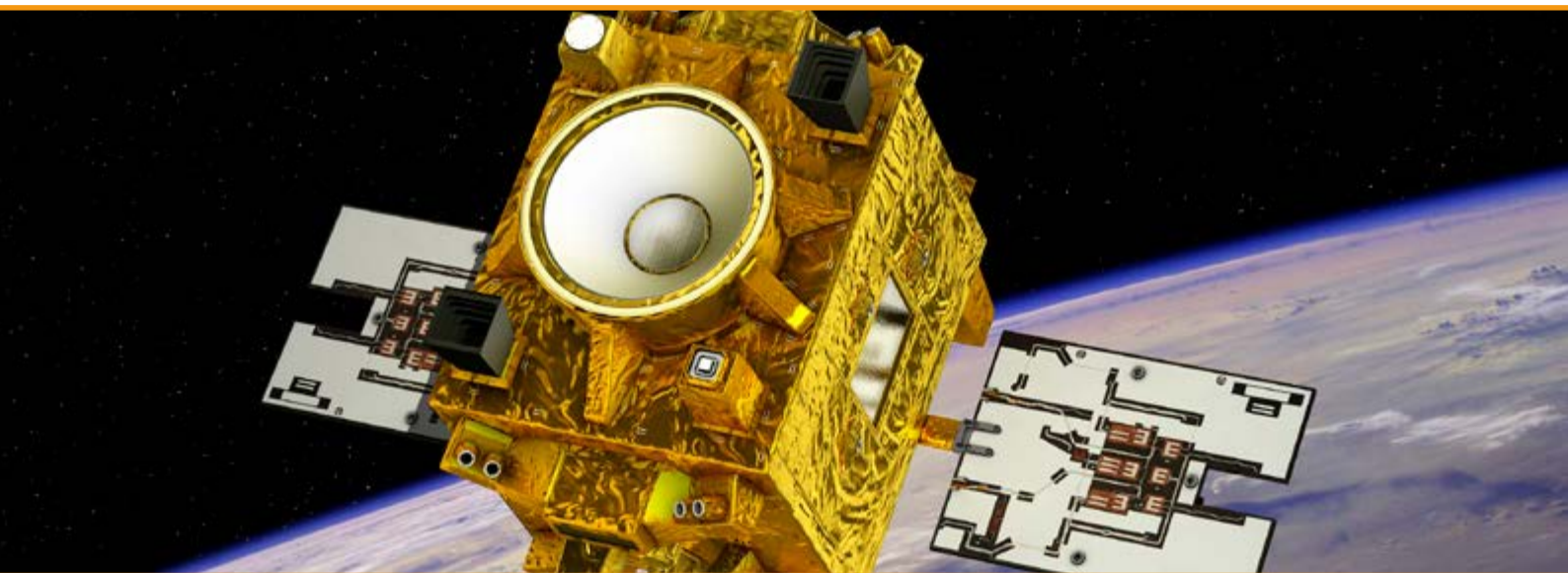


Le sonde industriali contribuiscono alla ricerca spaziale



Cliente:

Istituto Nazionale di Metrologia della Germania (PTB)

Settore industriale:

Ricerca e analisi scientifica

La sfida:

Produrre masse cilindriche di prova per la missione spaziale internazionale MICROSCOPE, con un'accuratezza di 2 o 3 μm .

Soluzione:

Misure in-process ripetibili e accurate con la sonda ad alta precisione OMP400 di Renishaw.

A seguito di nuovi sviluppi teorici riguardanti le particelle infinitesimali presenti sul pianeta, alcuni fisici stanno mettendo in discussione il principio di equivalenza della massa inerziale e gravitazionale. Per esaminare tali idee, gli specialisti di produzione dell'Istituto Nazionale di Metrologia della Germania (PTB), con sede a Braunschweig, hanno sviluppato alcuni cilindri da utilizzare per i test. Queste ultime sono in grado di raggiungere un'accuratezza di 2 o 3 μm per tutte le caratteristiche geometriche. Si tratta di un importante traguardo ingegneristico, reso possibile grazie ad una soluzione di misura composta da un tornio di alta precisione Benzinger e da una sonda OMP400 Renishaw.

