

Perché l'attrito nei collegamenti filettati è fondamentale per la capacità di processo

White Paper

Perché l'attrito nei collegamenti filettati è fondamentale per la capacità di processo

di **Martin Rüedy**

Bossard Expert Team,
Bossard Central Europe

www.bossard.com

Tutti i diritti riservati © 2023 Bossard

Le raccomandazioni e i consigli descritti devono essere adeguatamente verificati dal lettore nell'utilizzo pratico ed essere approvate come idonee alle proprie applicazioni.

Con riserva di modifiche.



ASSEMBLY
TECHNOLOGY
EXPERT

PERCHÉ L'ATTRITO NEI COLLEGAMENTI FILETTATI È FONDAMENTALE PER LA CAPACITÀ DI PROCESSO

Introduzione

La «Lean Production» è di tendenza oggi ed è sinonimo di processi ancora più snelli e mirati. In tutto il mondo si ricercano soluzioni per ottenere una maggior efficienza, un'usura ridotta ed una maggior durata nel tempo dei prodotti. Nella valutazione di nuovi materiali o processi di trattamento o di finitura superficiale, entrano quasi sempre in gioco caratteristiche tribologiche come attrito, lubrificazione e usura.

Nei prodotti industriali, i collegamenti filettati rimovibili continuano ad essere una componente importante anche in relazione ai nuovi metodi produttivi e ai nuovi materiali mentre i processi di montaggio sono sempre più severi.

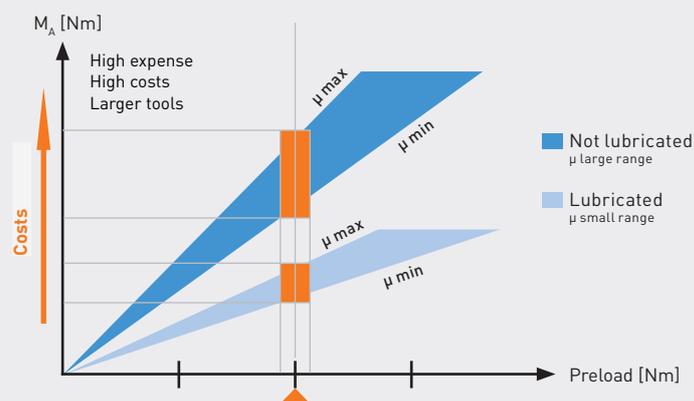


Illustrazione 1 Grafico coppia di serraggio MA - preload al variare della lubrificazione

Argomenti e competenze per soluzioni di collegamento sicure

- Capacità di processo
- Sicurezza di processo nel montaggio
- La sfida della tribologia

La sfida della tecnica del collegamento filettato

Il mercato richiede prodotti finiti affidabili con elevata disponibilità e cicli di manutenzione sempre più lunghi. Per poter soddisfare queste esigenze, tenendo in considerazione l'affidabilità dei collegamenti filettati, sono necessarie adeguate tecnologie per le superfici. L'accoppiamento di materiali e la protezione anticorrosione devono essere in grado di resistere agli influssi esterni e alle sollecitazioni. Ad esempio, devono garantire la sicurezza dei collegamenti anche nel caso di temperature di esercizio elevate, come avviene per i punti di collegamento del condotto di scarico dei motori a combustione.

Le superfici tecniche, oltre a svolgere la funzione protettiva durante l'utilizzo, devono inoltre soddisfare i requisiti tribologici della linea di montaggio. Il tipico collegamento filettato, finalizzato ad ottenere un precarico residuo sufficiente, si realizza mediante l'applicazione di una coppia di serraggio la quale è notevolmente influenzata dall'attrito che si sviluppa durante il movimento relativo fra le superfici di accoppiamento.

