

Adozione di prove non distruttive nel collaudo di tenuta per gli involucri dei compressori ermetici da refrigerazione

Zaverio LAZZERO
Lazzero Tecnologie S.r.l.

SOMMARIO

Il collaudo preliminare di tenuta sugli involucri dei compressori ermetici, costringe i costruttori ad una serie di prove che risultano distruttive. Spesso, per assicurare la qualità ai grandi volumi di pezzi prodotti, si rende necessario ampliare il numero di campioni provati, incrementando i costi.

L'operazione considerata prevede la chiusura di un involucro, mediante saldatura di scatola e coperchio; il manufatto ottenuto viene pressurizzato con aria ad alta pressione ed immerso in acqua, dove si verifica visivamente la tenuta dei tubetti e del passante elettrico. Al termine dell'attività il pezzo non può essere recuperato e viene di conseguenza rottamato.

Anche la pressurizzazione della semi-scatola incompleta, per evitare i processi irreversibili come le operazioni di saldatura, richiede dispendiose e laboriose attività preparatorie per l'ermetizzazione con complicate attrezzature di prova. La verifica ancora visiva, in queste condizioni risulta poi particolarmente pericolosa.

In alternativa, l'adozione di un metodo di prova con l'impiego di gas traccianti e rivelatore di fughe a massospettrometro, consente l'esecuzione in tutta sicurezza di un processo di collaudo veloce e preciso, che non alterando le condizioni del pezzo, si identifica nel panorama delle prove non distruttive.

Il processo di collaudo in vuoto e con il solo impiego dell'elio come gas di traccia, evita inoltre l'immersione in acqua con l'ulteriore vantaggio di poter disporre immediatamente del particolare senza necessità di operazioni aggiuntive come l'asciugatura e la bonifica.

Spesso accade che l'involucro venga realizzato da un fornitore diverso da chi si occuperà poi dell'inserimento del motore compressore e del completamento del montaggio con la chiusura e la saldatura periferica.

A questo fornitore, viene richiesta la garanzia di tenuta sul pezzo, e pertanto la possibilità di collaudare preliminarmente l'intera produzione, ne accresce il controvalore economico.

*Zaverio LAZZERO
LAZZERO TECNOLOGIE S.r.l.
Strada Baldissero, 78
10023 CHIERI (TO)
tel. 011 9411840
fax 011 9471640
z.lazzero@lazzero.com*

INTRODUZIONE

Nella costruzione dei circuiti frigogeni che compongono i frigoriferi, i congelatori e anche i condizionatori d'aria, si deve assicurare la tenuta affinché non si realizzino perdite di fluido refrigerante che, oltre a produrre danni all'ambiente, col tempo impedirebbero il corretto funzionamento (fig. 1).



Fig. 1 - Compressore ermetico

Già prima dell'assiemeaggio del circuito completo, i vari componenti subiscono dei collaudi tali da escludere la presenza di perdite.

Il caso del compressore ermetico, vede addirittura effettuato in più riprese questo collaudo di tenuta, affinché l'involucro di contenimento possa garantire l'ermeticità entro limiti piuttosto stringenti, al pari degli altri componenti del circuito chiuso in cui si realizza il processo frigogeno. Sono ammessi infatti valori di perdita molto bassi, inferiori ad 1 grammo di refrigerante perso per anno, e in alcuni casi addirittura inferiori al mezzo grammo.

Nel processo di costruzione del compressore, si individuano due principali sottoinsiemi: il **motocompressore** e l'**involucro**.

Il motocompressore rappresenta il gruppo di pompaggio e viene realizzato con un montaggio in sequenza di tutti i suoi componenti meccanici ed elettrici.

L'**involucro** si compone della parte chiamata comunemente "**scatola**" che ospita il gruppo compressore, e del "**coperchio**" che completerà la chiusura e sarà unito alla scatola con una saldatura (saldatura periferica) realizzata solitamente con processi MIG-MAG.

