

POMPE DI VUOTO PER IMPIANTI DI DEGASAGGIO D'ACCIAIO

W. Burgmann - S. Panza

Da molti anni negli impianti di degasaggio degli acciai in vuoto sono impiegate due tipi di pompe, gli eiettori di vapore e le pompe meccaniche secche del tipo ROOTS.

Gli eiettori di vapore sono trasportatori di gas ricco di polvere. Purtroppo l'esperienza industriale ha dimostrato che il trasporto di gas non filtrato produce dei depositi che diminuiscono la capacità aspirativa, obbliga a frequenti interventi di pulizia e allo smaltimento del residuo come rifiuto speciale pericoloso.

La capacità aspirativa normalmente riscontrata più alta negli impianti ad eiettori di vapore, rispetto ad altre soluzioni poi di seguito illustrate, è dovuta al sovradimensionamento dell'impianto necessario a compensare la quantità di polvere contenuta nei gas e l'ostruzione dovuta ai depositi da essa generati.

Le pompe meccaniche sono invece trasportatrici di volume di gas preventivamente filtrato e non sono influenzate dalle condizioni climatiche e dalla densità del gas, purché questo sia esente da polvere e sia sufficientemente freddo. A tal fine sono previsti dei sistemi molto efficienti d'abbattimento della polvere, come i cicloni, i filtri a maniche e gli scambiatori di calore. Le pompe meccaniche richiedono poco spazio e offrono la disponibilità istantanea del vuoto. Grazie alla filtrazione preventiva delle polveri contenute nei gas, esse mantengono le loro caratteristiche costanti nel tempo e hanno un costo operativo molto più basso rispetto agli altri sistemi di degasaggio.

La potenza elettrica installata, i consumi d'energia e dei fluidi sono inferiori rispetto a quanto richiesto dalla tecnologia degli eiettori di vapore, come pure la manutenzione richiesta.

PAROLE CHIAVE: acciaio, decarburazione, affinazione, acciaieria, impianti e attrezzature, tecnologie, qualità

INTRODUZIONE

La crescita della siderurgia italiana è certamente connessa all'impegno che le aziende nazionali hanno profuso nella ricerca della migliore qualità di sistema e prodotto a costi totalmente competitivi, se comparati a quelli dei principali attori internazionali.

La qualità di prodotto, non solo nelle grosse dimensioni (lingotti), ma anche nelle più modeste della colata continua si è realizzata contenendo sempre più i valori sia dei quantitativi di particelle non metalliche che dei gas disciolti in soluzione, quali l'ossigeno, l'azoto e specialmente l'idrogeno.

Per ottenere questi risultati da molti anni s'impiegano impianti di degasaggio dell'acciaio che utilizzano due tipi di pompe di vuoto, gli eiettori di vapore e le pompe meccaniche secche del tipo ROOTS.

Nella relazione vengono illustrate le caratteristiche di queste due tipologie di pompe che, pur raggiungendo il medesimo scopo, sono profondamente differenti tra loro, nel disegno e nel funzionamento.

ANALISI DEI DUE TIPI DI POMPE PER VUOTO

Per il degasaggio sotto vuoto degli acciai sono stati sviluppati negli ultimi 40 anni impianti che utilizzano due tipi di pompe: eiettori di vapore e pompe meccaniche.

Entrambe le soluzioni sono utilizzate nei processi così detti "statici", dove l'intera massa liquida contenuta in una siviera, o in un piccolo convertitore, è sottoposta al vuoto durante l'intera durata del ciclo di trattamento.

I processi "statici" sono così denominati:

VD Vacuum Degassing (adatto per acciai calmati);

VMD Vacuum Metal Distillation;

VCD Vacuum Carbon Deoxidisation;

VOD Vacuum Oxygen Decarburisation;

mentre i processi "dinamici" sono così denominati:

VIT Vacuum Ingot Teeming

VCP Vacuum Circulation Process.

Essendo gli eiettori di vapore e le pompe meccaniche molto differenti nel loro concetto applicativo e funzionale è importante che si analizzi attentamente il processo di degasaggio dell'acciaio sotto vuoto e che si adattino le pompe alle esigenze del processo.[1][4].