Per un'elevata capacità di processo dei collegamenti filettati sono necessari un basso coefficiente di attrito ed una minima dispersione dello stesso a livello di filettatura e del sottotesta della vite. La lubrificazione degli elementi di collegamento è pertanto un requisito fondamentale per l'affidabilità e la qualità dei collegamenti. Nel quadro dei requisiti di legge per un impiego dei prodotti industriali orientato al rispetto dell'ambiente e della salute, anche gli aspetti economici sono fondamentali. Per gli elementi di collegamento filettati i lubrificanti liquidi vengono sostituiti sempre più spesso da additivi lubrificanti aggiunti nel rivestimento finale (top coating) applicato ai rivestimenti di base, per espletare la lubrificazione a secco. Nel frattempo si sono affermati diversi nuovi sistemi di rivestimento superficiale con buone caratteristiche di resistenza alla corrosione, equivalenti o addirittura superiori alle cromatazioni contenenti cromo esavalente, che hanno soppiantato. Purtroppo la standardizzazione della tecnologia dei rivestimenti superficiali è in ritardo rispetto alla tecnologia di rivestimento industriale.

A causa della varietà esistente di rivestimenti superficiali esenti da cromo esavalente e delle possibili combinazioni con le più diverse finiture superficiali, è attualmente sempre più difficile definire uno standard per abbinare le specifiche di coefficiente di attrito e quelle di protezione dalla corrosione.

Conclusioni

L'industria automobilistica è un vero e proprio stimolo tecnologico per i requisiti di protezione dalla corrosione e per la dispersione dei valori del coefficiente di attrito per realizzare un processo affidabile di montaggio industriale e coprire ogni esigenza di sicurezza nell'operatività. In ambito internazionale le aziende sentono una pressione sempre maggiore che le spinge a sviluppare soluzioni migliori per consentire condizioni di montaggio più efficienti e cicli operativi più lunghi.

Sempre più spesso vengono utilizzate soluzioni complete con un concetto di rivestimento per caratteristiche prestazionali mirate. L'offerta comprende, in particolare, vari strati di base con finiture (ad es. sistemi di rivestimento in lamelle di zinco). I cosiddetti "Anti-Friction Coatings" con coefficiente di attrito prescritto vengono opportunamente applicati dallo stesso rivestitore.

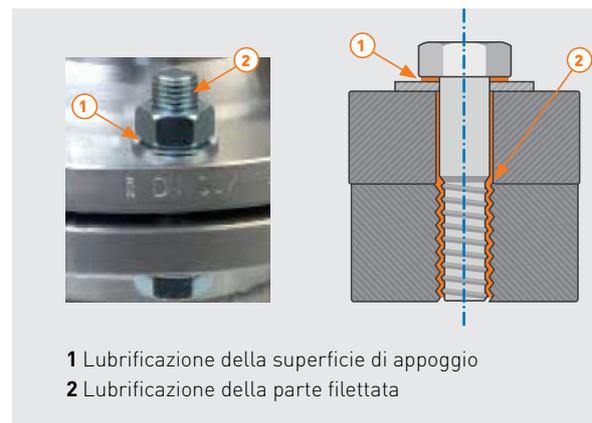


Illustrazione 2 Collegamenti flangiati con requisiti elevati in termini di tenuta e una pressione superficiale il più possibile uniforme dovuta al precarico delle viti

PERCHÉ L'ATTRITO NEI COLLEGAMENTI FILETTATI È FONDAMENTALE PER LA CAPACITÀ DI PROCESSO

Capacità di processo

Per i collegamenti filettati rilevanti per la sicurezza, i quali devono garantire il mantenimento del precarico corretto, un montaggio manuale senza un processo di serraggio controllato non è adeguato. È necessario fare attenzione a tutti i parametri che influiscono sulla sicurezza del processo, in particolare deve essere tenuta in considerazione la dispersione del coefficiente di attrito così come deve essere selezionato ed utilizzato il corretto avvitatore.

