



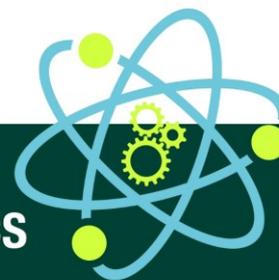
UNIVERSITÀ
DI TRENTO
Dipartimento di
Fisica



CONFINDUSTRIA TRENTO



FIEC
ELETTRONICA



IPSP2022
INDUSTRIAL PROBLEM SOLVING WITH PHYSICS
Trento, Italy - 18-23 July, 2022

RIASSUNTO DI PROBLEMI E SOLUZIONI DI IPSP2022

DANFOSS DRIVES

DESCRIZIONE AZIENDA

In qualità di azienda privata, Danfoss è cresciuta da una singola impresa a leader mondiale con oltre 40.000 dipendenti dedicati in tutto il mondo, 95 siti produttivi in più di 20 paesi e vendite mondiali in più di 100 paesi.

L'unità di ricerca e sviluppo e lo stabilimento di Merano stanno sviluppando e producendo il portafoglio di servoazionamenti VLT® FlexMotion™. Per i costruttori di macchine nei settori alimentare e delle bevande, imballaggio, logistica e movimentazione dei materiali, tessile e legno, che desiderano progettare macchine per le loro esigenze diverse e impegnative, VLT® FlexMotion™ è un portafoglio di servoazionamenti multiuso che consente di configurare liberamente e ridimensionare la topologia. Il prodotto offre la massima libertà nella progettazione della macchina e un funzionamento affidabile della macchina in ambienti difficili combinati con un'architettura di sistemi aperti.

DESCRIZIONE PROBLEMA

Gli azionamenti per applicazioni industriali devono funzionare per lunghi periodi di tempo in modo affidabile. Per questo motivo, in alcune applicazioni i servomotori sono sigillati per proteggere i componenti elettrici da contaminanti esterni che potrebbero essere presenti. A causa dell'attrito, le tenute possono influenzare la risposta meccanica del motore, limitando eventualmente le massime prestazioni di controllo a cui il servomotore può funzionare. Questo effetto potrebbe essere corretto automaticamente se il momento di inerzia del motore potesse essere stimato in modo affidabile, tenendo conto del termine di attrito non lineare. È importante sottolineare che il termine di attrito dipende in modo non lineare dalla velocità angolare a cui opera l'azionamento e dalla temperatura del sistema.

Il problema consiste nella caratterizzazione del momento di inerzia di un servomotore con e senza tenuta. La soluzione deve consentire all'azienda di misurare o stimare automaticamente il momento di inerzia in un ambiente di produzione.

DESCRIZIONE SOLUZIONE

Il team IPSP ha implementato tre approcci complementari per affrontare il problema. Il primo è consistito nell'individuazione e validazione di un protocollo sperimentale in grado di misurare il momento d'inerzia. Il secondo consisteva nel trattamento analitico e il terzo nell'approccio di inferenza numerica.



UNIVERSITÀ
DI TRENTO
Dipartimento di
Fisica



CONFINDUSTRIA TRENTO



FIELD
MECCATRONICA



IPSP2022 INDUSTRIAL PROBLEM SOLVING WITH PHYSICS Trento, Italy - 18-23 July, 2022

L'approccio sperimentale si è basato su un servomotore e un banco di prova forniti da Danfoss Drives. Il setup comprendeva un pc di controllo con software proprietario che permetteva il pieno controllo del motore, e un set di dischi di cui si conosceva il momento di inerzia. In breve, il team ha potuto impostare la velocità angolare target per l'azionamento, il tempo per raggiungere questa velocità e il tempo durante il quale la velocità angolare target doveva essere mantenuta. La corrente di ingresso al motore è stata regolata da un controller proporzionale-integrale-derivativo (PID) in un anello di retroazione, per corrispondere a una velocità target o a un'accelerazione target dell'azionamento.