Le pompe meccaniche sono "trasportatrici di volume", in altre parole la loro capacità volumetrica è indipendente della densità dei gas.

Gli impianti costituiti da pompe meccaniche sono progettati per operare secondo soglie progressive di pressione (stadi), così da limitare il riscaldamento delle pompe,

Wilhelm Burgmann

MTAG MARTI - TECHNOLOGIE AG, Emmenbrücke / Svizzera

Silvano Panza

ASO Siderurgica S.r.l., Ospitaletto (BS)

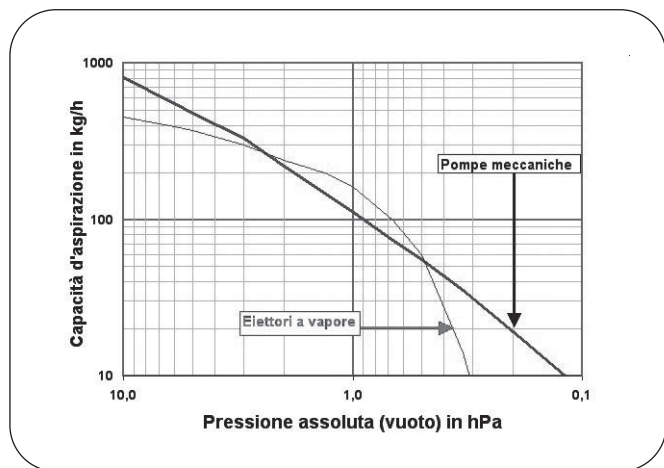


Fig. 1

Capacità d'aspirazione offerta da pompe meccaniche e da eiettori di vapore.

Suction capacity as offered by mechanical pumps and steam ejectors.

minimizzare la potenza elettrica assorbita e conservare una grande capacità aspirativa alle minime pressioni (0.7 - 0.1 hPa).

Questi impianti possono evacuare rapidamente grandi volumi di gas senza difficoltà, in modo da rendere possibile i processi ad alta portata di massa quali VCD, VOD e VCP, oltre ovviamente il meno impegnativo VD.

Nel campo della bassa pressione (5 - 0,5 hPa), la capacità d'aspirazione è costante in termini di portata in volume e lineare in termini di portata in massa. (Fig. 1)

Se abbinate a convertitori di frequenza (inverter), le pompe meccaniche possono adeguare il loro flusso aspirativo a quello più idoneo alla gestione dei periodi critici del processo di degassaggio, come quella del rigonfiamento della scoria.

L'impianto che utilizza pompe meccaniche, per preservarle dall'usura della polvere contenuta nei fumi aspirati, deve prevedere un dispositivo (filtro a maniche) d'abbattimento delle stesse che sia efficiente, affidabile ed installato a monte del gruppo di pompaggio, nonché l'inserimento in alcuni stadi di scambiatori di calore intermedi.

I costi operativi sono bassissimi e basati essenzialmente sul consumo d'energia elettrica che rimane inferiore a 1,5 kWh/t d'acciaio liquido trattato in siviera da 30 a 120 t.

Gli eiettori di vapore sono "trasportatori di massa" nei quali il vapore surriscaldato funge da gas motore, poiché il trasporto è indotto dal trasferimento dell'energia del vapore alle molecole del gas aspirato ed alle particelle di polvere ed è differenziato a seconda delle diverse specie chimiche presenti.

I gas leggeri, come l'idrogeno, assorbono meno energia dal vapore rispetto ai gas più pesanti quali l'anidride carbonica o l'Argon.

Le particelle di polvere si comportano in modo analogo a molecole gassose molto pesanti che assorbono parecchia energia dal vapore trasportatore. [2][3]

Gli impianti sono progettati a 4-6 stadi di pressione secondo il rapporto di compressione desiderato e secondo la temperatura dell'acqua di qualità industriale necessaria per i condensatori di vapore intermedi.

Maggiore è la temperatura dell'acqua più elevato è il numero degli stadi, con una temperatura ammissibile di 35 °C.

Maggiore è il numero degli stadi inferiore sarà il consumo di vapore.

