

SAFAP 2018

SICUREZZA E AFFIDABILITA' DELLE ATTREZZATURE A PRESSIONE

La gestione del rischio dalla costruzione all'esercizio a 130 anni dalla prima legge sulla sicurezza delle caldaie a vapore

INAIL

Bologna - 28 e 29 novembre 2018

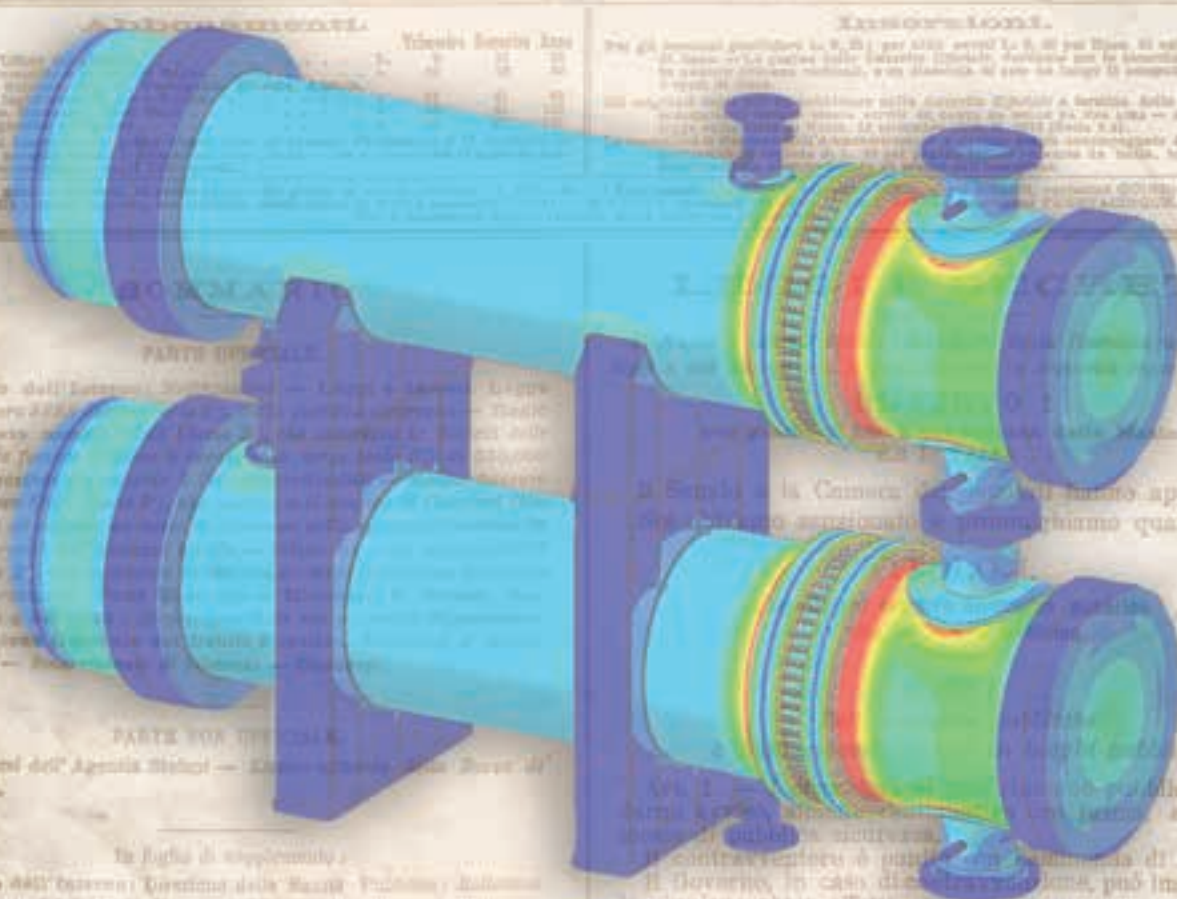
GAZZETTA UFFICIALE

DEL REGNO D'ITALIA

ANNO 1888

ROMA — SABATO 29 GENNAIO

N.° NUM. 22



PARTE UFFICIALE

MINISTERO DELL'INTERNO

Danni sulla bulloneria e sulle flange durante la manutenzione dei giunti con interposta guarnizione. Una rondella e migliorie sui dadi esagonali per prevenirli