È possibile derivare dal settore automobilistico una procedura adeguata per un approccio razionale, sulla base dell'analisi dei rischi nel processo di avvitamento. La VDI 2862 può costituire una base per la classificazione dei collegamenti filettati e può offrire linee guida per la selezione e l'impiego dei corrispondenti elementi di collegamento filettati. Tale direttiva suddivide i collegamenti filettati in tre classi di rischio, in ambito automobilistico. Un processo di montaggio sicuro è inoltre legato a un utilizzo corretto delle attrezzature

Classe di rischio A

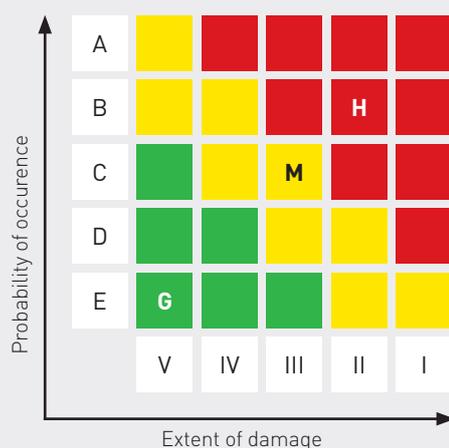
“Pericolo di vita e per l'incolumità fisica diretto o indiretto” si applica nel caso il cedimento del collegamento filettato abbia un'elevata probabilità di causare un cedimento rilevante per la sicurezza o addirittura la distruzione della macchina/dell'apparecchiatura/del veicolo, causando un pericolo di vita diretto o indiretto.

Classe di rischio B

“Veicolo in avaria” si applica nel caso il cedimento del collegamento filettato possa causare un problema di funzionamento del veicolo.

Classe di rischio C

“Irritazione del cliente” si applica nel caso il cedimento del collegamento filettato possa irritare il cliente.



H = Urgently necessary measures

M = Improvements to be taken into account

G = Organization or staff-related measures

Illustrazione 3 Urgenza di intervento in base a estensione del danno e probabilità di accadimento

Miglioramenti di processo misurabili con l'aiuto di dati fondamentali

Gli indici di capacità di processo C_p e C_{pk} sono indicatori caratteristici per la valutazione statistica di una caratteristica di processo. Essi indicano l'affidabilità all'interno della finestra dell'obiettivo indicata specifiche. Di conseguenza il coefficiente di attrito, la coppia di serraggio indicata o anche il precarico necessario nel componente possono essere definiti come caratteristiche di controllo.

Il valore di C_{pk} è definito nel modo seguente a partire dal valore medio μ , dalla relativa deviazione standard σ e dai limiti superiore (OSG) o inferiore (USG) delle specifiche:

$$C_{pk} = \frac{\min(\mu - USG; OSG - \mu)}{3\sigma}$$

Maggiore è questo valore, maggiore è la sicurezza che l'intera serie di misure rispetti le specifiche.

Il valore di C_p è definito come

$$C_p = \frac{OSG - USG}{6\sigma}$$

Il valore di C_p può quindi essere calcolato solamente dopo aver definito i limiti superiore e inferiore di specifica.

Mentre il valore di C_p indica solo il rapporto della tolleranza indicata rispetto alla dispersione di processo, il valore C_{pk} comprende anche la posizione della media del processo rispetto al centro dell'intervallo di specifica indicato. Nel migliore dei casi (media del processo al centro dell'intervallo di specifica) $C_{pk} = C_p$; altrimenti $C_{pk} < C_p$.

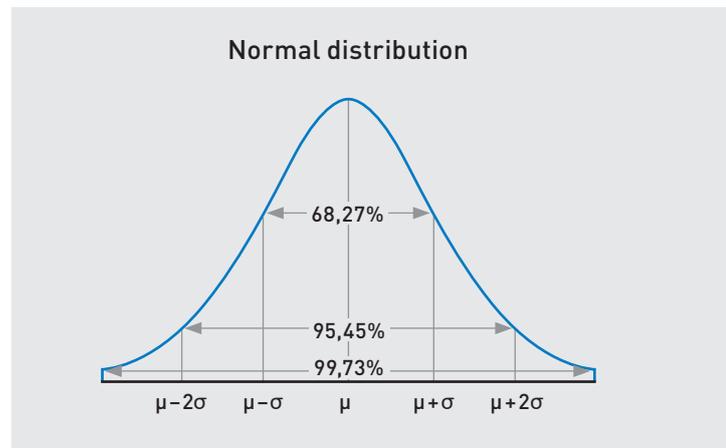


Illustrazione 4 Distribuzione normale o gaussiana (da Carl Friederich Gauss)