Al giorno d'oggi, gli ingegneri ritengono che produrre componenti con un'accuratezza di 2 o 3 μm sia una prospettiva realistica. Tuttavia, il dott. Daniel Hagedorn, Lead e Project Manager PTB del gruppo di lavoro "Surface Metrology", è consapevole che la tecnologia attuale pone alcuni limiti: "Le macchine disponibili al momento consentono di realizzare precisioni di posizionamento di 2 o 3 μm in una o due direzioni senza alcuna difficoltà. Per le nostre masse di prova avevamo però bisogno di ottenere questo alto livello

di precisione in tutte e tre le dimensioni, non solo sulle singole posizioni, ma anche su piani, superfici cilindriche ed angoli".

PTB ha ricevuto una commessa di dieci cilindri da utilizzare per il MICROSCOPE (Micro-Satellite à traînée Compensée pour l'Observation du Principe d'Equivalence), un minisatellite di 300 kg operato dal CNES, agenzia spaziale francese. Insieme ad altri partner, fra cui la European Space Agency, MICROSCOPE intende collaudare l'universalità del principio di equivalenza. Ogni pezzo ha una lunghezza di circa 80 mm. I cilindri più grandi hanno un diametro esterno di 70 mm, mentre i più piccoli arrivano ad appena 35 mm.

Al confermare delle nostre previsioni, siamo riusciti a ottenere un'accuratezza di $\pm 1 \mu\text{m}$ per tutte le caratteristiche. Un tale livello di precisione potrebbe avere un impatto decisivo sulla capacità degli scienziati di rivedere e correggere alcune leggi della fisica attualmente date per scontate. L'accuratezza e l'affidabilità della sonda OMP400 di Renishaw hanno rappresentato un fattore chiave per il successo.

Istituto Nazionale di Metrologia della Germania (Germania)

I cilindri, realizzati in leghe di platino-rodio (PtRh10) e di titanio-alluminio-vanadio (TiAl4V6), vengono posti in modo concentrico all'interno di un accelerometro differenziale per i test.



I membri del team (da sinistra a destra): Stephan Metschke, Daniel Hagedorn e Heinz-Peter Heyne nel reparto di progettazione scientifica del PTB di Braunschweig, insieme a Shahram Essam, Area Sales Manager di Renishaw

Questa configurazione garantisce che il momento di inerzia di entrambi i cilindri si trovi sullo stesso asse. I cilindri in PtRh10 vengono utilizzati come riferimento. Gli altri, prodotti con materiali diversi, vengono sottoposti a misure di accelerazione per verificare se il principio di equivalenza delle masse gravitazionali e inerziali rimane valido anche con un'accuratezza di misura di 10-15 μm .

Interamente prodotti in un unico processo continuo

Fabbricare le masse di prova rispettando il livello di accuratezza richiesto è stata una grande sfida. Prima di poter dare il via alla produzione, gli ingegneri hanno dovuto ottimizzare gli utensili per renderli all'altezza del compito. In particolare, i componenti in lega di platino-rodio risultavano soggetti a rotture se lavorati con utensili convenzionali e diventavano quindi inutilizzabili. Si è dunque ricorso a una soluzione con utensili con punte in diamante eroso che permettevano di lavorare le superfici con un'accuratezza inferiore a 0,2 μm .

Ad ogni modo, Heinz-Peter Heyne e Stephan Metschke del team di progettazione di strumenti scientifici si resero rapidamente conto che il livello di precisione richiesto era ottenibile solo se l'intero processo di lavorazione veniva completato in un'unica fase, senza mai rimuovere né riposizionare i pezzi lavorati. Per questo motivo, decisero di lavorare i cilindri cavi con un tornio ad alta precisione TNI Preciline di Benzinger. Anche le singole dimensioni venivano misurate in macchina fra le varie fasi di lavorazione, in modo tale da evitare la rimozione e il riposizionamento dei pezzi.

Nonostante il sistema di fissaggio estremamente preciso e l'attenzione prestata dal team, le ripetizioni del processo evidenziavano deviazioni fino a 0,01 mm.

Per completare l'intero processo con il livello di accuratezza necessario, gli specialisti del PTB dovevano integrare un sistema di misura ad alta precisione direttamente nel processo di lavorazione. L'obiettivo principale era quello di eliminare incertezze e inaccuranze derivanti dalla condivisione del punto iniziale nelle fasi di lavorazione e misura. Per raggiungere questo risultato, il dott. Hagedorn ha testato una serie di soluzioni industriali di misurazione offerte da molteplici produttori.