R. Acerboni¹, F. Boella¹, A. De Palma¹, P. Morucchio¹, A. Falla², M. Cantone²

¹ Inail - Uot di Venezia-Mestre

² VED - Vetroresina Engineering Developmeent

Sommario

Il metodo maggiormente impiegato per il tensionamento delle aste filettate nelle giunzioni flangiate imbullonate è indubbiamente quello con chiavi torsionometriche. Il carico che si applica alle aste filettate è il minore tra quelli massimi sopportabili da guarnizione, flange e aste.

Talvolta già durante l'applicazione della coppia di serraggio si rileva, tra dado e superficie della flangia su cui esso fa riscontro, una frizione eccessiva, non quantizzabile, che genera delle deformazioni irregolari evidenziando che la relazione "coppia-carico sull'asta" finisce di essere lineare è diventata praticamente incontrollabile. Il fenomeno, a parità di materiale della bulloneria, ricorre con maggiore frequenza al diminuire della dimensione di essa.

E' inoltre frequente che, in particolare su giunzioni che sono state esercite a temperature superiori a 300 °C e durante le fasi di smontaggio del giunto, nel tentativo di svitare il dado, si verificano dei fenomeni di grippaggio tali da provocare la spanatura dei filetti con la conseguente impossibilità di riutilizzo della bulloneria. Questo può impattare sui programmi di manutenzione a causa dei tempi più lunghi di smontaggio, a volte, per la non disponibilità di bulloneria di scorta.

Il lavoro vuole evidenziare come, a partire dalla teorizzazione di quanto esposto, interventi su dadi e sulle rondelle possono limitare gli effetti negativi descritti.

1. Introduzione

Durante il disserraggio delle aste filettate di giunzioni flangiate talvolta si verificano fenomeni di grippaggio del dado sull'asta. Tale fenomeno è maggiormente ricorrente su giunzioni esercite a temperature particolarmente elevate, per quanto tali temperature non superano i limiti imposti dalle norme applicabili.



Figura 1

Il materiale su cui si verifica più frequentemente il grippaggio è l'ASTM A 193 Gr.B16 (1Cr-1/2Mo-V) per le aste e l'ASTM A 194 Gr.4 (1/4 Mo) per i dadi, questo perché sono i materiali maggiormente impiegati nel caso in cui la temperatura di progetto della giunzione supera, mediamente, i 350 °C rispettando comunque i limiti superiori imposti dalle norme applicabili. Di solito il materiale delle flange è un basso legato.

Quando si verifica il grippaggio durante il disserraggio, può essere un serio problema se chi ha programmato la manutenzione non ha pensato di approvvigionare una adeguata scorta di bulloneria oppure se, avendo a disposizione adeguate scorte, si ricorre al sistema più invasivo per la bulloneria, ovvero al taglio ossiacetilenico (Fig.1), più costoso per svariati motivi (*organizzazione di attività, cosiddette a caldo, in impianti dove sono presenti sostanze infiammabili, acquisto di tutta la bulloneria, etc.*). Pertanto è opportuno studiare metodi e tecniche che ne permettano il normale riutilizzo.

2. Impostazione dello studio

Dalla letteratura tecnica si ricava che, nel caso di una giunzione dado-vite, il 90% del carico di trazione applicato alla vite si scarica nei primi 4 ÷ 5 filetti e addirittura il 70% circa nei primi 3. Se la pressione specifica che viene a nascere tra i filetti risulterà oltremodo alta, si avrà che, a seguito del disserraggio, quando anche l'effetto dell'anti-seize applicato sarà nullo o limitato per il fatto che la giunzione è stata in esercizio ad alta temperatura, si potranno verificare fenomeni di grippaggio. L'esame della bulloneria su cui si è verificato il grippaggio e le osservazioni fatte su di essa confermano che i filetti su cui si verifica il danno e che poi innescano il grippaggio sono proprio i primi (Fig.2).