Utilizzando il fatto che la coppia è proporzionale alla corrente di ingresso meno il termine di attrito sconosciuto, il team è stato in grado di ideare un protocollo per rimuovere il contributo del termine di attrito dalla stima del momento di inerzia controllando l'accelerazione e assumendo che il termine di attrito rimane costante durante brevi rampe di accelerazione. Le misurazioni effettuate per diversi valori dell'accelerazione, compresi tra 1000 e 10000 rpm/s, e temperature comprese tra 20° e 40° C, hanno mostrato che l'ipotesi è valida e che era effettivamente possibile misurare il momento di inerzia, indipendentemente dal termine di attrito causato dalla sigillatura. È importante sottolineare che l'approccio implementato richiede solo poche misurazioni di 5 secondi ciascuna, può essere completamente automatizzato e, in linea di principio, può essere implementato durante la calibrazione dei servoazionamenti in situ o anche in produzione.

L'approccio analitico era basato su un modello standard per il termine di attrito negli oggetti rotanti, in cui l'attrito dipende linearmente dalla velocità angolare. A velocità costante, questo approccio prevede una dipendenza lineare della velocità dalla corrente di ingresso. Tuttavia, i dati raccolti dal team hanno mostrato una chiara relazione non lineare tra la velocità angolare e la corrente.

Infine, i risultati sperimentali e analitici sono stati integrati da un approccio numerico in cui i parametri di un modello dinamico sono stati dedotti in modo che la previsione del modello corrispondesse ai dati sperimentali. Questo approccio suggerisce che il termine di attrito scala con la radice quadrata della velocità angolare.

In conclusione, il team ha risolto con successo il problema sviluppando un protocollo che può essere facilmente automatizzato per fornire misurazioni online del momento di inerzia e quindi dell'attrito, consentendo la calibrazione dei servoazionamenti. Inoltre, gli approcci analitico e numerico potrebbero essere ulteriormente migliorati per ottenere funzioni empiriche per il termine di attrito.



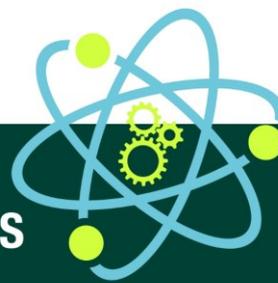
UNIVERSITÀ
DI TRENTO
Dipartimento di
Fisica



CONFINDUSTRIA TRENTO



FIEL
ELETTRONICA



IPSP2022 INDUSTRIAL PROBLEM SOLVING WITH PHYSICS Trento, Italy - 18-23 July, 2022

LEMUR ITALY

DESCRIZIONE AZIENDA

LeMur Italy S.r.l., sita ad Ala (TN), è un'azienda affermata nel territorio che da 20 anni svolge un'attività di spirallatura e interlacciatura di filati elastici per maglieria e tessitura, riconosciuta a livello nazionale ed internazionale.

In affiancamento al sistema produttivo tradizionale nell'anno 2008 l'azienda ha dato inizio ad un progetto altamente innovativo, con l'istituzione di un proprio reparto interno di Ricerca e Sviluppo.

Lo studio e il lavoro del personale di questo reparto hanno portato alla progettazione e realizzazione di una nuova tecnologia di produzione brevettata a livello mondiale, già confermata in Italia, Europa, Cina, Giappone, Australia e USA. Questa tecnologia ha messo LeMur in grado, come prima e unica azienda al mondo, di filare il silicone creando un prodotto rivoluzionario per quella che è la concezione comune dei filati elastici. Grazie alle proprietà peculiari e uniche del silicone questo filo offre non solo delle caratteristiche alternative ai filati comuni, ma anche una grande varietà di possibilità aggiuntive. Modificando la composizione del materiale è infatti possibile migliorare e valorizzare una proprietà rispetto ad un'altra. Le applicazioni del filato silicónico escono quindi dal solo campo tessile per aprirsi a quelli medico, automobilistico, sensoristico, della gestione della luce, dell'abbigliamento tecnico e protettivo, alimentare e molto altro ancora.

DESCRIZIONE PROBLEMA

Ogni nuovo prodotto sviluppato rappresenta una finestra su potenziali nuovi mercati e aree di ricerca. Tali potenzialità sono certamente presenti nel prodotto recentemente messo a punto da LeMur e denominato Muriel MF: si tratta di un filato altamente elastico con proprietà ferromagnetiche. E' in grado cioè di essere attratto da una calamita, come ad esempio il ferro, ma presenta una densità notevolmente inferiore e l'elasticità di un filo di gomma. Oltre a ciò, è in grado di resistere a temperature elevate (più di 250°C), possiede una buona resistenza alla fiamma (brucia molto lentamente e produce solo una cenere non tossica) e ottime proprietà meccaniche (fino ad un 800% in allungamento e 6MPa di sforzo a rottura).