La scatola a sua volta provvede anche le connessioni per il collegamento al circuito fluidico, con la presenza di 2 o 3 tubetti, e il passante elettrico stagno (fig. 2)



Fig. 2 - scatola + coperchio

La richiesta di ermeticità su queste giunzioni serve ad evitare che una perdita, individuata dopo il completamento del montaggio del motocompressore e la saldatura della scatola, richieda un intervento di riparazione. Oltre all'evidente perdita del valore aggiunto nelle fasi di completamento del montaggio, su alcuni modelli di compressore la riparazione di

perdite sulla saldatura del tubetto diventa irrealizzabile. Infatti il surriscaldamento prodotto dalla brasatura di riparazione, produrrebbe danni funzionali all'interno del gruppo di pompaggio e agli equipaggiamenti elettrici.

DETTAGLIO SUL PRODOTTO DA VERIFICARE

Nel dettaglio, la scatola è realizzata per imbutitura di un disco di lamiera d'acciaio al carbonio, con uno spessore orientativamente tra 3 e 4 mm. I tubetti sono realizzati in lega di rame, oppure in acciaio ramato superficialmente. Questi sono applicati alla scatola mediante diversi processi di saldatura:

- Saldobrasatura con materiale d'apporto (lega d'argento, bronzo fosforoso, ecc.)
- Per scarica elettrica (induzione, scarica capacitiva, ecc.)
- Per attrito (strisciamento e frizione dei due materiali)

In alcuni casi il tubetto è brasato in atmosfera controllata ad un supporto in acciaio che poi sarà a sua volta saldato alla scatola sempre con processi elettrici di passaggio di corrente.

Il passante elettrico è realizzato con supporto in acciaio che attraverso delle boccole fuse di vetro o di ceramica, porta i connettori elettrici. Anche in questo caso il passante viene saldato per effetto termoelettrico a pressione sul corpo della scatola.

Mentre il passante elettrico non viene successivamente forzato meccanicamente, i tubetti possono essere sollecitati con azione di piegatura per raggiungere la posizione corretta prevista nel progetto del compressore.

CONSIDERAZIONI SUI POSSIBILI METODI DI COLLAUDO

Esclusi i metodi considerati distruttivi perché comportano l'esecuzione di attività sul prodotto che non ne permetterebbe il suo riutilizzo e quindi obbligano alla successiva rottamazione, si sono esplorate altre possibilità nella scelta del metodo da impiegarsi per l'individuazione delle fughe:

- sistemi basati sulla variazione della pressione nel tempo;
- sistemi utilizzando gas traccianti (in genere elio) rilevati con dispositivi termici, elettrochimici e spettrometria di massa.

Passiamo brevemente in rassegna i metodi analizzati:

Sistemi basati sulla variazione della pressione nel tempo: la scatola in prova viene pressurizzata o evacuata e quindi si misura la diminuzione o la risalita di pressione in un certo intervallo di tempo. Dalla variazione di pressione (Δp) misurata nell'intervallo di tempo (Δt) e noto il volume (V) del prodotto in prova è possibile calcolare il valore del flusso di gas $q = (\Delta p \times V) / \Delta t$.

Risulta evidente che maggiori sensibilità di misura si otterranno su volumi piccoli e intervalli di tempo prolungati. Se la prova si protrae per un tempo lungo è necessario registrare la temperatura; infatti la variazione di temperatura comporta la variazione di

pressione che si somma o si sottrae al valore effettivo della variazione di pressione dovuta alla fuga.

Qualora si operi in vuoto (prodotto evacuato) è necessario considerare anche l'effetto dovuto al desorbimento delle pareti del prodotto. Il desorbimento comporta un aumento della pressione che si somma all'aumento della pressione dovuto alla presenza della fuga. Questo metodo, si applica solitamente dove si vuole conoscere la perdita globale di un oggetto che opera in vuoto, ed è adatto per volumi grandi e la sua sensibilità è funzione oltre che della minima variazione di pressione misurabile anche della misura della temperatura, del degasaggio e dell'applicazione delle opportune correzioni.