L'ultimo stadio d'alta pressione che comprime da 100 hPa assoluto all'atmosfera, è di preferenza realizzato da una pompa ad anello liquido (PAL) così da diminuire il consumo di vapore.

In un impianto ad eiettori di vapore la capacità d'aspirazione in termini di flusso di massa non è né lineare né continua. Ogni stadio è concepito per operare ad una pressione precisa, oltre la quale il flusso di massa aumenta soltanto leggermente e sotto la quale scende rapidamente.

Per ragioni termodinamiche gli stadi di bassa pressione (< 40 hPa) non possono essere attrezzati con condensatori intermedi. Così l'eiettore che opera tra gli stadi a pressione maggiore deve essere in grado di trasportare anche il vapore dell'eiettore che lo precede e opera a pressione inferiore e questo determina, come già detto, una sovracapacità impiantistica.

Durante l'evacuazione, non appena gli eiettori di bassa pressione sono messi in marcia, la capacità d'aspirazione sale di colpo, poiché gli eiettori tra gli stadi d'alta pressione sono dimensionati per trasportare anche il vapore degli stadi di bassa pressione non ancora inseriti.

Questo fenomeno si presenta ad una pressione critica sotto 50 hPa, quando la maggior parte delle reazioni metallurgiche di degassaggio hanno inizio, principalmente in acciai semi-calmati, in acciai inquinati da metalli volatili come Zn e Pb e quando le scorie iniziano a diventare schiumose. Durante il degassaggio, al fine di limitare gli spruzzi con conseguenti fuoriuscite d'acciaio e di scoria dalla siviera, gli eiettori di bassa pressione devono essere attrezzati per ricevere un'immissione d'aria, di vapore o di gas di scarico, affinché in questo periodo critico la pressione di vuoto possa essere mantenuta costante fino all'esaurimento delle reazioni violente.

Nella fig. 1 sono mostrate sinteticamente le capacità d'aspirazione, in termini di flusso di massa, per il degassaggio sotto vuoto dell'acciaio per fusioni di 70 - 100 tonnellate:

- a) con eiettori di vapore attrezzati con ciclone per l'abbattimento di polvere,
- b) con pompe meccaniche ROOTS attrezzate con un filtro a maniche.

La maggiore capacità d'aspirazione che si riscontra in tanti impianti dotati d'eiettori di vapore rispetto a quelli con pompe meccaniche, è dovuta a tre ragioni essenziali:

- la maggiore quantità di polvere residua da trasportare (da +15 a +25 kg/h),
- la riserva di portata volta a compensare le perdite dovute all'ostruzione (da +25% a +50 %),
- il dimensionamento maggiore della portata per ottenere il medesimo livello di vuoto a basse pressioni raggiunto con le pompe meccaniche.

A queste ragioni si aggiunge, in tanti casi, la disponibilità quasi gratuita del vapore.

IL PASSATO ED IL FUTURO

I primi impianti di degassaggio sotto vuoto realizzati negli anni '50 e '60 del secolo scorso erano tutti attrezzati con pompe meccaniche ROOTS. Lo sviluppo impiantistico

Anno	Cliente	Paese	Processo	Peso	Capacità	Prodotto
2000	COST	Romania	VD	14 t	40 000 m ³ /h	Barre di qualità
2002	MMZ / Rybnitz	Moldavia	VD/VOD	90 t	96 000 m ³ /h	Barre di qualità
2001	ORI - MARTIN	Italia	VD/VOD	75 t	96 000 m ³ /h	Barre di qualità
2003	Peugeot SA	Francia	VMD	14 t	12 000 m ³ /h	Ghisa
2003	ASO Siderurgica	Italia	VD	42 t	44 000 m ³ /h	Lingotti per forgia
2003	CUG	Romania	VD, VIT	65 t	80 000 m ³ /h	Lingotti per forgia
2004	Von Moos Stahl	Svizzera	VD	75 t	100 000 m ³ /h	Barre di qualità
2004	Lechstuhlwerke	Germania	VD	90 t	120 000 m ³ /h	Barre di qualità
2006	ASO Siderurgica	Italia	VD,VCD	53 t	50 000 m ³ /h	Lingotti per forgia
2006	KROMAN	Turchia	VD	100 t	120 000 m ³ /h	Barre di qualità
2006	KARDEMIR	Turchia	VD	90 t	115 000 m ³ /h	Barre di qualità
2006	Acciaierie Venete	Italia	VD	85 t	117 000 m ³ /h	Barre di qualità
2006	Asil Celik	Turchia	VD	70 t	80 000 m ³ /h	Barre di qualità
2007	TSW	Germania	VD	50 t	80 000 m ³ /h	Barre di qualità
2007	Azovmasch	Ukraina	VD	60 t	86 000 m ³ /h	Lingotti per forgia