Figura 2

È importante riportare come, di norma, si arriva al blocco del dado sulla vite nel cercare di operare il disserraggio:

- 1) dapprima si regola la chiave idraulica ad un valore di coppia all'incirca il doppio di quello a cui il giunto è stato serrato;
- 2) si applica la chiave al dado da disserrare e si dà coppia;
- 3) il dado ruota sotto l'azione di una coppia inferiore a quella a cui la chiave è stata regolata (*lo si deduce osservando il manometro che indica la pressione dell'olio nella centralina che non raggiunge il valore a cui era stata regolata*);
- 4) dopo aver ruotato per meno di un giro si osserva un graduale aumento della pressione alla centralina indicativo che tra vite e dado si è verificato il grippaggio.

Il ripetersi di ciò su più aste induce a cambiare strategia di smontaggio ricorrendo quasi sempre al taglio ossiacetilenico.

Il fenomeno diventa più evidente all'aumentare del size della vite, perché anche il carico unitario sui filetti aumenta: è sufficiente osservare che a parità di tensione applicata al nocciolo della vite, ed a parità di passo della filettatura, il carico che trasmette la vite aumenta con il quadrato per distribuirsi su una lunghezza che invece aumenta linearmente.

In pratica, all'aumentare del size della vite il carico sui filetti aumenta più che linearmente; il grafico evidenzia che, fatto 100 il carico su un'asta da 1" con filettatura 8UN, su un'asta da 3" esso diventa 359 (Fig.3).

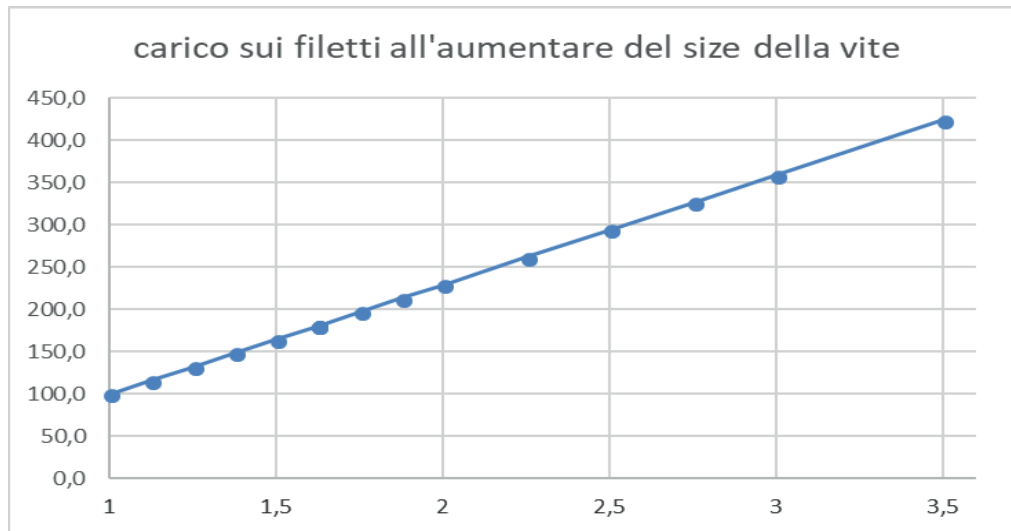


Figura 3

Proviamo a fare un'analisi di ciò che succede tra i filetti di vite e dado, dal precarico al raggiungimento delle condizioni operative di regime ed anche successivamente:

- del precarico applicato, il 70% si concentra sui primi 3 filetti, il 20% circa sul 4 e il 5 filetto e il restante 10% sugli altri filetti. Per quanto si tratti di grosse concentrazioni di carico su pochi filetti, a temperatura ambiente non si rilevano segnali indicativi di quanto potrà succedere nella fase di disserraggio;
- completate le operazioni di precarico, si incomincia ad avviare l'impianto e la temperatura della giunzione aumenta gradatamente (non stiamo considerando gli effetti della pressione);
- con l'aumentare della temperatura il giunto, le aste ed i dadi si dilatano e i carichi di snervamento del materiale dei dadi e delle aste si abbassano;
- laddove, nei componenti coinvolti dall'aumento della temperatura, le sollecitazioni diano origine a stati di tensione pari al valore dello snervamento a tale temperatura, si verificheranno delle deformazioni plastiche con la conseguente modifica della geometria iniziale. Tale situazione si raggiunge proprio nei primi filetti. Si noti che le modificazioni geometriche possono avvenire già nel percorso che porta alla temperatura di regime.