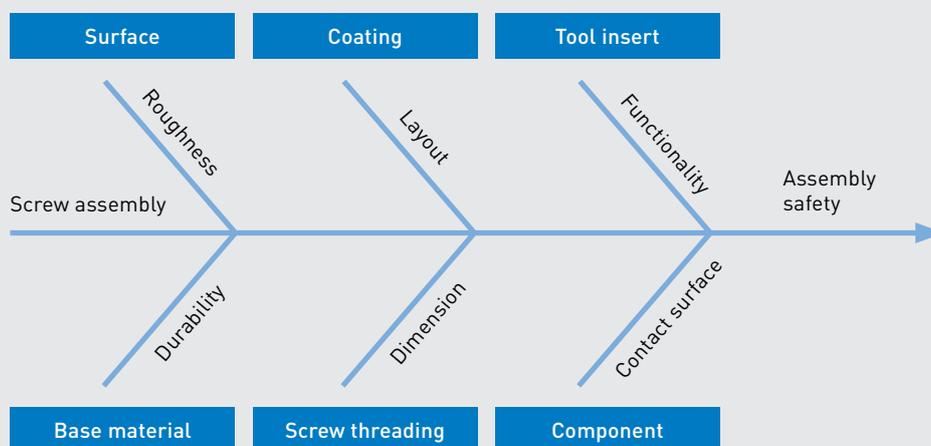
Conclusione

La capacità di processo di un assemblaggio è una premessa importante per poter mantenere ridotti i tempi del ciclo di montaggio. Variazioni del coefficiente di attrito o addirittura rotture delle viti comportano spesso delle interruzioni non programmate sulla linea di montaggio. Questi problemi devono essere prevenuti attraverso giuste condizioni ambientali per l'avvitamento e l'osservanza delle corrispondenti direttive per il montaggio. Un'elevata capacità di processo significa essere in grado di ottenere il precarico corretto previsto.

PERCHÉ L'ATTRITO NEI COLLEGAMENTI FILETTATI È FONDAMENTALE PER LA CAPACITÀ DI PROCESSO

Sicurezza di processo nel montaggio

La sicurezza è determinata prevalentemente dal precarico di montaggio. L'assemblaggio è basato sulle prescrizioni di montaggio e sui vincoli tribologici. Il precarico di montaggio è enormemente influenzato, durante l'assemblaggio, dall'effetto dell'attrito dell'accoppiamento delle filettature e delle superfici di appoggio (elemento di collegamento-componente). Il rendimento del montaggio nel caso dei collegamenti filettati si aggira intorno al 10 - 20%!



Vincoli tribologici nel collegamento filettato

Diviene pertanto chiaro che il precarico necessario definito a seguito di calcoli in fase di progettazione può essere ottenuto solo con vincoli tribologici ben definiti. Un montaggio sicuro presuppone inoltre una piccola dispersione del coefficiente di attrito. In pratica, per realizzare collegamenti sicuri, è necessaria una lubrificazione ben definita.

Ai fini di una «Lean Production» per tempi di completamento più corti e una riduzione dei costi, la sequenza di tutte le attività dalla comunicazione dell'esigenza fino all'accettazione del prodotto deve essere progettata in modo ottimale. Attività della produzione come le misure preparatorie non hanno valore aggiunto e devono essere evitate (ad es. allestimento, pulizia, applicazione di lubrificante, etc.).

Rivestimenti tribologici a secco pre-applicati migliorano la sicurezza di montaggio grazie ad una ben definita dispersione del coefficiente di attrito che permette di ottenere il precarico richiesto. Per garantire la sicurezza di montaggio anche durante l'installazione di ricambi, dovrebbero essere utilizzati elementi di collegamento nuovi anch'essi con lubrificante pre-applicato.

Conclusioni

Un montaggio economico si basa su processi di assemblaggio semplici realizzati con strumenti adeguati. Gli elementi di collegamento filettati, con le loro caratteristiche tribologiche, sono decisivi per il raggiungimento del precarico specificato per il montaggio. I collegamenti rilevanti per la sicurezza devono pertanto essere sempre realizzati con elementi di collegamento nuovi ed eventualmente vanno documentati attraverso etichette (lotto di produzione).