Tab. 1

Impianti recenti di degassaggio d'acciaio sotto vuoto con uso di pompe meccaniche.

Recent vacuum steel degassing plants using mechanical pumps.

degli eiettori e la disponibilità di vapore, quasi gratuita in molte grandi acciaierie a ciclo integrale, permisero di ottenere delle capacità d'aspirazione assai elevate ($> 475 \text{ kg/h}$ o $> 600.000 \text{ m}^3/\text{h}$ a $0,67 \text{ hPa}$) non raggiungibili all'epoca con pompe meccaniche. Queste ultime continuavano nonostante tutto ad essere richieste dal mercato ogni qualvolta si presentava un vincolo nell'approvvigionamento del vapore, nella qualità dell'acqua per l'alimentazione della caldaia, nell'altezza del capannone, nei limiti d'emissione, nei vincoli allo smaltimento del fango prodotto, ecc. La capacità d'aspirazione delle pompe meccaniche era comunque sempre in grado di soddisfare le seguenti esigenze:

- Evacuazione rapida dalla pressione atmosferica.
 - Operazione VOD o VODC fino a $15 \text{ m}^3 \text{ O}_2/\text{min}$ fra 150 e 50 hPa .
 - Operazione VCD e VD d'acciai semi - calmati fra 50 e 5 hPa .
 - Operazione VD a pressione bassissima fra 5 e $0,5 \text{ hPa}$.
- Infatti, in un primo tempo le pompe meccaniche, con capacità d'aspirazione fino a $96 000 \text{ m}^3/\text{h}$, erano utilizzate nei processi dinamici come Tap Degassing (TD), Ladle to Ladle Degassing (LL), Vacuum Ingot Teeming (VIT), Dortmund-Heber (DH) e Rheinstahl-Heraeus (RH) o Vacuum Circulation Process (VCP) impiegati prevalentemente per la produzione di lingotti da forgia fino a 200 t e di lamiere di grosso spessore.

In tempi successivi le pompe meccaniche furono utilizzate soltanto per i processi statici VD e VOD e per piccole colate (fino a 50 t) e sempre per la produzione dei lingotti da forgia.

Dal 1980 fino al 1995 l'utilizzo delle pompe meccaniche, soprattutto per la fabbricazione d'acciai inossidabili con il processo VOD e capacità d'aspirazione frequentemente nell'intorno di $40.000 \text{ m}^3/\text{h}$, si estende anche in Asia. Alcuni di questi impianti sono tuttora in funzione dopo 25 anni e non presentano problemi d'usura che abbiano richiesto nel tempo significativi interventi manutentori.

Da qualche anno si è sviluppata la tendenza di degassare con pompe meccaniche anche colate di taglia più grande, destinate alla produzione di barre di qualità ricavate dalla laminazione di billette prodotte in colata continua. (Tab. 1). Le pompe ROOTS di capacità ancora superiore sono anche utilizzate nei processi di produzione del preridotto MIDREX, COREX ecc.

I seguenti eventi hanno di nuovo reso competitive le pompe ROOTS:

- l'introduzione generalizzata dei forni siviera permette una durata più lunga del trattamento sotto vuoto;
- l'affidabilità riscontrata su un lungo arco temporale d'esercizio;
- la maggiore attenzione oggi indirizzata verso il contenimento del costo operativo connesso al consumo d'energia elettrica e allo smaltimento dei rifiuti;
- una legislazione ambientale più attenta e che pone severe limitazioni all'emissione di polveri degli impianti;
- lo sviluppo di nuove pompe con maggiore capacità d'aspirazione e rendimenti più elevati.

