

Calcolo del volume di gas necessario per il lavaggio dei forni ad atmosfera controllata

E. Gianotti

Una domanda, peraltro molto semplice, che può però mettere in crisi un trattamentista durante l'elaborazione di un ciclo termico in un forno che deve avere un'atmosfera protettiva per i pezzi da trattare, riguarda il numero di ricambi di atmosfera di lavaggio che si devono fare per avere l'atmosfera sufficientemente pura.

In altre occasioni è indispensabile invece sapere quanti lavaggi sono necessari per purgare un crogiolo dall'aria iniziale e rendere sicura l'introduzione di un gas che può essere esplosivo come ad esempio l'idrogeno.

Esistono tabelle che riportano i limiti di infiammabilità ed i rischi di esplosione di alcuni gas e miscele comunemente usati nei trattamenti termici, per cui conoscere esattamente i numeri di ricambi necessari per ottenere concentrazioni appena al disotto di tali limiti può costituire un motivo di risparmio nella conduzione degli impianti.

Nella tabella 1) sono riportati i limiti di infiammabilità di alcuni gas alla pressione atmosferica e nel diagramma ternario di fig. 1) sono indicati i limiti di esplosività dell'idrogeno in una miscela di O_2-N_2 . Una regola empirica che si è affermata negli anni ed è ormai tacitamente accettata a livello industriale, dice che sono necessari cinque cambi di volume per un forno a camera o per un forno a storta, di un gas (o di una miscela di gas) con un altro gas (o miscela di altri gas) per avere un lavaggio sufficiente.

Normalmente il gas di lavaggio è azoto, che serve ad eliminare l'ossigeno dell'aria contenuta nel forno prima di introdurre un gas combustibile, o viceversa, per eliminare un gas combustibile prima di fermare un forno.

Un esempio pratico può essere la brasa-

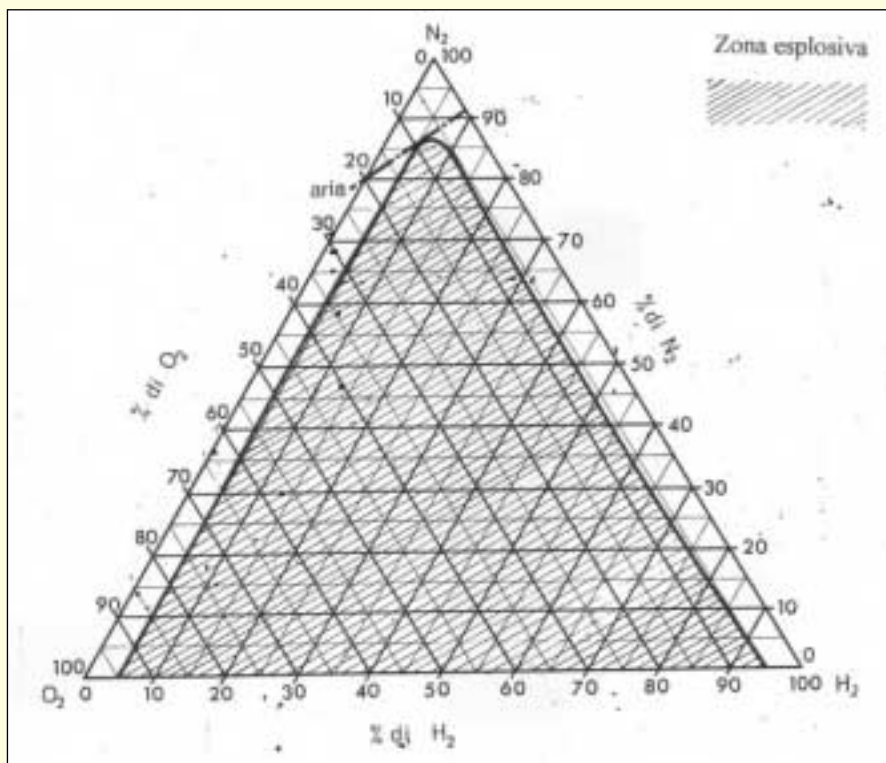


Fig.1 - Diagramma ternario sui limiti di esplosività dell' H_2 in una miscela di O_2 e N_2 .

