

TRAITEMENT SECONDAIRE DE L'ACIER SOUS VIDE – LA FIN DES ÉJECTEURS A VAPEUR

Face à l'augmentation mondiale des coûts énergétiques, Simon Bruce et Vic Cheetham analysent les opportunités croissantes de réaliser des économies financières et diminuer l'impact sur l'environnement en remplaçant les éjecteurs à vapeur par des systèmes de pompage sec modulaires sur des unités de dégazage sous vide.

Simon Bruce, Edwards Ltd, Dolphin Road, Shoreham-by-sea, Sussex, Royaume-Uni BN43 6PB
Vic Cheetham, Edwards Ltd, Wingates Ind. Est., Westhoughton, Bolton, Royaume-Uni BL5 3XU

Au niveau mondial, la demande d'acier émane notamment des pays émergents et en expansion tels que la Chine, l'Inde, la Russie, l'Europe de l'Est et d'Afrique du Sud. Malgré les récentes fluctuations économiques et leurs conséquences sur le prix de l'acier, la tendance à long terme reste fortement positive, compte tenu de la nécessité permanente de moderniser et de développer les oléoducs, les réseaux de distribution de gaz et les infrastructures ferroviaires. Cette demande, ainsi que celle concernant d'autres applications nécessitant des nuances d'aciers à haute performance, devrait garantir une rentabilité continue du marché des aciers spéciaux dégazés.

Pour répondre à la demande d'aciers de qualité supérieure, l'attention se porte sur les procédés de métallurgie secondaire en poche et notamment le dégazage sous vide (VD) et de décarburation sous vide par oxygène (VOD). Le procédé VD est généralement associé aux produits longs nécessitant une très faible teneur en hydrogène tandis que le procédé VOD est principalement utilisé pour réduire la teneur en carbone des aciers inoxydables. Ces deux procédés sont particulièrement bien adaptés pour des volumes de poche de petite et moyenne taille (généralement jusqu'à environ 250 tonnes d'acier par poche), l'acier utilisé étant généralement issu du traitement des ferrailles de recyclage dans les fours à arc électrique (EAF).

Ces équipements se révèlent être très flexible et permettent aux aciéries d'élaborer des nuances d'acier très variées de façon à adresser un marché le plus large possible. Toutefois, la technologie des éjecteurs à vapeur utilisée de façon historique sur les installations VD et VOD souffrent cependant de quelques limites et font de plus en plus l'objet de nombreuses interrogations voire d'une sérieuse remise en question.

Les émissions de gaz à effet de serre et le coût de l'énergie

L'attention portée à la réduction de la consommation d'énergie et de l'impact environnemental du secteur de l'acier s'intensifie à l'échelle mondiale, non seulement en raison de la hausse sensible du prix de l'énergie, mais aussi de l'engagement de nombreuses nations envers la réduction de leurs émissions dans l'atmosphère de dioxyde de carbone (CO₂), le principal gaz à effet de serre résultant des processus de combustion. L'émission de gaz à effet de serre constitue une préoccupation urgente, mais les chaudières à vapeur sont également une source de polluants atmosphériques dangereux, ce qui renforce la complexité du régime réglementaire auquel les sites de métallurgie doivent se conformer.

Les coûts de fonctionnement croissants liés à la génération de la vapeur ainsi que l'intensification des préoccupations environnementales, conduisent de nombreux sites métallurgiques à envisager une technologie alternative aux éjecteurs. Les systèmes modernes de pompage mécaniques secs constituent la solution clé pour assurer des économies très importantes en termes de coût d'exploitation tout en améliorant de façon considérable l'impact sur l'environnement. Pour ces raisons, ils sont devenus le choix évident pour les installations de VD et de VOD.

Technologie de pompage sous vide sec

L'exigence technique standard pour les procédés de dégazage d'acier sous vide (VD) est de maintenir l'acier liquide à une pression égale ou inférieure à 1 mbar (1 hPa) pendant 15 à 20 minutes tout en brassant l'acier liquide avec de l'argon pour éliminer les impuretés dissoutes, notamment l'hydrogène.