CONSUMI DELLE POMPE

Nelle pompe ad eiettori di vapore per fusioni da 60 a 80 t il consumo di vapore può essere ridotto a $3 - 6 \text{ t/h}$, ma comunque richiede $200-400 \text{ l/h}$ di gasolio e $3-6 \text{ m}^3/\text{h}$ d'acqua addolcita o deionizzata per alimentare la caldaia.

Il consumo d'acqua industriale per la condensazione del vapore varia da 150 a $600 \text{ m}^3/\text{h}$ in funzione della temperatura dell'acqua all'ingresso.

L'acqua prodotta dalla condensazione del vapore è soggetta ad inquinarsi a causa dell'assorbimento della polvere e del monossido di carbonio (CO), in particolare nel processo VOD e pur potendo essere riutilizzata nei condensatori, il bacino che la raccoglie allo scarico, (pozzo caldo), deve essere ventilato ed attrezzato con pompe da fango. Allo scarico del pozzo caldo il CO presente è pericoloso e

Tab. 2

DATI DI CONSUMO PER TONNELLATA CON LIQUIDO DI 75 T CONSUMPTION FIGURES PER LIQUID TON FOR A 75 T MELT						
Tipo di pompe			Eiettori a vapore con PAL	Pompe meccaniche	Eiettori a vapore con PAL	Pompe meccaniche
Processo			VD		VOD/VCD	
Durata	min		25		60 +15	
Vapore	10 bar, 190 °C	kg/t	30	0	80	0
Acqua di contatto	3 bar, 30 °C	m³/t	2,0	-	6,0	-
Acqua pulita	4 bar, 40 °C	m³/t	-	0,3	0,1	0,6
Energia elettrica		kWh/t	1,6	1,5	4,5	4,0
Azoto		m³/t	0,1	0,1	0,2	0,2

deve essere eliminato con uno speciale dispositivo del tipo scrubber, che aumentando la superficie di scambio dell'acqua con l'atmosfera permette una più rapida evacuazione del CO.

L'insieme delle potenze elettriche installate per le PAL (Pompe Anello Liquido), le pompe dell'acqua di riciclo, i ventilatori e le pompe da fango comporta assorbimenti complessivi per circa 250 kW.

Nella Tab. 2 sono riportati i dati medi di consumo per tonnellata d'acciaio in una colata da 75 ton ed il confronto tra i costi relativi all'utilizzo della tecnologia con pompe meccaniche e di quella con eiettori di vapore.

Questi dati di consumo non riflettono però il costo totale operativo degli impianti con pompe ad eiettori di vapore. Infatti, il trasporto di un gas non spolverato comporta un deposito di fango negli stadi degli eiettori di bassa pressione e riduce l'area di passaggio del gas, diminuendo così la capacità d'aspirazione e aumentando la pressione di vuoto finale.

Per questo motivo gli eiettori devono essere puliti frequentemente con getti d'acqua ad altissima pressione (>500 bar). L'acqua di questa pulizia deve essere smaltita in un deposito speciale, perché contiene elevate quantità di metalli pesanti.

A fronte dei costi per il consumo del vapore, dell'acqua, dell'elettricità e dello smaltimento di polvere e di fango, le pompe meccaniche offrono per contro risparmi importanti, che meritano di essere considerati per una corretta valutazione del ritorno dell'investimento.

Al fine di realizzare un confronto più completo la Fig. 2 mostra la particolarità d'alcune pompe meccaniche in grado di evacuare rapidissimamente raggiungendo 100 hPa in 100 secondi, così da permettere un risparmio notevole nelle spese di surriscaldamento dell'acciaio nel forno siviera.

CRITERI PER STRUTTURARE UN MODELLO DI DEGASAGGIO

La conoscenza dei meccanismi di degasaggio dei metalli liquidi, quasi sempre con presenza di una scoria liquida, è d'importanza capitale per la progettazione corretta di un gruppo di pompe di vuoto.

