

Scheda n. 16

Consumi energetici in un impianto di ossidazione



Scheda n. 16

Consumi energetici in un impianto di ossidazione

Premessa

Da diversi anni la voce energia, a causa degli elevati prezzi ormai raggiunti da tutte le varie fonti energetiche, incide in misura notevole nei bilanci di qualsiasi industria.

Tale incidenza assume maggiore rilevanza negli impianti di ossidazione anodica, dove sono richieste grosse quantità di energia elettrica o termica per i vari processi elettrochimici, per portare e mantenere i bagni alle varie temperature di esercizio e per il funzionamento delle attrezzature accessorie (il cui consumo può raggiungere il 25-30% di quello totale di energia elettrica).

Al fine di conoscere come si ripartiscono i consumi delle diverse forme di energia, nella presente scheda vengono forniti i metodi atti a calcolare i consumi di elettricità e/o di calore di tali impianti, prescindendo da quelli necessari per le attrezzature accessorie.

Verrà anche eseguito un calcolo su un impianto tipo per valutare i valori delle dispersioni.

Ripartizione dei consumi di energia in un impianto di ossidazione

Come già esposto precedentemente, negli impianti di ossidazione anodica è necessario avere a disposizione tre diverse forme di energia:

- elettrica
- frigorifera
- termica

Ogni vasca di trattamento richiede, per il suo funzionamento, la presenza di una o più di queste energie; esaminiamo meglio come si ripartiscono:

Energia elettrica

Per questa energia occorre fare una distinzione tra quella occorrente nei vari processi elettrochimici e quella invece necessaria per il funzionamento delle varie apparecchiature; l'analisi che segue è limitata al solo fabbisogno di energia elettrica per i processi elettrochimici.

I processi in cui si richiede dell'energia elettrica nell'ossidazione anodica per architettura sono quelli che avvengono nei bagni:

- di ossidazione anodica e
- di elettrocolorazione

La quantità di energia richiesta dai due bagni è molto differente: nel primo, che lavora in regime di corrente continua ad una tensione di circa 18 V, con una densità di corrente di 150 A/m² e per tempi variabili fino a un massimo di 55 minuti, si dissipa un'energia di circa 2500 Wh/m².

Il secondo invece lavora in condizioni di corrente alternata ad una tensione che può arrivare a circa 18 V, a seconda dell'intensità del colore, ad una densità di corrente inizialmente di 60 - 70 A/m² per scendere dopo breve tempo intorno a 20 - 30 A/m² e per tempi variabili, sempre secondo l'intensità del colore, fino ad un massimo di 15 - 20 minuti.

L'energia che si dissipa può raggiungere al massimo 300 Wh/m²

A questi consumi in vasca occorre però aggiungere le perdite che si hanno nel raddrizzatore e nel trasformatore, i cui rendimenti non sono unitari ma in media essi sono pari rispettivamente a 0,87 e

0,97.

Consumi precedenti diventano in totale circa 3300 Wh/m²

A questi bisogna aggiungere l'energia elettrica richiesta dal gruppo frigo (pari a circa il 40% di quella che viene consumata nei bagni di anodizzazione) e quella necessaria per i sistemi di aspirazione presenti sulle vasche (pari a circa, il 50% di quella dei bagni di ossidazione).

In definitiva in totale l'energia elettrica richiesta per il processo di ossidazione è pari a circa 5700 Wh/m²

Energia termica

Questa forma di energia è invece richiesta da tutti quei bagni che lavorano ad una temperatura maggiore di quella ambiente.

Generalmente il calore viene ceduto da apposite serpentine, disposte lungo le pareti laterali interne e/o sul fondo delle vasche, nelle quali può scorrere del vapore in pressione oppure dell'olio diatermico. Il fabbisogno energetico è determinato dalla necessità di portare i bagni alla temperatura di esercizio e da quella di reintegrare le continue perdite di calore che avvengono in condizioni di regime attraverso tutte le superfici della vasca.

Nel prospetto A sono forniti i metodi per calcolare queste dispersioni. I bagni del processo di ossidazione dove è necessario fornire dell'energia termica sono quelli di sgrassaggio, decapaggio, satinatura, colorazione e fissaggio (con il processo a caldo).

Energia frigorifera (per evitare eccessivi innalzamenti della temperatura nelle vasche di anodizzazione)

Negli impianti di ossidazione anodica per architettura questa energia è invece necessaria solo nei bagni di anodizzazione; ciò al fine di evitare un eccessivo innalzamento della temperatura che pregiudica la qualità dello strato di ossido.

Questo aumento è causato principalmente dall'energia dissipata per effetto Joule (pari a circa 2500 Wh/m²) trascurando la parte di energia che viene trasformata in energia chimica.

Vi è inoltre da considerare il calore di formazione dell'ossido di alluminio, pari a circa 3,92 Kcal/g di ossido formatosi, corrispondente a circa 10 Kcal/μm/m².