Entrambi i sistemi riconducibili al metodo di variazione della pressione sono stati scartati per l'evidente motivo:

la sensibilità di prova è legata al tempo di permanenza nelle condizioni di misura ed il prodotto durante questo periodo è sottoposto ad un gradiente termico non indifferente in quanto proviene da una operazione termica di saldatura.

Per applicare un esempio numerico:

il volume della scatola può essere ridotto con l'inserimento di zavorre a ca. 1 litro; consideriamo un tempo tecnico accettabile di permanenza in prova, confinando la verifica statistica su pochi prodotti, pari a 30 secondi.

Applicando $q_L = (\Delta p \times V) / \Delta t$ e ricercando il Δp avendo come riferimento un limite di accettabilità per perdita massimo di 2×10^{-5} mbar.L/s, avremo:

$$q_L = (\Delta p \times V) / \Delta t$$

$$\text{con } V = 1 \text{ L} \quad e \quad \Delta t = 30 \text{ s}$$

$$2 \times 10^{-5} = (\Delta p \times 1) / 30 \quad \text{quindi } \Delta p = 2 \times 10^{-5} \times 30 = 6 \times 10^{-4} \text{ mbar}$$

anche aumentando di 10 volte il tempo di misura, una diminuzione della temperatura di alcuni gradi Celsius produrrebbe una variazione di pressione maggiormente significativa di quella prodotta dalla eventuale fuga.

Sistemi di rilevamento delle fughe con gas tracciante:

di seguito è descritto brevemente il funzionamento e le caratteristiche salienti dei sistemi commercialmente più diffusi.

Rivelatori di fughe elettronici utilizzando gas traccianti e misura della variazione della conducibilità termica.

Questi dispositivi prelevano il gas da analizzare per mezzo di un minuscolo apparato di pompaggio che lo trasferisce al sistema di misura. Il principio di funzionamento si basa sul differente trasporto di energia (termica) dei gas. Un filamento riscaldato per effetto della corrente elettrica che lo percorre, viene investito dal flusso gassoso. La conseguente variazione di temperatura, si traduce in una variazione della conducibilità elettrica sul conduttore di riferimento e questa grandezza viene utilizzata come indicatore della presenza di un dato gas piuttosto che un altro.

Nonostante gli strumenti moderni siano corredati di librerie di riferimento con settaggio automatico dei parametri interessati alle variazioni, corrispondenti al gas di traccia noto, e

dispongano di sistemi di misura particolarmente efficienti, possono venire tratti in inganno dalla presenza di composti gassosi che imitano l'azione del gas di traccia.

Inoltre la possibilità di lavorare solamente in modalità sniffer (annusamento tramite sonda) ne limita l'impiego nel collaudo di un prodotto di notevoli dimensioni con una distribuzione varia dei possibili punti di perdita.

La sensibilità nominale di questi rilevatori è comunque limitata ed insufficiente per l'applicazione sul prodotto considerato.

Cercafughe ad Idrogeno: questo sistema si basa sulla permeazione dell'idrogeno in un semiconduttore alterandone le risposte elettriche. In considerazione della pericolosità nell'utilizzo di questo gas, le miscele commerciali propongono una diluizione al 5% in azoto.

Nonostante i sistemi in commercio assicurino una maggiore sensibilità nei confronti dei dispositivi a conducibilità termica descritti sopra, mantenendo soluzioni economicamente attrattive, nell'applicazione pratica si possono incontrare alcune difficoltà.

Il funzionamento previsto per questo genere di strumentazione è sempre confinato alla ricerca localizzata delle perdite con modalità sniffer. In questo caso il sistema di misura non viene alterato da gas estranei, ma il limite risiede proprio nello stesso idrogeno. Esso, presente nell'aria in forma libera in proporzioni minime (0,5 ppm, dieci volte inferiore dell'elio) nella realtà è liberato da diversi composti e da diverse reazioni che si possono incontrare con facilità nell'ambiente industriale. Queste, condizionano con la loro presenza in misura variabile i responsi delle misure. Il sistema che trasforma la presenza di idrogeno in un corrispondente segnale elettrico, reagisce alle variazioni di concentrazione dello stesso, senza determinarne la quantità realmente presente. Se l'elemento sensibile dell'apparato di misura permane nel gas, un sistema automatico di correzione interviene azzerando il segnale prodotto. Questa condizione ne limita l'applicabilità nelle misure quantitative di flusso (il prodotto della perdita).