Si aggiunga che, raggiunte le condizioni di regime, il giunto può rimanervi per lungo tempo, anche più di cinque anni. Durante tale periodo, le elevate pressioni di contatto tra i filetti possono dare origine a dei legami sempre più forti che, unitamente a fenomeni di scorrimento, possono creare un unico blocco vite-dado.

Nel momento in cui si dovrà disserrare il giunto, sarà molto probabile osservare che il dado non ruoterà affatto; sono stati osservati casi in cui solo dopo due giorni di esercizio di un giunto a temperatura con bulloneria ASTM A 193 Gr.B16 / l'ASTM A 194 Gr.4, dovendo procedere al disserraggio, per motivi che esulano dalla presente trattazione, tutti i dadi si sono grippati. Ciò è indicativo della influenza veloce dell'effetto della temperatura sulle dinamiche che portano al grippaggio del dado sulla vite.

3. La proposta

Sulla base di quanto finora esposto appare evidente che una soluzione al problema è quella di:

- limitare il precarico da applicare alle aste filettate al valore minimo necessario per assicurare la tenuta alla pressione nelle condizioni di esercizio del giunto;
- distribuire su un maggior numero di filetti il carico trasmesso dalla vite in modo da minimizzare la pressione specifica e limitare la sollecitazione su di essi.

Un modo semplice ed immediato per limitare il precarico è impiegare washers (Fig.4) di materiale e geometria tali da permettere di applicare il carico più agevolmente e migliorarne il mantenimento nel tempo.



Figura 4

Secondo ASME PCC-1, “l’impiego delle washers è un optional. Tuttavia è provato che l’impiego di washers di materiale opportuno migliora la trasmissione del carico sulle aste preservando le superfici delle flange dalle azioni di frizione dei dadi in rotazione, riducendo i fenomeni di rilassamento dovuti agli effetti di incasso del dado sulla superficie delle flange” (Fig.5).



Figura 5

Un corretto dimensionamento delle washers produrrà un effetto positivo sul serraggio in quanto contribuirà a rendere trascurabili, o comunque minimi, gli effetti negativi, purtroppo inevitabili dei giochi tra aste filettate e fori delle flange, che comunque sono necessari per consentire il montaggio dei componenti essenziali del giunto: le aste filettate, i dadi esagonali, le flange del giunto e la guarnizione (il gioco tra asta e foro della flangia è normalmente di 1/8 di pollice, pari a 3,175 mm; il massimo off-set dell’asta rispetto al foro della flangia vale 1/16 di pollice, pari a 1,588 mm).

L’impiego di washers di dimensioni opportune, sempre compatibili con gli standard di progettazione delle flange secondo TEMA (Tubular Exchangers Manufacturers Association) e con gli standard delle flange maggiormente impiegati nelle attrezzature a pressione, ANSI

B16.5, ASME B16.47 etc. etc. comporta la riduzione della pressione specifica sulla superficie della flangia con un incremento medio del 70% della superficie di contatto. Si tratta di una riduzione di pressione significativa, che, oltre a preservare la flangia da frizione diretta del dado esagonale, limita l'effetto locale di incasso (impronta che aumenta nel tempo sotto carico). Inoltre il materiale delle washers ha caratteristiche di resistenza alla frizione molto superiori rispetto a quelle del materiale delle flange e ciò permetterà una regolarizzazione delle condizioni di attrito, favorendo la linearità della relazione "coppia di serraggio – carico sull'asta".

Durante i vari test eseguiti è stato osservato che, durante il serraggio, all'aumentare della pressione specifica tra i filetti di vite e madrevite e tra la faccia del dado e la flangia, o la washer, il coefficiente di attrito aumenta, come se all'aumentare dello sforzo diminuisse l'azione dell'anti seize.

Impiegando le washers si ha una drastica riduzione dell'usura tra dado e superficie su cui esso friziona e di conseguenza il serraggio della giunzione è più rapido, venendo a mancare la profondità di usura talvolta confrontabile con l'allungamento elastico dell'asta filettata.

