i dati possono essere acquisiti e processati automaticamente per ottenere il diagramma polare del percorso circolare.

Utilizzo della misura laser/ballbar

Per effettuare la misura si punta il laser perpendicolare allo specchio piano che è montato sul mandrino. Il mandrino viene fatto muovere lungo una traiettoria circolare, lo specchio piano rimane perpendicolare al raggio laser e viene misurato solo lo spostamento lungo la direzione del raggio anche se con un grande spostamento laterale. Poi si ripete la stessa misura puntando il raggio in una direzione a 90° rispetto alla misura precedente, con la stessa velocità di movimento e si misura ancora lo spostamento lungo la direzione del raggio. Assumendo che il movimento del mandrino sia ripetibile, i dati di queste due misure possono essere combinati per generare il grafico di errore circolare.

Confronto con una ballbar telescopica

La laser/ballbar è una misura a due dimensioni; per generare il grafico vengono misurati sia i dati di x sia di y. La ballbar telescopica è una misura a una dimensione; viene misu-

rata solo la variazione di raggio. Naturalmente la laser/ballbar fornisce più informazioni come ad esempio la velocità degli assi, la velocità tangenziale e l'accelerazione. È una misura senza contatto per cui non è necessaria la centratura e il raggio del percorso circolare può variare con continuità. Nella ballbar telescopica c'è un cavo tra il trasduttore (all'interno della ballbar) e il processore elettronico. Questo cavo attorcigliandosi rende le misure con giri multipli, molto complicate se non impossibili. Inoltre, siccome la lunghezza della barra telescopica è fissa, il raggio della misura è fissato ed è molto difficile effettuare misure con raggi piccoli.

La laser/ballbar usa un laser doppler per la misura dello spostamento, quindi la precisione della misura è molto alta, tipicamente un micron/metro ed è tracciabile allo standard NIST (National Institute of Standards and Technology). La ballbar telescopica usa un trasduttore ottico o elettromagnetico, per cui la precisione è inferiore e, necessita di calibrazioni periodiche; è anche sensibile ai cambiamenti di temperatura. Naturalmente, per la laser/ballbar sono ne-



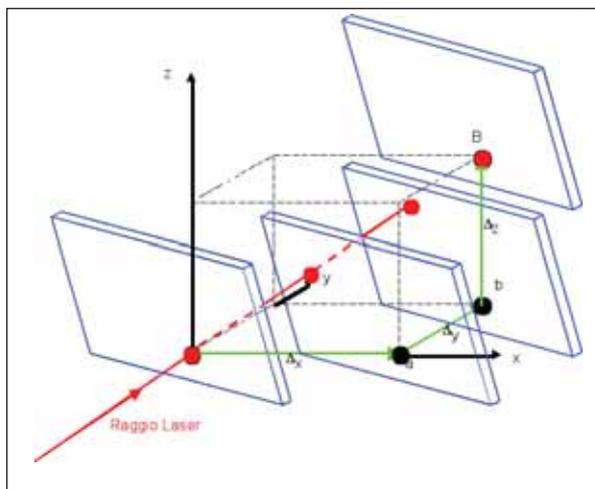
Prestazioni	Laser/ballbar	Ballbar telescopica
Sensore di misura	Laser Doppler Optodyne	Trasduttore
Metodo di misura	Misura la coordinata x e la coordinata y per determinare il grafico circolare. Fondamentalmente una misura a due dimensioni.	Misura la variazione del raggio di posizioni angolari lungo un percorso circolare. La posizione angolare non viene misurata. Misura a una sola dimensione.
Calibrazione del sensore	La precisione lineare è tracciabile al NIST	Il trasduttore necessita di calibrazioni periodiche
Campo del sensore	Fino a qualche metro	Fino a qualche millimetro
Misura senza contatto	Si	No
Raggio di misura	Continuamente variabile da 1 a 150 mm	Raggio fisso con passi di 50 mm
Misura della velocità	Si	No
Acquisizione dati	1.000 dati/s	250 dati/s
Massima velocità	fino a 240 m/min	Fino ad alcuni m/min

cessarie due serie di misure per generare il grafico mentre per la ballbar telescopica ne basta uno.

Inoltre, con la laser/ballbar possono essere misurate la velocità reale di avanzamento, il profilo delle curve di velocità e di accelerazione: questi dati sono importanti per la determinazione della dinamica di movimento e le prestazioni del servosistema.