Cela signifie que le système de pompage sous vide doit être en mesure de réduire la pression dans la poche de la pression atmosphérique jusqu'à environ 1 mbar et ce dans un délai court (généralement entre 6 et 8 minutes) pour éviter tout refroidissement de l'acier. La régulation du système de pompage est également un facteur important de sorte à pouvoir contrôler la vitesse de pompage dans la zone de pression comprise entre 20 et 100 mbar pour éviter le phénomène de moussage.

La configuration idéale du groupe de pompage est un système à trois étages en série composé de deux pompes roots et d'une pompe primaire à vis sèche à grand débit.

Ce concept a été développé et intégré mécaniquement sur un châssis pour obtenir un système modulaire complètement optimisé pour les procédés de dégazage de l'acier. Dans ce concept, les modules sont ajoutés et installés tout simplement en parallèle pour fournir la capacité de pompage requise selon la taille de la poche. Chaque module présente une capacité de pompage correspondant à une poche de 23 tonnes d'acier environ. La figure 1 présente un exemple de ce système modulaire pour un équipement de VD de 90 tonnes. Ce système offre également une excellente flexibilité avec la possibilité d'ajouter à posteriori et de façon simple un ou plusieurs nouveaux modules dans le cas où la capacité de pompage requise viendrait à augmenter (installation d'une nouvelle poche de plus grande capacité, déplacement de l'installation vers un autre site de production...)

Le système modulaire offre en outre d'autres avantages comme notamment son faible encombrement, la possibilité d'affiner les paramètres de fonctionnement pour répondre à des besoins spécifiques, la réduction des consommations en électricité et en eau, le transport aisé, la rapidité d'installation et la simplicité de la mise en service.

Le moteur électrique de chaque pompe est contrôlé par un variateur de vitesse intégré dans le système de commande principal du site et auquel sont également connectés les capteurs installés sur le module. Il en résulte un système dont le rendement du point de vue énergétique est optimisé et qui s'intègre parfaitement dans le système de contrôle général. Le système peut fonctionner de manière entièrement automatique ou avec l'intervention de l'opérateur pour contrôler la vitesse de pompage, le cas échéant.

De nombreux sites métallurgiques ont fait le choix de cette technologie et les modules de pompage ont été installés avec succès sur des équipements de dégazage d'acier aux quatre coins du monde ces dernières années, comme illustré au tableau 1.

Figure 1 Installation de pompage sec modulaire type pour un procédé VD de 90 tonnes



La figure 2 représente un exemple de la dernière version d'un module de pompage avec les éléments de raccordement montés et le câblage de l'instrumentation

Des économies considérables sur les frais de fonctionnement

Une caractéristique importante du système de dégazage de l'acier à trois étages est le gain considérable en termes de frais de fonctionnement par rapport à la technologie traditionnelle des éjecteurs à vapeur.

La consommation type d'un système d'éjecteurs à vapeur efficace se situe généralement autour de 20-30 kg de vapeur par tonne d'acier traité. Toutefois, l'expérience montre que de nombreux systèmes d'éjecteur à vapeur plus anciens peuvent en fait nécessiter jusqu'au double de cette quantité pour fonctionner.

Tableau 1 Quelques installations récentes de systèmes modulaires de pompage sec pour le dégazage de l'acier

Année de mise en service	Pays	Volume de poche (tonnes)	Débit maximal (m ³ /h)	Type de pompe primaire
2006	Etats-Unis	41	87 000	sèche à vis
2006	Espagne	42	35 000	sèche à vis
2006	Ukraine	100	145 000	sèche à vis
2007	Turquie	90	116 000	sèche à vis
2007	Allemagne	60	87 000	sèche à vis
2007	Ukraine	60	87 000	sèche à vis
2008	Italie	100	87 000	sèche à vis
2008	Belgique	90	120 000	sèche à vis
2008	Roumanie	100	116 000	sèche à vis
2008	Roumanie	60	87 000	sèche à vis
2008	Italie	20	29 000	sèche à vis
2008	Brésil	30	58 000	sèche à vis