Bolt size	Washer contact area	Nuts contact area	% increased area
1/2	322	182	77%
5/8	528	288	84%
3/4	679	416	63%
7/8	903	511	77%
1	1.229	679	81%
1 1/8	1.464	870	68%
1 1/4	1.785	1.006	78%
1 3/8	2.148	1.236	74%
1 1/2	2.533	1.489	70%
1 5/8	3.059	1.767	73%
1 3/4	3.424	2.067	66%
1 7/8	3.796	2.391	59%
2	4.435	2.738	62%
2 1/4	5.575	2.816	98%
2 1/2	6.846	3.597	90%
2 3/4	8.247	4.471	84%

Tabella 1

I valori in Tabella 1, riferiti all'area di contatto dei dadi sono solo teorici; in pratica a causa di una spesso scarsa fattura dei dadi che si manifesta con: presenza di uno smusso eccessivo, finitura e rugosità della faccia di contatto non idonea all'impiego (Fig.6), faccia di contatto non perpendicolare all'asse della madrevite, la reazione tra dado e flangia avviene con modalità peggiorative rispetto al teorico.



Figura 6

Per ovviare a quanto è utile migliorare la superficie di appoggio del dado lavorandolo alle macchine utensili al fine di eseguire una finitura superficiale più liscia ed uniforme e nel contempo per eliminare lo smusso presente al suo interno ed avere certezza dell'ortogonalità tra asse della filettatura e superficie di appoggio del dado (Fig.7).



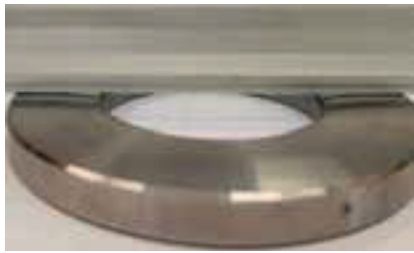
Figura 7

Riepilogando, l'utilizzo di dadi di buona fattura, o eventualmente resi tali, e l'impiego delle washers danno un sensibile contributo a limitare il fenomeno del grippaggio poiché permettono di applicare un carico di serraggio più basso (riduzione dell'effetto di incasso) e nel contempo un carico più regolare (regolarizzazione delle condizioni di attrito).

L'altra azione da intraprendere per evitare il grippaggio tra dado e tirante a parità di carico di trazione è quella di abbassare la pressione specifica che nasce tra i filetti di dado e tirante. Il modo più intuitivo per far questo è quello di ripartire il carico scambiato tra più filetti possibili ricercando modifiche e migliorie geometriche di dadi e/o washers e verificandone la combinazione migliore al fine di variare le reazioni vincolari e il conseguente stato tensionale.

La prima operazione da eseguire è quella di tornire la base di appoggio dei dadi garantendo, oltre ai benefici per il serraggio già citati derivanti dal miglioramento della finitura superficiale e della conseguente riduzione del coefficiente di attrito, anche una superficie perfettamente piana che permette di sollecitare uniformemente il dado con forze prettamente assiali che evitino l'insorgere di stati tensionali non controllati ed indesiderati.

Un'altra modifica che può essere adottata è quella di variare la geometria delle Washers costruendole con la superficie di contatto con la flangia perfettamente piana e la superficie di contatto con il dado con un profilo concavo inclinato di 1° – 2° gradi (Fig.8) L'intento è quello di generare per reazione dei momenti sul dado al fine di scaricare la base del dado e ripartire il carico di trazione, conseguente all'applicazione della coppia di serraggio, su un numero maggiore di filetti estendendolo quindi anche a quelli della zona superiore del dado, abbassando così la pressione specifica che nasce tra i filetti di asta e dado.



Sez. Washer Concava

Figura 8

Infine un'ulteriore miglioria si ottiene modificando la geometria dei dadi, asportando per tornitura i primi 3 filetti (circa 10 mm) della madre vite (Fig.9). Questa modifica viene fatta in modo che la inevitabile deformazione che nasce per la compressione del dado sulla superficie della flangia, o washers se presente, non va ad aumentare la pressione specifica tra i primi filetti conseguentemente all'applicazione del carico di serraggio.