Sistemi basati su laser a singolo raggio coassiale

Il controllo di qualità durante la produzione è riconosciuto come un punto importante e necessario per ridurre i costi, aumentare la produttività e migliorare la qualità dei prodotti. Per il miglioramento dei processi i sistemi laser si stanno sempre più diffondendo. In questo ambito, Optodyne progetta, costruisce e commercializza strumenti di precisione laser per calibrazione e compensazione di macchine utensili, metrologia, OEM e un'ampia varietà di applicazioni industriali. Questi sistemi possono essere utilizzati per collaudo, accettazione, calibrazione periodica, documentazione ISO 9000, prove rapide di verifica e diagnosi di problemi. La compensazione e la calibrazione volumetrica possono essere facilmente effettuate dall'operatore macchina con quattro semplici allineamenti in solo 2-4 h per un volume di lavoro di 1 m³. L'approccio convenzionale necessita, invece, di molto più tempo e personale altamente qualificato. Inoltre, i valori di errore di posizionamento volumetrico possono essere usati per generare le tre tavole di compensazione volumetrica per la misura diretta in macchina (*probing*). Per lavorazioni di precisione ad alta velocità, la misura diretta del restringimento



La maggior parte dei moderni CNC ha la possibilità di effettuare la compensazione volumetrica (che viene anche chiamata di cedimento o incrociata); l'errore volumetrico può essere usato per generare il file di compensazione che permette al CNC di compensare gli errori macchina e ottenere una precisione volumetrica più elevata.

del raggio e riduzione della velocità, può rimpiazzare i lunghi e costosi test di taglio su pezzi fisici, usati per verificare l'algoritmo di compensazione dinamica del CNC (*look haed*).

Misuratori laser di spostamento a effetto doppler

I prodotti Optodyne sono basati sulla tecnologia brevettata (di proprietà Optodyne), chiamata Laser Doppler Displacement Meter (LDDM) o Misuratore Laser di Spostamento a effetto Doppler. LDDM permette di produrre sistemi di misura di spostamento di altissima precisione a basso costo. La tecnologia accoppiata con il piccolo formato e il peso ridotto rende gli strumenti perfetti per molteplici applicazioni della misura di precisione dello spostamento.

Optodyne offre molti strumenti e sistemi laser per misure volumetriche, misure di errore di posizionamento lineare, di rettilineità, perpendicolarità, eccentricità di rotazione del mandrino, misure dinamiche e misure di vibrazione, parallelismo e allineamento guide, misure di angoli di beccheggio e imbarcata, assi e tavole rotanti.

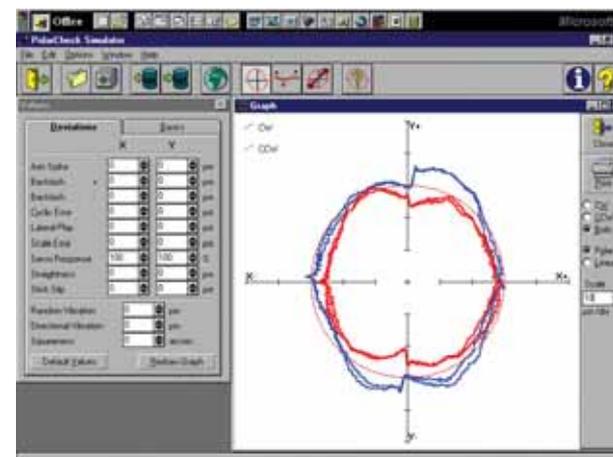
Sistema di calibrazione laser

L'ampia gamma Optodyne include MCV-500, un sistema compatto per la calibrazione e la compensazione di macchine utensili CNC, sistemi di misura lineari e a coordinate (CMM), tavole di posizionamento, robot pick and place ad alta velocità e altro. MCV-500 è stato progettato per una facile installazione e utilizzo. Comprende il software,

Confronto tra laser/ballbar e ballbar telescopica.

la compensazione automatica di temperatura e pressione e gli accessori d'uso. Il sistema è contenuto in una valigetta 24 ore.