Si tratta infatti di operare la scelta corretta del tipo di pompe, del numero di stadi, dei rapporti di compressione, del vuoto finale desiderato, della velocità di discesa di pressione, del raffreddamento dei gas, della strumentazione di controllo e gestione, così da togliere il massimo degli elementi volatili nocivi in un tempo minimo (2).

Quest'ultimo è condizionato dalla capacità di conservazione della temperatura del bagno metallico in siviera, che normalmente è modesta nelle colate di piccole dimensioni (30/50 t), ma deve, quando la pressione è inferiore a 2 hPa, essere comunque sempre superiore a 10 minuti.

La necessità di un'evacuazione rapida del recipiente di vuoto scaturisce dalle ragioni seguenti:

- generare nel più breve tempo possibile l'atmosfera ideale per la colata;
- ridurre il tempo di permanenza del metallo liquido senza degasaggio, al fine di limitare le perdite di temperatura, ma i due obiettivi si raggiungono se si superano i limiti determinati:
- dalla riserva termica della massa liquida;
- dalla limitata agitazione della massa liquida con campi magnetici o con gas inerte;
- dal volume libero del recipiente metallurgico (siviera, convertitore, forno ad induzione).

L'evacuazione del recipiente di vuoto si riferisce al gas aspirato dalle pompe che è composto dal:

- flusso permanente dovuto alle fughe d'aria falsa (5 -25 kg/h) e al gas inerte per l'agitazione o la

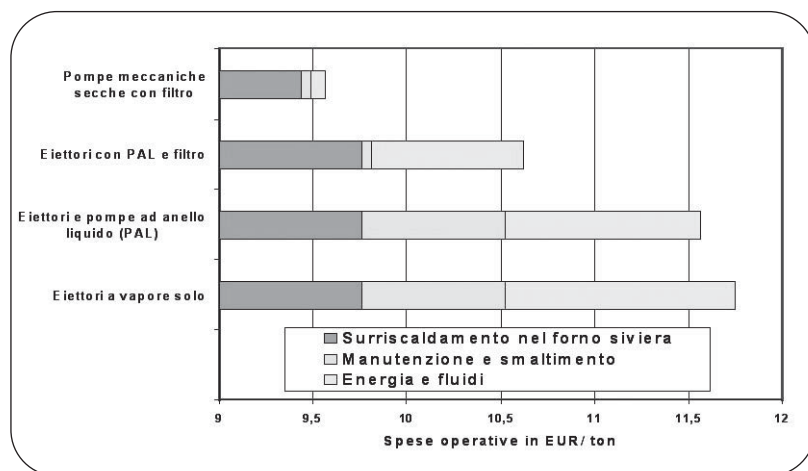


Fig. 2

Confronto dei costi operativi per vari sistemi di vuoto per colate da 60 a 100t.

Comparison of operating cost for various vacuum systems for 60-100 t heats.

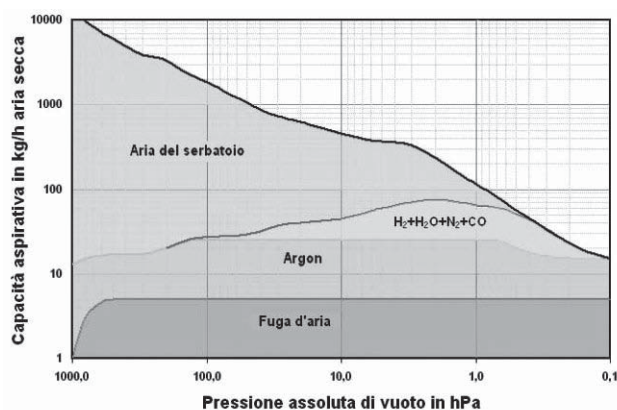


Fig. 3

Distribuzione del flusso di gas durante il degassaggio d'acciaio sotto vuoto (VD).