tura con rame di elementi di acciaio inossidabile in un forno a campana con storta di acciaio refrattario, che viene fatta in ambiente di idrogeno secco. All'inizio del ciclo bisogna lavare la storta contenente i pezzi da brasare con un flusso di azoto fino all'eliminazione dell'aria, poi cominciare ad introdurre idrogeno. Solo a questo punto si può abbassare la campana del forno ed iniziare il riscaldamento. E' necessario quindi per evitare un'esplosione, essere sicuri che non esista più l'ossigeno iniziale contenuto nell'aria che, a contatto con l'idrogeno in-

trodotto, può sotto l'effetto della temperatura iniziare una combustione con conseguente deflagrazione.

E' possibile oggi rendere sicura ed automatica questa operazione con l'uso di un analizzatore di ossigeno e, volendo, accelerarla con l'uso di una pompa a vuoto.

Esiste una norma americana, la "NFPA 86C, Standard for Industrial Furnaces Using a Special Processing Atmosphere" che definisce lavaggio o spurgo di un forno l'operazione di sostituzione di un'atmosfera infiammabile o contenente

GAS	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	XX
CH ₄	/... /	.../										645°C
C ₃ H ₈	/.../											510°C
CO		/...../				410°C
H ₂	/...../				530°C
ENDOGAS	/...../				

Elio Gianotti
Trattamenti Termici Ferioli & Gianotti, Rivoli To

Tab 1 . Limiti di infiammabilità in aria alla pressione atmosferica dei gas indicati e nella colonna XX relative temperature d'accensione.

un'alta quantità di ossigeno, con un'atmosfera inerte non infiammabile che contenga meno del 50% del livello minimo del gas infiammabile che può ancora provocare esplosione (<50% LEL: Lower Explosion Limit) oppure meno dell' 1% di ossigeno. La procedura normalmente usata per controllare che l'atmosfera sia stata sufficientemente lavata, prevede un prelievo di gas dall'interno della storta che viene analizzato con un analizzatore di ossigeno ed il lavaggio continua fino a quando almeno due letture dell'analizzatore confermano che l'ossigeno è al disotto dell'1%. L'alternativa a questo metodo è collegare la storta a tenuta con una pompa del vuoto ed estrarre l'aria fino ad una pressione parziale di circa 1 mbar, poi riempire la storta con gas inerte. Con questo metodo la quantità di O₂ residuo nell'atmosfera così trattata sarà di circa 21/1000=0,021%.

Purtroppo però esistono ancora molti impianti vecchi che non sono dotati di analizzatore ad O₂ o pompe a vuoto ed in questo caso bisogna usare la vecchia regola dei cinque ricambi di atmosfera, pur se permane il dubbio che siano sufficienti per la sicurezza o eccessivi per l'economia del processo.

Per avere una tranquillità in più si può in questo caso ricorrere alla matematica ricercando analiticamente la relazione che lega il numero di ricambi del gas di lavaggio con la concentrazione finale del gas iniziale. Si dovrà in questi casi partire da una serie di dati sperimentali per ricavare una curva su un diagramma cartesiano, che riporti sulle ordinate la concentrazione finale del gas da eliminare e sull'asse delle ascisse il numero dei ricambi.

La più importante delle condizioni sperimentali da rispettare al fine di garantire l'attendibilità e la ripetibilità dei dati, è la omogeneità della miscela del gas di lavaggio con quello iniziale. Per ottenere questo è necessario avere una buona agitazione dell'atmosfera all'interno della storta.