Muriel MF è un prodotto su cui l'azienda punta molto perché potrebbe trovare applicazione in vari settori del mondo tessile con notevoli potenzialità di sviluppo: dalle chiusure magnetiche per tessuti, in sostituzione del velcro, alla sensoristica integrata nei cosiddetti smart textiles o per tessuti da utilizzare in ambito aerospaziale.

Per espandere ulteriormente le applicazioni del filato e mettere alla luce le reali potenzialità di Muriel MF è necessario uno step ulteriore nello sviluppo del prodotto: trasformare il materiale da semplice ferrimagnete "passivo" ad un magnete permanente ovvero renderlo del tutto simile ad una calamita.

L'azienda ha pertanto proposto di approfondire il problema della magnetizzazione permanente della miscela che compone il filato attraverso lo studio di vari aspetti sia sperimentali che teorici: studio dell'isteresi magnetica del materiale, capire come la magnetizzazione permanente dipende dalle caratteristiche finali del filato, trovare i parametri che influenzano in maggior modo la magnetizzazione residua e definire un modello teorico capace di descrivere e prevedere le caratteristiche magnetiche del prodotto.



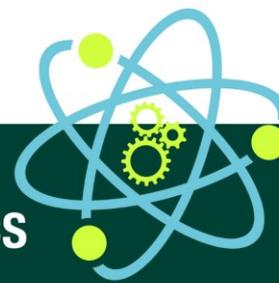
UNIVERSITÀ
DI TRENTO
Dipartimento di
Fisica



CONFINDUSTRIA TRENTO



FIEL
ELETTRONICA



IPSP2022 INDUSTRIAL PROBLEM SOLVING WITH PHYSICS Trento, Italy - 18-23 July, 2022

Abilitare e controllare la magnetizzazione permanente del dispositivo aprirebbe la strada ad applicazioni che spaziano dall'abbigliamento tradizionale a quello di ultima generazione dotato delle cosiddette wearable technologies, dai tessuti equipaggiati di sensori elastici per applicazioni tecniche fino ai più innovativi prodotti del settore aerospaziale.

DESCRIZIONE SOLUZIONE

La squadra ha inizialmente attaccato il problema tramite lo studio dello stato dell'arte. Questo ha permesso di identificare e conoscere i materiali comunemente utilizzati come magneti permanenti per avere un termine di paragone delle prestazioni attese. Inoltre, tale studio ha evidenziato i modelli fisici più utilizzati ed efficaci per la descrizione dei sistemi ferromagnetici.

Successivamente, la squadra si è concentrata nello studio del modello teorico scelto di Jiles-Atherton che permette di descrivere il ciclo di isteresi magnetica di un materiale. La descrizione del materiale di interesse avviene estraendo i parametri richiesti dal modello tramite lo studio di una curva di isteresi magnetica sperimentale.

La misura della curva di isteresi è stata effettuata mettendo a punto un setup basato su un elettromagnete a solenoide capace di generare un campo variabile fino a circa 1.5T fra le espansioni unite a sensori di campo magnetico ad effetto Hall distribuiti in modo da poter misurare in diversi punti il campo attorno al campione sotto esame. Tutta la strumentazione è stata controllata da remoto tramite un software sviluppato dai cervelli durante l'evento in modo tale da poter avere misure rapide ed accurate.

L'azienda ci ha proposto lo studio di tre materiali: Magnetite, Stronzio-ferrite e Grafite ricoperta di Nickel. Per poter studiarne al meglio le proprietà magnetiche, la squadra ha richiesto dei nuovi campioni all'azienda con forma cilindrica (4-5 cm), e di diverso spessore e diverso rapporto silicone/materiale per cercare di aumentare la densità del materiale da inserire nelle espansioni e facilitarne la manipolazione. Una prima analisi sperimentale ha evidenziato come miglior candidato, ovvero quello con la magnetizzazione residua maggiore, la stronzio-ferrite. La squadra si è quindi concentrata su tale materiale misurando diverse curve di isteresi a diversi valori di campo magnetico applicato. L'elaborazione dei dati raccolti ha permesso l'estrazione dei parametri da inserire nel modello Jiles-Atherton.