Il software è su base Windows, può essere utilizzato in ogni computer portatile, è facile da usare ed è progettato per acquisire i dati automaticamente ed eseguire l'analisi in accordo con i principali standard come NMTBA, VDI, ISO



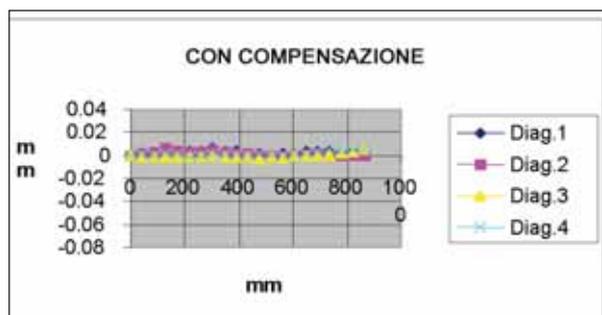
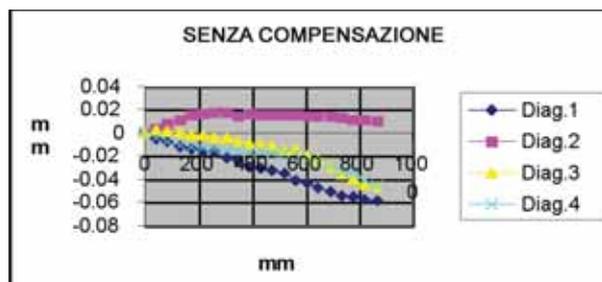
e ASME B5.54. Il sistema laser è calibrato e tracciabile al NIST. Compatto e leggero, MCV-500 è robusto e di lunga durata, facile da allineare e usare. Non necessita di treppiede e interferometro e include la generazione automatica dei file di compensazione e la compensazione automatica di temperatura e pressione.

Calibrazione volumetrica e compensazione

SD-500 è un pacchetto aggiuntivo al sistema di calibrazione laser MCV-500 per la misura delle componenti dell'errore volumetrico, che comprendono tre errori di posizione, sei di rettilineità e tre di quadratura. La combinazione è una via rapida ed efficiente per la misurazione della precisione volumetrica di tutto il volume di lavoro della macchina. Il software è in grado di generare file specifici per la compensazione, sei errori bidirezionali di posizione per generare le tabelle di compensazione volumetrica. Sono disponibili formati per la compensazione su Siemens 840 e 840D, Fanuc 15, 16/18, 21, Fidia, Selca e molti altri.

Optodyne offre molti strumenti e sistemi laser per misure di eccentricità di rotazione del mandrino.

Confronto fra i risultati di misurazione diagonale sequenziale per passi, prima e dopo la compensazione.



Interpolazione circolare senza contatto

LB-500 laser/ballbar è un pacchetto aggiuntivo al sistema MCV-500 per la misura di contornatura circolare allo scopo di verificare la taratura dei servosistemi, per prove dinamiche di macchine utensili CNC e di misura CMM e altre soluzioni di precisione.

Il laser/ballbar è un metodo rapido ed efficiente per misurare la precisione di interpolazione lungo un percorso circolare. La prova mostra come gli assi si muovono insie-

Con la laser/ballbar possono essere misurate la velocità reale di avanzamento, il profilo delle curve di velocità e di accelerazione.

me su di un percorso circolare. Le deviazioni dal percorso circolare perfetto sono causate da errore di inversione, sbilanciamento degli azionamenti, errori delle righe, geometria della macchina, errori periodici, attrito al distacco ecc. Le prestazioni della macchina sono rappresentate da un diagramma polare e i problemi sono automaticamente evidenziati con il programma Polarcheck.

Dotato di caratteristiche uniche come velocità, risoluzione e distanza, LB-500 permette di determinare gli errori di dinamica ad alta velocità. La misura è a due dimensioni, per cui possono essere misurati il raggio vero, la velocità e l'accelerazione.

Misure di rettilineità e perpendicolarità

SQ-500 è un pacchetto aggiuntivo del sistema di calibrazione per la misura di rettilineità e perpendicolarità. L'opzione comprende un quad-detector e una squadra ottica. Il quad-detector è un sensore di posizione di precisione, e la squa-

dra ottica è un pentaprisma di precisione che devia il raggio laser di 90°. Il laser produce un raggio di luce rossa di elevata intensità che è una linea retta di grande precisione nel vuoto. Nell'atmosfera, la rettilineità del raggio laser può cambiare per effetto del gradiente termico e delle correnti d'aria. In condizioni tipiche di interno la stabilità del raggio laser è nell'ordine di alcuni $\mu\text{m}/\text{m}$. Un'integrazione del segnale per tempi relativamente lunghi può ridurre gli effetti della turbolenza e delle correnti d'aria. SQ-500, compatto e leggero, è facile da installare e allineare. ■