PERCHÉ L'ATTRITO NEI COLLEGAMENTI FILETTATI È FONDAMENTALE PER LA CAPACITÀ DI PROCESSO

La sfida della tribologia

Già intorno al 1880 a.C., gli egiziani erano riusciti a trasportare i colossi di Memnone utilizzando idonee misure di riduzione dell'attrito. Dai Geroglifici tramandati è possibile dedurre un vero e proprio concetto di lubrificazione, con responsabilità precise per la gestione delle condizioni tribologiche.

La DIN 51834-2 definisce la tribologia come segue: "Tribologia è la scienza e la tecnologia delle interazioni superficiali durante il moto relativo". In particolar modo si riferisce all'attrito e all'usura ed include la lubrificazione e le corrispondenti interazioni superficiali sia tra corpi solidi sia tra corpi solidi nei confronti di liquidi e gas.

L'attrito è una interazione tra le superfici a contatto dei corpi. Contrasta il movimento relativo e rappresenta la perdita di energia meccanica durante l'avvio, la continuazione o l'arresto del movimento relativo fra superfici a contatto. L'attrito può essere definito anche come un processo termodinamico irreversibile.

Una possibile assegnazione delle classi di coefficienti d'attrito con valori di riferimento per diversi materiali/ superfici e condizioni di lubrificazione per i collegamenti filettati è disponibile nella VDI 2230. I dati pubblicati sono perlopiù validi in condizioni di laboratorio e a temperatura ambiente e pertanto vanno sempre rivalutati nel relativo contesto e nelle specifiche condizioni di utilizzo. I coefficienti di attrito μ_{tot} , μ_{th} , μ_b mostrano dispersioni in quanto dipendono da diversi fattori, come ad esempio l'accoppiamento dei materiali, la qualità delle superfici (rugosità), il trattamento superficiale (grezzo, zincatura elettrolitica, rivestimento in lamelle di zinco, sigillato, etc.) e il tipo di lubrificazione (senza/con olio, bisolfuro di molibdeno, pasta di grafite, lubrificante secco PTFE, etc.). Condizioni di attrito ben definite per la superficie di appoggio sotto testa e per la filettatura sono una condizione fondamentale per la sicurezza di progetto e di montaggio.