La sua attenzione era rivolta principalmente alla comparazione e alla valutazione dell'accuratezza e alla ripetibilità dei risultati di misura nell'area operativa dei torni. "Siamo arrivati alla conclusione che l'unico sistema in grado di soddisfare gli standard che cercavamo era una sonda ad elevata precisione, come la OMP400 di Renishaw", ha spiegato in sintesi Hagedorn.

La sonda OMP400 consente accuratezze di 1 μm in seguito alla procedura di verifica

La sonda OMP400 sfrutta un sistema di misura basato su tecnologia estensimetrica. Reagisce a forze di contatto anche minime, non subisce effetti negativi dovuti al riposizionamento e riduce al minimo l'isteresi, fenomeno comune nelle applicazioni di misura. In questo modo, ottenere accuratezze inferiori di 5 μm diventa facile.

Una speciale misurazione di routine previene inaccurately derivanti da contatti troppo rapidi fra la sonda e la superficie.

Se il software rileva un'interferenza causata dalla vibrazione della sonda, il contatto viene arrestato oppure il valore di misura non viene registrato. Heinz-Peter Heyne era consapevole che un risultato di misura attendibile si può soltanto ottenere se l'approccio alle posizioni di misura viene effettuato alla velocità adeguata. Combinando questa tecnologia con poche altre misure, Heyne è riuscito a mantenere la ripetibilità della sonda entro 1 µm.

La sonda trasmette i dati di misura attraverso un ricevitore ottico posto nell'area operativa del tornio e non richiede fili per il suo corretto funzionamento. Il sistema di controllo CNC riceve queste informazioni tramite un'interfaccia e le utilizza per controllare e regolare il processo di misura in corso. Inoltre, il team di PTB ha sviluppato una speciale soluzione software che consente il trasferimento dei valori misurati a un server, a scopo di valutazione e documentazione.

Gli specialisti di PTB hanno applicato un articolato processo di verifica per determinare la qualità dei risultati della sonda OMP400 e del tornio ad alta precisione. Dopo aver eseguito la lavorazione di diversi profili, i risultati sono stati misurati, prima in macchina e successivamente con una CMM. Anche i pezzi calibrati di riferimento sono stati misurati, prima in macchina, utilizzando la sonda, e poi con una CMM esterna. Il team ha quindi confrontato tutti i risultati di misura per ottenere una serie di dati di compensazione che sono stati utilizzati

per aggiornare il sistema di controllo CNC del tornio ad alta precisione, durante le misure con la sonda OMP400 posta nell'area operativa, e per la lavorazione dei profili.

Come dimostrato, confrontando le misure di diversi componenti con quelle ricavate dalla CMM, è possibile ottenere un'accuratezza di misura entro 1 µm una volta che la sonda viene calibrata in questo modo e i dati di compensazione sono applicati ai processi di misura del tornio durante la sequenza di lavorazione (misure in loco ed in-process).

Per misurare rotondità e diametro, la sonda ha registrato dati su più di trenta punti circolari. La cilindricità è stata misurata con uno schema simile, basato su cinque misure circolari eseguite su tutta la lunghezza del cilindro. Riuscire a misurare le sei sezioni sferiche presenti sulla superficie anteriore del cilindro si è rivelato un compito particolarmente complesso. Tali sezioni servono come punti di supporto quando il cilindro viene posizionato nell'accelerometro differenziale e hanno un diametro massimo di appena 1,2 mm. Per misurare tali punti, Heinz-Peter Heyne ha dovuto sviluppare uno speciale stilo in silicio-ceramica di appena 0,3 mm.

Design iterativo in fasi multiple per ottenere un'accuratezza di ±1 µm

Dopo aver prodotto svariati pezzi a scopo di test e confronti, Heinz-Peter Heyne ha prodotto i pezzi da usare per i test finali utilizzando leghe Pt-Rh e TiAl4V6 e un processo iterativo.



La sonda OMP400 utilizza una speciale misurazione di routine per la circolarità e le cilindricità delle superfici interne ed esterne delle masse di prova.

Ha lavorato il diametro esterno del pezzo con un tornio ad alta precisione, sovradimensionandolo di circa 0,01 mm con un processo in più fasi.