Figure 2 Module de pompage pour le dégazage de l'acier d'Edwards



La capacité de pompage requise pour le dégazage sous vide est généralement standardisée en termes de débit massique (exprimé en kg/h à une pression de 0,67 mbar et à une température de 20 °C). Les systèmes à éjecteurs, pour le procédé VD, présente typiquement un débit d'environ 2,4 kg/h par tonne d'acier. Cette valeur importante semble indiquer que les systèmes à éjecteurs ont été traditionnellement surdimensionnés pour prendre en considération d'une part le taux de fuite plus élevé et d'autre part la dégradation régulière des performances d'un cycle à l'autre due à un encrassement des éjecteurs par les poussières.

En revanche, la somme des différents flux gazeux mis en jeux à savoir le flux de dégazage, le flux de brassage et le flux fuite (dont la valeur sur les systèmes modernes a été considérablement réduite) aboutit à un débit massique requis d'environ 1 kg/h par tonne d'acier traité. Cette valeur de débit très inférieure est confirmée empiriquement par les installations récentes qui fonctionnent avec succès. Ceci démontre clairement que les systèmes à éjecteur de vapeur sont non seulement plus coûteux à faire fonctionner sur le plan énergétique, génèrent une charge environnementale accrue de par les émissions de leurs chaudières et leurs besoins de traitement des eaux usées, mais semblent également être fréquemment surdimensionnés par rapport au besoin théorique.

En conclusion générale, le coût très élevé de l'énergie lié à la génération de vapeur, les besoins de nettoyage réguliers des éjecteurs, l'importante consommation d'eau ainsi que le coût du traitement des eaux contaminées contribuent à un rendement nettement réduit et un coût de fonctionnement supérieur pour les éjecteurs à vapeur. Les systèmes de pompage mécaniques sec modulaires, quant à eux, ne nécessitent que de faibles quantités d'énergie électrique, de gaz de purge et d'eau de refroidissement pour fonctionner.

En outre, la suppression de la chaudière à vapeur offre aux sites métallurgiques une réduction immédiate et importante des émissions de polluants et de CO₂ tout en éliminant les risques supplémentaires liés aux canalisations de vapeur à haute pression et aux conduites de distribution de carburant à haute température. Par la même occasion, l'assurance pour la chaudière et les formations spécifiques des techniciens et opérateurs n'ont plus lieu d'être. Il en résulte une réduction sensible des frais de fonctionnement et une disponibilité totale, jour et nuit, du système de pompage par simple pression sur un bouton.

La figure 3 présente une comparaison type des frais de fonctionnement. Elle montre les économies potentielles par an en cas de remplacement des éjecteurs à vapeur par des