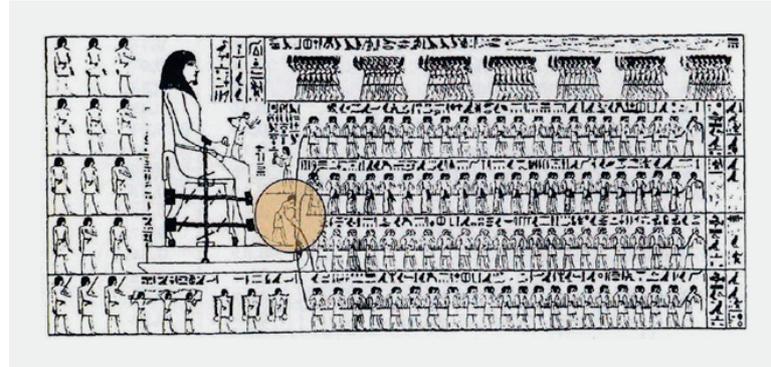


Illustrazione 6 Trasporto di un colosso di Memnone in Egitto

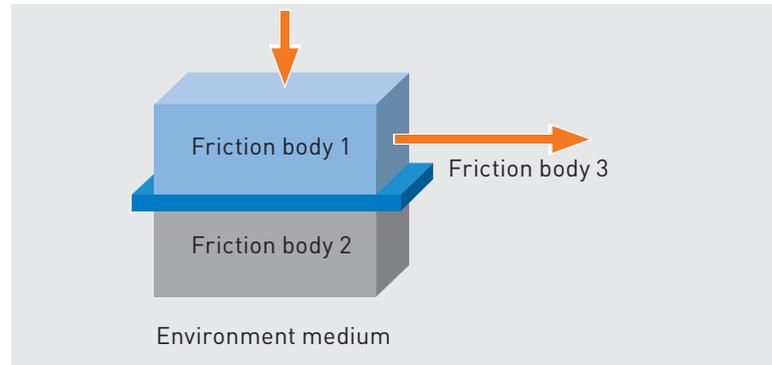
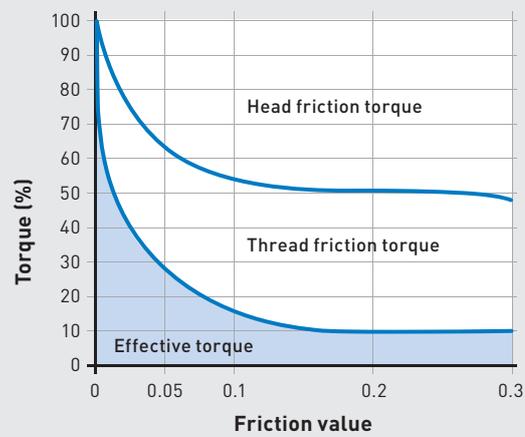


Illustrazione 7 attrito nel collegamento filettato e nelle superfici a contatto e i fattori che influiscono sullo stesso



$$M_A = F_M \left[\frac{d_2}{2} \tan(\rho + \rho_s) + \frac{D_{km}}{2} \tan \rho_k \right]$$

Illustrazione 8 il coefficiente di attrito μ , dipende da: accoppiamento dei materiali, qualità della superficie, trattamento superficiale, lubrificazione.

L'usura è definita come perdita progressiva di materiale dalla superficie di un corpo solido, per cause meccaniche quali ad esempio il contatto e il movimento relativo nei confronti di un altro corpo solido, liquido o gassoso. Si manifesta con il distacco di particelle (particelle di usura) nonché con un cambiamento nel materiale e nella forma della superficie sottoposta a sollecitazione tribologica.

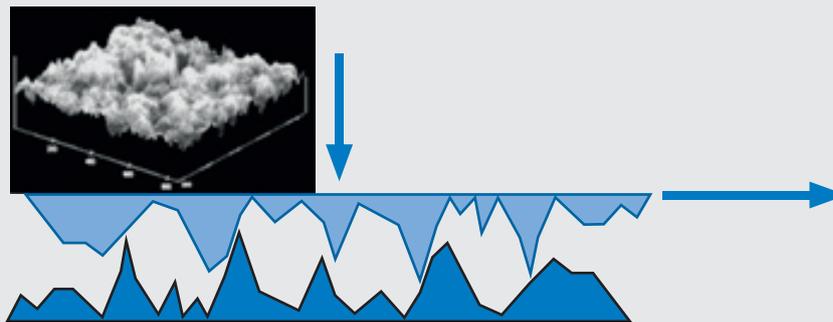


Illustrazione 9 usura

Conclusioni

La tribologia può essere considerata una materia interdisciplinare per l'ottimizzazione di tecnologie meccaniche attraverso la riduzione di perdite di energia e materiali derivanti da attrito e usura. Poiché gli strati superficiali durante l'esercizio sono sottoposti a un declino funzionale, la colorazione, lo stato della superficie e, a seconda del materiale delle viti, il rischio residuo di un guasto rappresentano una buona occasione per la sostituzione. È consigliabile un'osservazione programmata, oltre a controlli ripetitivi (valutazione), per collegamenti filettati importanti per la sicurezza.

Obiettivi di misure tribologiche per l'ottimizzazione di sistemi tecnici della macchina	Frequenza delle indicazioni di obiettivi da parte degli utilizzatori (100 % = 978 indicazioni)
1. Prolungamento della vita utile	
2. Assenza di manutenzione	
3. Aumento sollecitazioni/regime	
4. Miglioramento produzione	
5. Diminuzione delle perdite di potenza elettrica	
6. Riduzione perdite, guarnizione	
7. Riduzione della rumorosità	
8. Applicazioni a temperature elevate	
9. Riduzione delle vibrazioni	
10. Riduzione del peso	
11. Altro	

Illustrazione 11 Funzioni caratteristiche della tribologia



Per ulteriori informazioni, potete consultare la nostra pagina dei contatti su www.bossard.com oppure rivolgervi alla filiale locale Bossard