Dopo che la sonda OMP400 ha effettuato e registrato le misure, Heyne ha lavorato il componente, portandolo alle dimensioni finali. Il dott. Hagedorn ha tenuto a sottolineare che questo metodo ha fornito ottimi risultati già al primo tentativo. "A conferma delle nostre previsioni, siamo riusciti a ottenere un'accuratezza di $\pm 1 \mu\text{m}$ per tutte le caratteristiche.

L'accuratezza e l'affidabilità della sonda OMP400 di Renishaw hanno rappresentato un fattore chiave per il successo. Considerato che la sola quantità di platino-rodio richiesta per la lavorazione costa decine di migliaia di euro, non possiamo che essere soddisfatti del risultato", ha concluso.

Principio di equivalenza

Già nel 1636, Galileo Galilei aveva affermato che le masse inerziali e gravitazionali sono sempre uguali. Questo principio rappresenta la base di quasi tutti i concetti di fisica che consideriamo validi ancora oggi, inclusa la teoria della relatività di Einstein.

Il principio afferma che una massa risponde sempre allo stesso modo, indipendentemente dalla presenza di forze gravitazionali o di accelerazione. Detto in parole più semplici: Se posti nel vuoto (per eliminare l'attrito dell'aria), un pezzo di piombo e una piuma impiegheranno lo stesso arco di tempo per toccare il suolo.

Tuttavia, alcune ricerche recenti sulle particelle infinitesimali presenti sul nostro pianeta sembrano indicare che il principio di equivalenza non è valido, se le misure vengono effettuate con elevata accuratezza (inferiore a 10-12 μm). La missione spaziale MICROSCOPE dell'Unione Europea intende fornire una risposta a questi dubbi. Due masse con le stesse identiche dimensioni, ma di materiali con densità diverse, verranno portate nello spazio e inserite in un ambiente in vuoto, a gravità zero e privo di influenze "terrestri". Le risposte delle masse verranno misurate con accelerometri ad alta precisione. La PTB di Braunschweig ha prodotto le masse cilindriche da utilizzare per l'esperimento.

Grazie all'elevato livello di precisione ottenuto durante la lavorazione (da 1 a 2 μm per le dimensioni, uniformità, co-cilindricità, parallelismo e angolarità di tutte le superfici adiacenti del cilindro), è stato possibile determinare le dimensioni delle masse con un'accuratezza fino a 10-15 μm . Ciò ha consentito ai fisici del laboratorio spaziale di misurare le risposte dei vari cilindri alla forza di accelerazione con un livello di accuratezza eccezionale. Se gli scienziati dovessero rilevare differenze nelle risposte, questo esperimento potrebbe innescare una rivoluzione epocale nel campo della fisica dei solidi.



I cilindri di misura per la missione spaziale MICROSCOPE sono stati lavorati con un'accuratezza di $1 \mu\text{m}$.

Per ulteriori informazioni, visita il sito www.renishaw.it/ptb

Renishaw S.p.A.
Via dei Prati 5,
10044 Pianezza
Torino, Italia

T +39 011 966 10 52
F +39 011 966 40 83
E italy@renishaw.com
www.renishaw.it

Per sapere dove trovarci nel mondo clicca qui: www.renishaw.it/contattateci

RENISHAW HA COMPIUTO OGNI RAGIONEVOLE SFORZO PER GARANTIRE CHE IL CONTENUTO DEL PRESENTE DOCUMENTO SIA CORRETTO ALLA DATA DI PUBBLICAZIONE, MA NON RILASCI ALCUNA GARANZIA CIRCA IL CONTENUTO NE LO CONSIDERA VINCOLANTE. RENISHAW DECLINA OGNI RESPONSABILITÀ, DI QUALSIVOGLIA NATURA, PER QUALSIASI INESATTEZZA PRESENTE NEL DOCUMENTO.

© 2018 Renishaw plc. Tutti i diritti riservati.

Renishaw si riserva il diritto di apportare modifiche alle specifiche senza preavviso.

RENISHAW e il simbolo della sonda utilizzato nel logo RENISHAW sono marchi registrati di Renishaw plc nel Regno Unito e in altri paesi. apply innovation, nomi e definizioni di altri prodotti e tecnologie Renishaw sono marchi registrati di Renishaw plc o delle sue filiali.

Tutti gli altri nomi dei marchi e dei prodotti utilizzati in questo documento sono marchi commerciali o marchi registrati dei rispettivi proprietari.



H - 5650 - 9019 - 01

Codice: H-5650-9019-01-A
Pubblicato: 12.2018