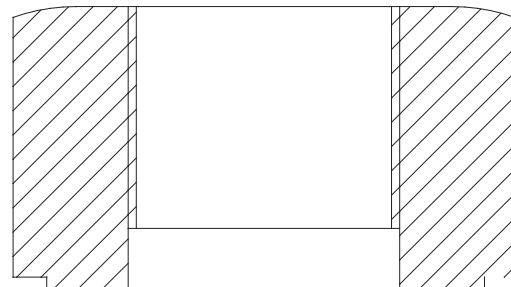
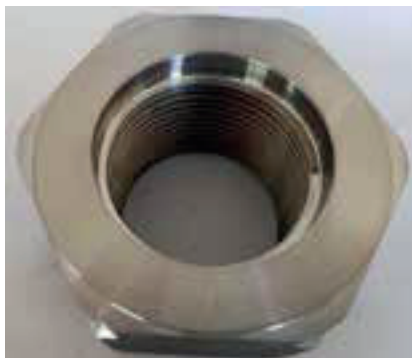


Figura 9

4. Applicazioni e Conclusioni

Per la verifica di quanto illustrato si è proceduto ad eseguire dei test di serraggio in laboratorio avvalendosi di un simulacro (Fig.10) per emulare un accoppiamento flangiato e utilizzando chiavi a controllo di coppia, strumenti di misura centesimali e anche un forno in modo da introdurre nelle prove eseguite anche il parametro temperatura che dalle esperienze operative fatte è risultato essere il fattore più critico per l'innescò del grippaggio tra filettatura del dado e tirante.



Figura 10

Per tutte le prove si è scelto di impiegare dadi con la superficie di appoggio lavorata alle macchine utensili in modo da evitare influenza nei risultati derivati dalla differente fattura degli stessi. La bulloneria impiegata è 2" 8UN, B16 per le aste e Gr.4 per i dadi.

Per la prima prova sono state impiegate Washers piane inserite tra dado e flangia, si è eseguita la corretta lubrificazione dei filetti e delle superfici soggette a strisciamento per rotazione e quindi si è proceduto al serraggio aumentando gradualmente la coppia applicata fino ad arrivare al valore di 5900 Nm; con tale valore di coppia, per le caratteristiche dei tiranti in prova e nell'ipotesi di coefficiente di attrito pari a 0,14, valore comunemente impiegato nella pratica corrente, teoricamente si origina sulla sezione di nocciolo del tirante la tensione di 345 N/mm².

Dal rilievo degli allungamenti dei tiranti sotto carico e sulla base della lunghezza efficace è stato calcolato che l'effettiva tensione trasferita ai tiranti è pari a 400 N/mm² corrispondente ad un incremento di circa il 16%; tale aumento è imputabile all'aver ipotizzato un coefficiente di attrito maggiore di quello effettivo e che in base ai valori ricavati può essere stimato essere pari a 0,12.

Si ha pertanto conferma di quanto ipotizzato e cioè con l'impiego delle washers si ha una sostanziale riduzione dell'attrito tra dado e superficie su cui esso friziona e conseguentemente minore usura delle superfici a contatto, così come si è potuto verificare dopo il disserraggio e a seguito dell'ispezione visiva delle stesse.

Sulla base delle osservazioni fatte si è eseguita un altro test impiegando bulloneria nuova e washers piane nuove, limitando il carico trasferito ai tiranti per mezzo di un incremento graduale della coppia e procedendo di volta in volta al rilievo degli allungamenti subiti dai tiranti, fino a raggiungere l'allungamento di 0,29 mm, che corrisponde ad una tensione effettiva di 300 N/mm². Per ottenere tale tensione è stato necessario applicare la coppia di 4300 Nm valore che dà ulteriore conferma del coefficiente di attrito di 0,12.

Eseguito il serraggio si è posto il simulacro in forno e lo si è mantenuto alla temperatura di 470°C per 48 ore; quindi, fatto raffreddare a temperatura ambiente, si è proceduto al disserraggio, durante il quale si sono verificati dei minimi impuntamenti tra dado e tirante. Da una attenta osservazione delle filettature si sono evidenziate delle piccole irregolarità nei primi filetti dei dadi sui quali si era applicata direttamente la coppia: tali zone di filettatura parzialmente alterata rappresentano i potenziali punti di innesco per il grippaggio, al quale si sarebbe con molta probabilità arrivati applicando un carico superiore o prolungando l'esposizione ad alta temperatura.