Sistemi a spettrometria di massa: individuati come particolarmente efficaci nel rilevamento, quantificazione e, se necessario, localizzazione delle fughe.

Il principio è basato sulla ionizzazione del gas, condotto per mezzo di differenze di pressione o di concentrazione alla cella di analisi, e successivamente sulla separazione degli ioni prodotti con l'azione di campi elettrici e campi magnetici (i più diffusi). Durante il processo di misura, solamente gli ioni del gas ricercato produrranno un segnale elettrico che sarà proporzionale e corrispondente alla quantità e concentrazione dello stesso gas.

Questo sistema permette di operare misure estremamente brevi, non influenzate dall'ambiente esterno. Il risultato è utilizzabile sia per fini semplicemente qualitativi che quantitativi.

Il gas comunemente impiegato è l'elio che è presente in 5 ppm nell'aria; questo valore, già di per se molto basso, non viene alterato da processi chimici o fisici.

La rivelazione di elio nel sistema di misura è strettamente rapportato alla presenza di perdite.

APPLICAZIONE DEL PROCESSO DI COLLAUDO IDONEO

Il sistema adottato sfrutta l'elevata sensibilità di misura realizzabile attraverso l'impiego di uno spettrometro di massa per elio.

Si presenta quindi la possibilità di operare il collaudo con pressioni differenziali molto basse e tale condizione facilita la realizzazione dell'attrezzatura di prova.

Inoltre, le giunzioni da verificare realizzate per saldatura e brasatura dura, offrono nel caso di perdita, una netta bi-direzionalità del flusso di fuga.

Il processo di collaudo si realizza attraverso la riduzione della pressione all'interno della scatola e la saturazione con l'elio dell'esterno. Il gas viene confinato nei punti di giunzione, sulle saldature dei tubetti e sulla saldatura del passante elettrico.

L'ermetizzazione della scatola, per poter realizzare il vuoto al suo interno, viene realizzata con una semplice maschera che copia il profilo del bordo scatola e dispone di una guarnizione elastica di tenuta.

La guarnizione oltre a garantire una buona tenuta anche in presenza di micro-striature della lamiera, deve resistere al bordo tagliente. Una semplice tenuta di testa non sarebbe sufficiente e viene allora realizzata la combinazione di due differenti anelli di tenuta. Questi, realizzati in materiale sufficientemente morbido per adattarsi al meglio ma resistente all'usura da abrasione e compressione, sono prodotti in Neoprene.

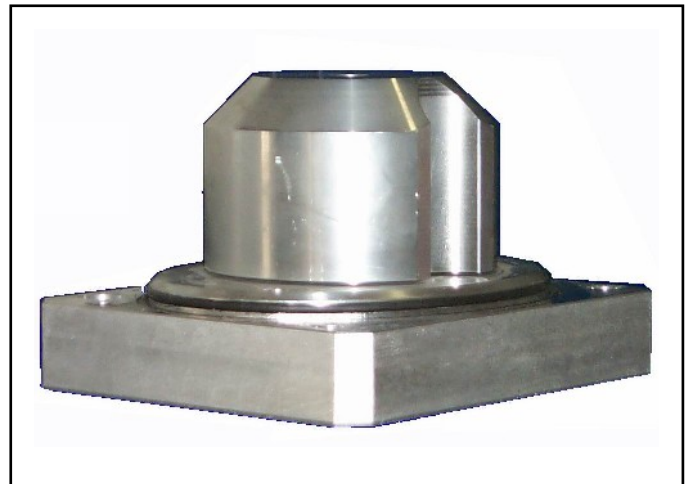


Fig. 3 - Attrezzatura di ermetizzazione

Una guarnizione avrà il compito di trattenere la maggior parte del gradiente di pressione da atmosfera verso il vuoto, con la compressione sul bordo di testa; la seconda lavorerà invece radialmente aderendo all'interno del bordo. In questo modo, la prima guarnizione sarà gravata dalla pressione totale (1000 mbar) ma nel caso non riesca a trattenerla perfettamente, sarà supportata dalla seconda, che subirà un differenziale di pressione praticamente nullo, a beneficio della tenuta (fig. 3).