Figure 3 Comparaison des frais de fonctionnement

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Masse d'acier (tonnes)	60	COMPARAISON DES COÛTS DE FONCTIONNEMENT									
2	Tonnage annuel	240,000	POMPES A VIDE MECANIKES SECHES									
3	Durée du cycle sous vide (minutes)	22	Données issues d'hypothèses standard									
4	Capacité de la chaudière (kg/h)	10000	ENTRER LES PARAMETRES DANS LES CELLULES JAUNES									
5	Procédé (définit la quantité de poussières par kg)	VD	EJECTEURS A VAPEUR									
					Coulées par an	4000		Nombre de Modules	3			
7	Critère financier	Condition	Coût spécifique	Ejecteurs à vapeur				Pompes fonctionnant à sec y compris les frais de fonctionnement des filtres				
9	Consommation											
10	- vapeur	>12 bars, >200 °C	10.00	l/lt vapeur	611	kg(st)/jt	0.611111	l/jt				
11	- eau contaminée	3 bars, 32 °C	0.08	l/m ³	4.9	m ³ est.	0.396000	l/jt				
12	- eau de refroidissement sans contact	4 bars, 32 °C	0.73	l/m ³					0.0935000	m ³ /jt	0.0682550	l/jt
13	- air comprimé	5 bars	0.01	l/m ³					0.0002200	m ³ /jt	0.0000015	l/jt
14	- azote	5 bars	0.15	l/m ³					0.0494000	m ³ /jt	0.0070180	l/jt
15	- huile de pompe à vide		25.00	litre					0.0006250	litre/jt	0.0156250	l/jt
16	- électricité (pompes-dispositifs auxiliaires)		0.01	kWh	0.61	kWh/jt	0.0036667	l/jt	0.8250000	kWh/jt	0.0049500	l/jt
17	Sous-total consommation							1.0107778	l/jt			0.0958495
18	Entretien annuel	l par heure	seures-personnes									
19	- entretien de la pompe à eau	13.00	4	52.00	l/pompe	4000	coullées	0.0006500	l/jt			
20	- entretien modules de pompage secs	13.00	40	520.00	l/Module		par entretien		4000	coullées	0.0065000	l/jt
21	- nettoyage de l'éjecteur à vapeur	13.00	32	416.00	l/intervention	400	coullées	0.0173333	l/jt		par entretien	
22	- nettoyage de l'échangeur de chaleur	13.00	12	156.00	l/intervention		par entretien		4000	coullées	0.0000002	l/jt
23	- remplacement du filtre	13.00	16	208.00	l/intervention				1333	coullées	0.0026000	l/jt
24	- Traitement des poussières			1.00	l/jt				0.20	kgjt	0.0002000	l/jt
25	- Traitement de l'eau contaminée			1.00	l/m ³	0.49	m ³ /jt	0.4888889	l/jt			
26	Sous-total entretien							0.5068722	l/jt			0.0093002
27												
28	Pièces détachées	l chacun	nombre	l/changement	Nombre de changements							
29	- filtres	15.00	1000	15000.00	1				0.0000042	jeux/tonne	0.0625000	l/jt
30	- joints/roulements (pompes à anneau liquide)	700.00	mojenne par an par pompe installée.			3	pompes	0.0087500	l/jt			
31	- joints/roulements (Modules de pompage sec)	11600.00	mojenne par an par MDAS.						3	MDAS	0.1450000	l/jt
32	Sous-total pièces détachées							0.0087500	l/jt			0.2075000
33												
34	TOTAL							1.5264000	l/jt			0.3126497
35	Différence							0.0000000	l/jt			1.2137503
36	Economie annuelle									Economie		291 000 €

pompes à vide sèches sur un équipement VD de 60 tonnes. Selon la configuration de l'équipement et le coût des servitudes, les frais de fonctionnement d'un système modulaire sec peuvent être inférieurs à 20 % (soit un gain supérieur ou égal à 80%) des frais d'un système à éjecteur de vapeur, ce qui représente des économies potentielles supérieures à 1 € par tonne d'acier traité et offre un retour sur investissement relativement court.

Commandes majeures

La demande du marché concernant des systèmes de pompage sec pour les procédés VD et VOD continue d'augmenter dans le monde, poussée par l'expansion de métallurgie secondaire en poche, la nécessité de réduire les coûts énergétiques et les préoccupations quant aux émissions de gaz à effet de serre par le secteur de l'acier. Une activité particulièrement forte a été constatée en 2008 avec des commandes majeures de systèmes modulaires de pompage sec pour des installations de dégazage d'acier situées en Russie, en Ukraine, au Brésil, en Inde et en Chine. Même si le climat économique actuel a entraîné une pause au début 2009, il demeure évident que cette tendance consistant à abandonner les éjecteurs à vapeur traditionnels pour adopter des systèmes modulaires de pompage sec pour le dégazage sous vide de l'acier va poursuivre sa progression dans un futur proche et à long terme.