Non sempre i forni sono dotati di ventilatori all'interno delle camere da lavare e in questo caso la tendenza del gas di lavaggio è di stratificare verso l'alto se è più leggero del gas da eliminare e viceversa. Il problema è facilmente risolvibile facendo entrare dall'alto il gas di lavaggio se è più leggero e facendo uscire dal basso il gas da spurgare. Viceversa nel caso opposto. Con questo artificio si potrà continuare ad usare la relazione matematica consapevoli che i calcoli saranno approssimati per eccesso di sicurezza.

Il diagramma di fig. 2 rappresenta la curva ricavata sperimentalmente che lega il numero di ricambi del gas di lavaggio con la concentrazione finale del gas

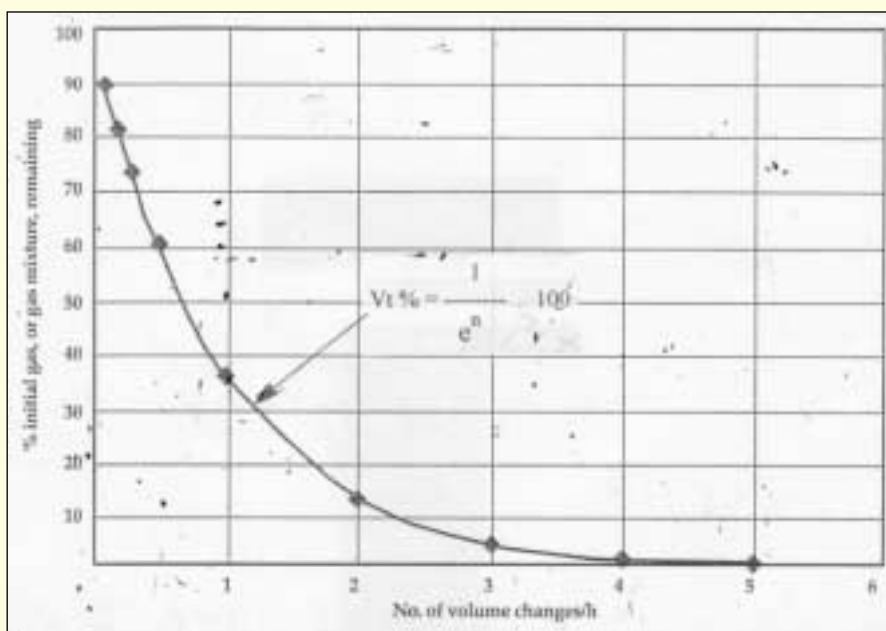


Fig. 2 - Curva della diminuzione della concentrazione del gas iniziale dopo il numero di lavaggi indicati in ascissa.