La possibilità di poter modellizzare il comportamento di geometrie arbitrarie basate su tale materiale è stata ottenuta tramite lo sviluppo di un modello all'interno del software COMSOL multiphysics. Basandosi sull'approccio a elementi finiti, permette di generare e studiare forme geometriche complesse grazie alla conoscenza della fisica del materiale inserita tramite il modello di Jiles-Atherton.

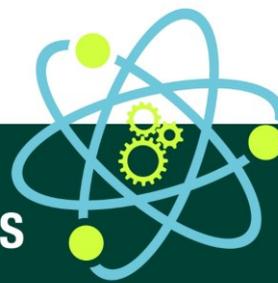
In definitiva i cervelli sono riusciti a produrre sia un modello teorico che una analisi sperimentale portando a termine la caratterizzazione completa del silicone/stronzio-ferrite rivelatosi il materiale con le migliori proprietà ferrimagnetiche. L'analisi numerica basata su COMSOL e sul modello di Jiles-Atherton permetterà all'azienda di studiare il comportamento di forme geometriche arbitrarie tra cui filati con diverse topologie di intreccio.



UNIVERSITÀ
DI TRENTO
Dipartimento di
Fisica



CONFINDUSTRIA TRENTO



IPSP2022 INDUSTRIAL PROBLEM SOLVING WITH PHYSICS Trento, Italy - 18-23 July, 2022

NOVURANIA

DESCRIZIONE AZIENDA

Novurania S.p.A., con sede a Tione di Trento, è un'azienda leader nel settore dei Tessuti Gommati, composta da 90 dipendenti. L'azienda offre un'ampia gamma di prodotti, che vanno dai tessuti gommati per articoli gonfiabili, trasporti di massa, membrane, soffiotti pieghevoli al trasferimento di immagini, abbigliamento protettivo e tender per yacht di lusso. I tessuti gommati - che possono essere forniti vulcanizzati o crudi - possono essere realizzati con due metodi: spalmatura (gomma disciolta in solvente) o calandratura (laminazione di gomma in fase solida). Il cuore dell'azienda è una capacità di produzione interna completa, che comprende compounding, dissoluzione in solvente, rivestimento spalmato e immersione, processo di calandratura e vulcanizzazione. Oggi Novurania è diventata un'impresa affermata nel suo settore, che ha investito oltre il 10% dei suoi ricavi in ricerca e sviluppo; infatti, il centro delle attività di R&S è il laboratorio, che si articola in controllo qualità dei prodotti in entrata, controllo qualità finale sulla propria produzione e R&S, sia tecnologico che chimico.

DESCRIZIONE PROBLEMA

Il problema proposto dall'azienda consisteva in una standardizzazione di due fasi del processo produttivo, in particolare per quanto riguarda il processo di laminazione e vulcanizzazione, al fine di migliorare la qualità della lavorazione. Finora l'azienda adotta un approccio "trial and error": consiste nel redigere parametri caratteristici del campione, prendendo come primo tentativo quelli appartenenti a materiali simili che erano stati precedentemente standardizzati. La maggior parte del processo coinvolto può essere limitato a unità di piccola lunghezza, mentre il processo di vulcanizzazione deve essere testato su unità vicine a quelle predefinite dal processo standard. Queste unità di lunghezza possono raggiungere diverse centinaia di metri, quindi il test non è alla portata di tutti i clienti. Per raggiungere questo obiettivo è stato richiesto una modellizzazione teorica del processo di vulcanizzazione, che fornisse in output una correlazione tra la lunghezza della curva di rotolamento con la pressione applicata e in relazione al processo di vulcanizzazione.

DESCRIZIONE SOLUZIONE

Il problema è stato affrontato da diversi punti di vista, sia con un'attività sperimentale che con un approccio modellistico teorico. Al fine di rilevare possibili cause di irregolarità sul tessuto rivestito in gomma, il team ha impostato misure di temperatura e deformazione rispettivamente tramite sensori Pt100 ed estensimetri. In particolare, coppie di questi due sensori sono state collocate in posizioni diverse durante il processo di laminazione, al fine di misurare la dipendenza dalla temperatura e dalla deformazione dalla distanza radiale, dal cilindro metallico fino allo strato più esterno, durante il processo di vulcanizzazione. I risultati ottenuti dai sensori Pt100 mostrano chiaramente una diffusione del calore non uniforme negli strati di gomma: solo gli strati più esterni raggiungono effettivamente la temperatura prescelta (135°C); avvicinandosi alla parte interna, la diffusione del calore rallenta e gli strati di gomma risultano più freddi, con una differenza di circa 18°C dopo 9 ore di riscaldamento. Le misure di temperatura hanno poi permesso di convalidare i risultati ottenuti con