Con la stessa modalità di applicazione del carico, tensione di 300 N/mm², allungamento dei tiranti di 0,29 mm e stessa esposizione ad alta temperatura, si sono testate le washers concave con inclinazione di 2°. Trascorse 48 ore alla temperatura di 470°C e dopo il raffreddamento a temperatura ambiente si è proceduto al disserraggio che è avvenuto senza impuntamenti né grippaggi; dal controllo della filettatura di dadi e tiranti non è emerso alcun difetto e provando ad avvitare manualmente i dadi scorrevano liberamente sui tiranti. Si è ripetuta la prova con la medesima procedura ma montando washers piane e dadi con i primi 3 filetti scaricati. Anche in questa circostanza al disserraggio non si sono verificati problemi di grippaggio e la filettatura di tiranti e dadi è rimasta integra.

Una ultima prova è stata eseguita utilizzando tiranti e dadi già precedentemente impiegati ed adottando su un tirante washers coniche con dadi piani e sul secondo tirante washers coniche con dadi scaricati. La fase di serraggio è rimasta invariata e, applicando una coppia di 4300 Nm, si sono confermati gli allungamenti di circa 0,29 mm. Con questo test si è voluto evidenziare quanto può incidere una esposizione prolungata ad alta temperatura sui risultati ottenuti; pertanto il provino preparato e serrato come su descritto è stato tenuto in forno alla temperatura di 470°C per 10 giorni al termine dei quali, una volta raffreddato, è stato disserrato con modalità e risultati del tutto analoghi alle prove precedenti: coppia di distacco circa 6000 Nm, nessun difetto tra la filettatura e nessun principio di grippaggio, nessuna evidenza di segni di frizione ed usura sulla superficie delle washers.

I test condotti hanno dato evidenza pratica degli indubbi vantaggi che si hanno per il serraggio e la buona conservazione di bulloneria e flange grazie all'uso delle washers che,

oltre a preservare le superfici delle flange dalle azioni di frizione dei dadi in rotazione, offrendo una superficie di appoggio per il dado più ampia e uniforme, permettono di ridurre i fenomeni di rilassamento nel tempo dovuti agli effetti di incasso del dado sulla superficie delle flange; questo inoltre consente di limitare il carico necessario al serraggio e conseguentemente ridurre il rischio di grippaggio tra dado e tirante causato da una eccessiva pressione specifica tra i filetti.

Nei casi più severi in cui l'elevata temperatura gioca un ruolo determinante nel ridurre la tensione di snervamento della bulloneria, favorendo l'insorgere di deformazioni plastiche e fenomeni di scorrimento viscoso e causando il grippaggio del dado sul tirante, il solo impiego delle washers può non essere sufficiente a prevenire tale fenomeno.

I risultati ottenuti dalle prove eseguite hanno dato riscontro che l'impiego di washers realizzate con la superficie di appoggio concava riesce a modificare lo stato tensionale dei dadi distribuendo il carico su più filetti, riducendo così la pressione specifica tra i primi filetti ed evitando l'insorgere sotto carico di deformazioni permanenti causa del grippaggio in fase di disserraggio.

A risultati analoghi si è arrivati anche con l'impiego di dadi ai quali vengono rimossi i primi 3 filetti: in questo caso la logica adottata è quella di evitare l'influenza sui primi filetti in presa della deformazione di compressione che nasce alla base del dado.

Combinando le due soluzioni su descritte si migliora ulteriormente la distribuzione dei carichi sul dado aumentando considerevolmente la possibilità di evitare il fenomeno del grippaggio ad alta temperatura e il deterioramento della bulloneria, rendendola riutilizzabile per un successivo impiego.

5. Bibliografia

- [1] ASME PCC1 Guidelines for pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly
- [2] ASME Boiler and Pressure Vessel Code" Section II Part.A
- [3] ASME B 16.5 Pipe flanges and flanged fittings
- [4] ASME B 16.47 Large Diameter Steel flanges
- [5] TEMA Tubular Exchanger Manufacturers Association