Gas flow distribution during vacuum steel degassing (VD).

protezione (Ar o N₂) nell'ordine di 1 - 5 litri/min a tonnellata;

- flusso decrescente dell'aria contenuta nel recipiente di vuoto (volumi da 100 a 400 m³ per fusioni da 20 a 200 t);
- flusso dei gas metallurgici come H₂, H₂O, N₂ e CO che nascono sotto l'effetto del vuoto e che diminuiscono nel corso del trattamento, dopo aver raggiunto un livello massimo (100 ppm per acciai calmati, 200/300 ppm per acciai semi-calmati, fino a 1000 ppm per acciai non-calmati e fino a 10000 ppm per acciai affinati sotto vuoto tramite un'iniezione d'ossigeno (processo VOD));

- I metalli volatili sciolti nell'acciaio come Pb, Zn e Mg, quest'ultimo derivante dalla riduzione del MgO del rivestimento basico, oltre ad altri ossidi gassosi non costituiscono un ulteriore carico per le pompe in quanto sono condensati e trattenuti da un filtro installato a monte delle stesse.

La Fig. 3 mostra l'evoluzione dei gas emessi nel corso del processo VD ed evidenzia che il flusso di gas alla fine del

trattamento è generato esclusivamente dall'Argon e dalle fughe d'aria falsa.

CONCLUSIONI

Nel corso della relazione abbiamo cercato di evidenziare le differenze concettuali che stanno alla base dei due sistemi impiegati per ottenere il necessario livello di vuoto nei processi metallurgici più comuni.

Oggi si può affermare, senza ombra di smentita, che gli impianti che utilizzano sistemi con pompe meccaniche presentano un costo d'esercizio decisamente contenuto, rispetto ai sistemi che impiegano pompe ad eiettori di vapore.

Si può inoltre affermare, con altrettanta convinzione, che gli impianti con pompe meccaniche attrezzati con sistemi di filtrazione delle polveri opportunamente dimensionati, con speciali valvole (brevetto ASO) di tenuta del vuoto e con sistemi automatici di controllo del processo, offrono un'assoluta garanzia d'affidabilità e di stabilità delle loro caratteristiche, verificata presso diverse realtà siderurgiche in decenni d'esercizio. Non è da sottovalutare inoltre, nei sistemi a pompe meccaniche, l'irrilevante impegno richiesto nella manutenzione quotidiana dei vari componenti, nonché il facile inserimento di questi impianti nei layout più complessi, spesso presenti in realtà industriali di non recente realizzazione. In conclusione, per le ragioni sopra descritte e per i bassi costi operativi è facile prevedere che in un non lontano futuro impianti così versatili potranno essere sempre più impiegati per la produzione di prodotti lunghi, specialmente in quelle realtà industriali dove l'elevata produttività oraria si coniuga con un grado sempre più spinto di qualità di prodotto.

LETTERATURA

- [1] BURGMANN, W., MPT Intern. 5(2001), p. 56-60
- [2] MTAG: www.ventus.ch
- [3] BURGMANN, W., MPT Intern. 4(2002), p. 82-91
- [4] CHEETHAM, V., Millenium Steel (2005), p. 95-98

ABSTRACT

VACUUM PUMPS FOR STEEL DEGASSING PLANTS

Keywords: steel, steel quality, steelmaking, degassing, technologies, plants

For long years now there are 2 kinds of vacuum pumps in use for steel degassing. These are steam ejectors and dry mechanical pumps of the ROOTS type. They are very different in design and function.

Steam ejectors are mass conveyors that can also transport dust loaded gases. However, industrial experience has shown that the conveying of undusted gas produces deposits that reduces the suction capacity and thus requires frequent cleaning interventions and disposal of the residuals as special dangerous waste.

Higher suction capacities are necessary for steam ejector plants since they have to carry the dust load in the gas and in order to compensate the pressure losses due to obstructions by dust deposits

Mechanical pumps are volume conveyors. Their performances are independent from any climatic conditions and from the density of the conveyed gas, that however, must not contain dust and should be rather cold. Therefore these pumps are protected by dust abatement systems like cyclones and bag filters and by heat exchangers.

They require little space and offer a push-button availability of vacuum. Thanks to preventive dedusting they keep their performances constant and operate at much lower running cost including maintenance, with respect to any other vacuum system. Maintenance is in fact low as are the installed power and any utility consumption figures.