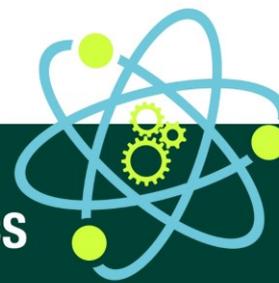
UNIVERSITÀ
DI TRENTO
Dipartimento di
Fisica



CONFINDUSTRIA TRENTO



FIEL
MECCATRONICA



IPSP2022 INDUSTRIAL PROBLEM SOLVING WITH PHYSICS Trento, Italy - 18-23 July, 2022

i sensori di deformazione. Il processo di vulcanizzazione consiste infatti in una prima dilatazione termica della gomma, seguita da una diminuzione di volume dovuta alla formazione di reticolazioni nella gomma che rendono il materiale più denso. Il team ha tenuto traccia di questa modulazione del volume con sensori di deformazione, che hanno confermato che il processo di vulcanizzazione è stato ritardato nel tempo per gli strati più freddi. Inoltre, è stato allestito un prototipo su piccola scala che simula il processo di laminazione e vulcanizzazione per testare una nuova disposizione dei sensori di deformazione con collegamenti a filo più piccoli (0,8 mm). Questo aggiornamento ha permesso di migliorare sia la non invasività del rivelatore all'interno del tessuto gommato sia la qualità delle misure di deformazione. Le misurazioni della temperatura hanno confermato che anche 1 cm del tessuto rivestito in gomma mostra proprietà di isolamento termico che portano a una trasmissione del calore non uniforme. A causa di limitazioni sperimentali, durante il processo di laminazione simulato sono state applicate piccole pressioni. Per questo motivo, il sensore di deformazione non è stato in grado di rilevare alcuna deformazione durante il processo di vulcanizzazione. Questo esperimento ha anche confermato che la forza applicata per rotolare il materiale gioca un ruolo cruciale nel processo di vulcanizzazione e di conseguenza sulla qualità del prodotto finale.

In concomitanza con la parte sperimentale il team di IPSP ha costruito un modello semplificato che mette in relazione la forma analitica della pressione radiale (quella che ogni strato esercita su quelli posti sotto di sé) ad alcuni parametri controllabili in fase di progettazione della produzione, ovvero il raggio del cilindro metallico interno, lo spessore degli strati e la lunghezza totale del rotolo. Anche se il modello ha approssimazioni multiple (che potrebbero essere rimosse in futuro, così da renderlo più accurato) dà una risposta diretta a una delle domande principali che l'azienda ci ha posto all'inizio della sfida: trovare un calcolo matematico relazione tra la lunghezza del rullo e la pressione radiale subita da ogni strato di gomma. I meccanismi di trasferimento del calore, che si verificano durante la vulcanizzazione, sono stati simulati con COMSOL Multiphysics, un software di analisi a elementi finiti multipiattaforma. In linea di principio diversi contributi intervengono nel bilancio termico: conduzione attraverso gli strati solidi, costituiti da carta e gomma, generazione di calore dovuta alla reazione di vulcanizzazione, convezione con l'aria calda del forno ventilato. In particolare, per modellare la cinetica della reazione di vulcanizzazione, si è fatto riferimento al processo di Curing. Per valutare i profili transitori di temperatura e conversione, è stata assunta come condizione iniziale la temperatura ambiente in tutti i rotoli di tessuto rivestiti in gomma. Inoltre, per evitare la propagazione di errori dovuti a stime imprecise del coefficiente di scambio termico convettivo, la temperatura negli strati più esterni è stata imposta per seguire le misure sperimentali. Attraverso questo approccio è stato possibile verificare la relazione tra tempo e vulcanizzazione avvenuta sull'intero rullo. In questo modo, impostando una durata e una temperatura massime, è possibile stabilire la lunghezza massima del tessuto per ottenere una polimerizzazione completa sull'intero materiale massimizzando al contempo il processo di produzione.