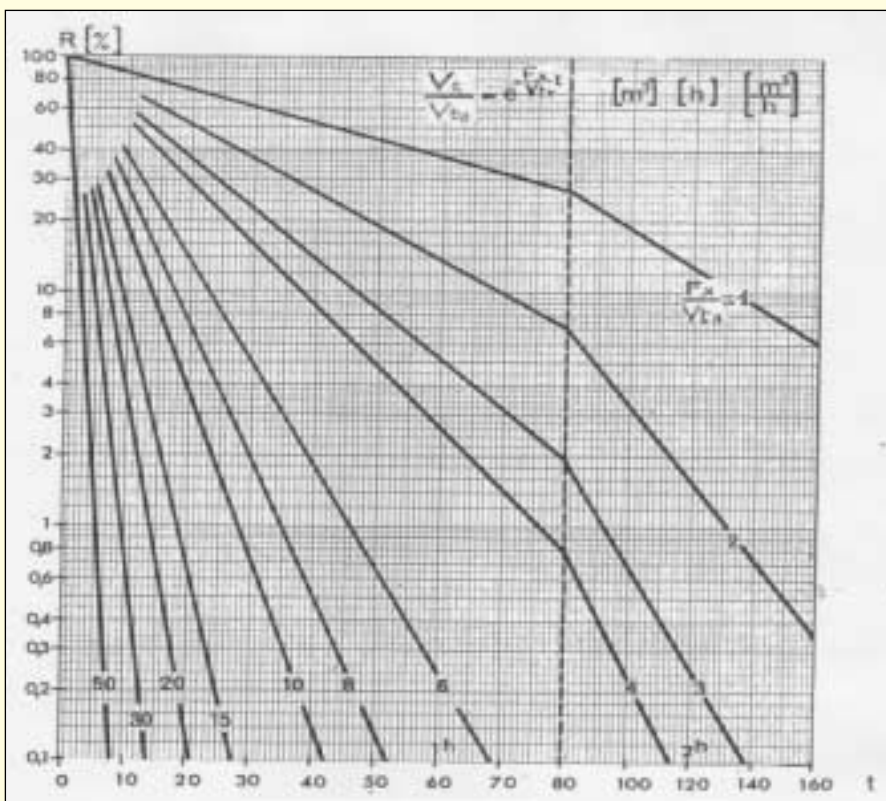


Fig. 3 - Diagramma logaritmico delle concentrazioni residue del gas iniziale al tempo t, dopo lavaggio con il numero di ricambi ora indicati nelle varie curve.

da eliminare. La curva è chiaramente quella di una equazione esponenziale che corrisponde con buona approssimazione all'equazione

$$y = e^{-x}$$

Ponendo i simboli dei parametri che entrano in gioco come segue:

Vt = volume in m³ del gas iniziale che ancora rimane nella camera del forno dopo il tempo t di lavaggio in h

Vt₀ = volume della camera del forno da lavare in m³

Fx = flusso del gas di lavaggio in m³/h

t = tempo di lavaggio in h

$$1) n = \frac{Fx \cdot t}{Vt_0}$$

numero dei ricambi del gas di lavaggio. L'equazione esponenziale si potrà ora esprimere con i simboli sopra elencati .

2) $V_t = V_{t_0} \cdot e^{-n}$

La variazione di volume del gas iniziale in funzione del tempo, o meglio, la velocità della sua diminuzione, sarà dato dalla equazione differenziale

3) $\frac{dV_t}{dt}$,

sostituendo V_t con la 2) si ottiene

4) $V_{t_0} \cdot \frac{d e^{-n}}{dt}$

la cui derivata è

$D_{no} (V_{t_0} \cdot e^{-n}) = V_{t_0} \cdot e^{-n \cdot 0}$

ricavando l'integrale si otterrà la relazione matematica che lega il numero dei ricambi di gas n con la concentrazione finale del gas da eliminare.

5) $V_t = \int_0^t e^{-n} \cdot dt$

oppure sostituendo la n con la 1)

Numero di lavaggi	Volume di gas residuo su un mc di gas iniziale	% di gas iniziale rimasto dopo il numero di lavaggi indicato
0,1	0,9048	90,48
0,2	0,8187	81,87
0,3	0,7408	74,08
0,5	0,6065	60,65
1,0	0,3679	36,79
2,0	0,1353	13,53
3,0	0,0498	4,98
4,0	0,0183	1,83
5,0	0,0067	0,67

Tabella 2. Volume di gas residuo dopo il numero di lavaggi indicato

$$V_t = \int_0^t \frac{1}{e^{\left(\frac{F_x \cdot t}{V_{t_0}}\right)}} \cdot dt$$

Risolvendo l'integrale, ponendo uguale a 1 mc V_{t_0} si ottiene la tabella 2 che dà i mc di gas residuo dopo n lavaggi. Multi-

plcando per 100 i valori si ottengono le relative concentrazioni % del gas iniziale al variare del tempo e del n° di ricambi per ora del gas di lavaggio.