Per semplici collaudi statistici sono impiegate le stazioni di prova "fuori linea", utilizzate ad esempio dopo le regolazioni o i cambi di utensile sulle macchine di saldatura, od ancora ad inizio turno o ai cambi di tipologia di produzione. Queste, sono realizzate con una sola maschera di ermetizzazione; la saturazione dell'elio nelle zone sospette è realizzata con una pistola manuale di soffiatura alimentata a bassa pressione, da cui fuoriesce elio a bassa velocità, evitando turbini che per effetti diversi (es. Venturi, Coanda) possano ridurre la concentrazione miscelandolo con l'aria.

Con queste apparecchiature si possono processare modeste quantità di pezzi ed in genere un ciclo di prova richiede da 30 a 60 secondi, in funzione della accuratezza del collaudo e del numero di punti da ispezionare (fig. 4).



Fig. 4 - apparecchiatura per prove manuali

inferiore al millibar assoluto; a questo punto lo spettrometro di massa, tarato sull'elio, viene collegato al sistema di misura quantificando l'eventuale perdita.

La prova si completa con la stampigliatura del risultato, in genere con azione meccanica ad impatto di un carattere che oggettiva il risultato.

L'intera area di lavoro delle attrezzature, in presenza di movimenti automatici, viene controllata e segregata da protezioni solide e da barriere ottiche per ovvie ragioni di sicurezza e protezione dell'operatore.

Simili macchine sono in grado di processare un ciclo di prova in pochi secondi (da 6 a 10 s) e disponendo di una doppia attrezzatura di prova, le operazioni condotte manualmente per la sostituzione dei pezzi avverranno contemporaneamente al processo in corso sull'attrezzatura opposta e questa sarà la cadenza di lavoro effettiva.

Queste macchine, progettate e costruite con criteri industriali, lavorano su 3 turni, con limitati interventi di manutenzione, ad intervalli generalmente superiori ad un anno.

Dove è richiesto un collaudo esteso a tutta la produzione, vengono allestite macchine capaci di processare un ciclo di prova in pochi secondi.

I componenti da testare, accostati alla maschera di prova, sono bloccati in posizione da una serie di attuatori. Gli attrezzi automatici di ermetizzazione catturano e sigillano i tubetti, mentre appositi dispositivi provvedono alla circoscrizione dell'area attorno al giunto saldato saturandola alla perfezione, con un quantitativo minimo di gas. (fig. 5).

Contemporaneamente si evacua il volume interno della scatola raggiungendo un valore di pressione



Fig. 5 - Attrezzi ermetizzanti automatici



Fig. 6 - Doppia stazione di collaudo con carico e scarico manuale per alta produttività

CONCLUSIONI

L'attenzione dimostrata da alcune aziende verso questa tecnologia ha permesso lo sviluppo e la diffusione di questi collaudi che non alterando le condizioni del pezzo provato, consentono il suo riutilizzo nel processo di montaggio. Ma non solo. La prova non distruttiva ha permesso di estendere il numero di collaudi sulle prove statistiche e addirittura arrivare a processi di verifica in produzione per l'intero quantitativo.

Queste prove non si pongono quindi come semplice alternativa al processo di saldatura della scatola e coperchio per verificare l'ermeticità delle connessioni, con conseguente rottamazione di tutti i pezzi utilizzati per la prova. Esse hanno aperto la possibilità a nuove efficienze produttive, filtrando lo scarto al termine del passaggio di lavorazione e riducendo, se non addirittura azzerando, il rischio di perdita del valore aggiunto nei passaggi di lavorazione successivi.