Il diagramma di fig. 3 riporta su scala logaritmica la variazione residua del gas iniziale dopo un tempo t di lavaggio con il numero di ricambi riportato sulle curve relative.

la metallurgia italiana

La Metallurgia Italiana pubblica in lingua italiana o inglese memorie originali ed inedite che si riferiscano a lavori a carattere sperimentale o teorico concernenti i metalli ferrosi e non ferrosi ed altri materiali di interesse per applicazioni strutturali e funzionali e che siano rivolti a varie aree metallurgiche: fisica, chimica e meccanica. Rassegne critiche pertinenti ad argomenti specifici sono pure di interesse per la rivista. Gli autori sono sollecitati a presentare i loro articoli in una forma concisa e comprensibile agli specialisti dei materiali e non solo agli addetti ai lavori chiamati in causa nei singoli testi. I rapporti interni di laboratorio non sono presi in considerazione senza una profonda ed accurata revisione.

NORME PER GLI AUTORI

Il testo deve essere inviato alla segreteria di redazione (met.aim@aimnet.it) o ad uno dei membri del comitato scientifico della rivista e deve essere redatto in modo da non superare 18.000 battute.

Il testo non deve essere impaginato. I riferimenti a scopo commerciale (sigle, ragioni sociali, nomi di fabbrica) dovranno essere evitati. I lavori pubblicati porteranno l'indicazione della data di arrivo in redazione.

Titolo. Ogni manoscritto deve presentare un titolo in edizione bilingue (italiano ed inglese), corredato dal nome degli autori e dell'ente di appartenenza. Le memorie devono essere accompagnate sempre da un breve riassunto (150-200 parole), che illustri gli scopi del lavoro e ne riassume le conclusioni.

Abstract. Il testo deve essere corredato da una sintesi in inglese (o in italiano, se la memoria è in inglese) di circa 3 cartelle (600-800 parole) dattiloscritte, possibilmente con eventuale citazione delle figure e delle tabelle.

Tabelle e figure. Le figure, in numero non superiore a 12, vanno eseguite in modo che risultino leggibili i caratteri, l'intensità delle linee, i dati, ecc.) con la stampa in bianco e nero. Le figure vanno disegnate o ottenute su fogli bianchi o lucidi con trasferibili, oppure con il computer.

Nel caso di documentazione fotografica, si intende per figura una sola micrografia e non una tavola con più micrografie. Le indicazioni degli ingrandimenti vanno inserite all'interno delle micrografie stesse. Le fotografie a colori verranno pubblicate solo se indispensabili alla comprensione del testo e a spese dell'autore.

Le figure e le tabelle vanno ordinate secondo la numerazione araba. Le didascalie di tutte le figure, in edizione bilingue (italiano e inglese) vanno allegate su foglio separato e non inserite sotto la figura stessa. Le didascalie delle tabelle, sempre in edizione bilingue, vanno inserite ciascuna sopra la tabella di appartenenza e devono essere comprensibili anche senza consultare il testo. I dati numerici riportati sui diagrammi non devono essere ripetuti nelle tabelle.

Per tutte le caratteristiche misurabili, gli Autori devono servirsi del Sistema Internazionale Unità SI (tabelle CNR-UNI 10003, 1974).

Bibliografia. La bibliografia va riportata su fogli separati, nello stesso ordine di citazione del testo, seguendo questi esempi:

[1] H. Night, «New strong aluminium alloy», *Materials & Methods*, n. 1, 1974, pp. 312-321.

[2] G. Kortum and Y. Cin, *Lehrbuch der Elektrochemie*, 3rd ed., Verlag Chemie GmbH, Weinheim, 1962, pp. 31-39.

Correzione. La correzione delle bozze dovrà essere limitata alla semplice revisione tipografica; non sono ammesse modifiche rispetto al testo originale.

Estratti. Gli Autori potranno acquistare copie degli estratti direttamente dall'editore; l'ordine dovrà pervenire prima della stampa della rivista.

* * *

La corrispondenza deve essere indirizzata a: «La metallurgia italiana», c/o AIM

P.le R. Morandi 2 - 20121 Milano, tel. 02 76021132 - 02 76397770, telefax 02 76020551, e-mail: met.aim@aimnet.it