Supponendo un tempo di immersione di 55 minuti diventano circa 300 Wh/m², ossia il 12% dell'energia dissipata per effetto Joule.

Le raccomandazioni QUALANOD forniscono la seguente formula per computare l'energia termica da sottrarre:

$$\underline{0,95 \times \text{Tensione} \times \text{Amperaggio massimo disponibile} = \text{Kcal/h}}$$

il numero 0,95 rappresenta il fattore di conversione da W a Kcal/h (0,86) moltiplicato per un ulteriore fattore per tener conto dell'energia di formazione dell'ossido.

Per termostatare il bagno è quindi necessario disporre di un apparato refrigerante in grado di sottrarre quest'energia termica in eccesso.

Esso è costituito da uno scambiatore di calore che può essere sia interno che esterno al bagno, in cui come fluido refrigerante viene utilizzata dell'acqua, che a sua volta può essere prelevata da pozzi se le quantità e la temperatura sono idonee.

Per avere un'indicazione delle portate necessarie, in tabella 1 sono riportati i relativi valori nel caso si impieghi dell'acqua ad una temperatura in ingresso variabile tra 11e 14°C e prevedendo che in uscita

abbia una temperatura di circa 16°C.

Da questi valori si può facilmente vedere come occorrono elevate quantità di acqua e come piccole variazioni di temperature in ingresso possono provocare un notevole aumento della richiesta d'acqua; per es. se la temperatura dell'acqua in ingresso varia da 11 a 13°C la portata necessaria aumenta del 67%.

E' quindi preferibile ricorrere ad un gruppo frigorifero che può essere di due tipi:

- con condensazione ad aria e
- con condensazione ad acqua

con quest'ultima apparecchiatura occorre avere a disposizione delle notevoli quantità d'acqua per condensare il fluido del circuito frigorifero. Le calorie da smaltire in questo caso sono quelle asportate dal bagno di anodizzazione più quelle generate dal ciclo di compressione .

Ciò non è necessario nel tipo con condensazione ad aria dove il raffreddamento viene effettuato mediante circolazione forzata di aria prelevata dall'esterno. Questo tipo di frigo deve essere in grado di funzionare anche con temperatura dell'aria a 40°C, caratteristica che è necessario possiedano per evitare che nel periodo estivo cali eccessivamente il rendimento del frigo.

Nei bagni di elettrocolorazione, invece, non sono richiesti sistemi di refrigerazione per i bassi valori della potenza dissipata.

Consumi in un impianto di ossidazione tipo

Per calcolare i consumi energetici facciamo riferimento ad un impianto tipo di ossidazione anodica per architettura con 3 vasche di anodizzazione da 8000 A ciascuna, con le caratteristiche riportate nella tabella 1 seguente.

Tab. 1 - Caratteristiche dell'impianto

Vasca di	Dimensioni interne (mm)	Dimensioni esterne (mm)	Temperatura di esercizio
Sgrassaggio	8000 x 1000 x 2100 h	8240 x 1240 x 2250 h	80°C
Decapaggio	8000 x 1000 x 2100 h	8240 x 1240 x 2250 h	65°C
Neutralizzazione	8000 x 1000 x 2100 h	8240 x 1240 x 2250 h	ambiente
Anodizzazione	8000 x 1400 x 2100 h	8240 x 1640 x 2250 h	20°C
Elettrocolorazione	8000 x 1000 x 2100 h	8240 x 1240 x 2250 h	ambiente
Colorazione organica	8000 x 1000 x 2100 h	8240 x 1240 x 2250 h	40°C
Fissaggio (n° 2 vasche)	8000 x 1000 x 2100 h	8240 x 1240 x 2250 h	99°C

La produttività media dell'impianto è di circa 465 Kg di materiale anodizzato all'ora, distribuito in 3 bagnate da 155 Kg ciascuna con una superficie trattata di 62 m². Vediamo come si ripartisce il fabbisogno di energia termica e di energia frigorifera.

Consumo Energia Termica

Le formule ed i diagrammi dell'appendice A ci consentono di calcolare le calorie totali che bisogna fornire per raggiungere le temperature richieste e per termostatare i bagni. Nei prospetti A e B sono stati riportati i risultati; in questi non si è tenuto conto, non avendo sufficienti dati a disposizione, delle calorie sviluppate dalla reazione che si svolge nel bagno di decapaggio, tra l'idrossido di sodio e

l'alluminio. Nell'ipotesi da verificare, di un'autosufficienza termica del bagno le variazioni sul risultato finale sono di circa il 10%.

Dal prospetto B emerge un primo significativo ed importante dato: coibentando tutte le superfici di scambio, ma soprattutto provvedendo ad isolare termicamente la superficie libera, si ottiene in esercizio un notevole risparmio energetico: la potenza termica consumata diminuisce da circa 619.000 a circa 190.000 Kcal/h con un risparmio di 429.000 Kcal/h, equivalenti a circa 51 Kg/h di olio da riscaldamento (con un potere calorifico inferiore di 9500 Kcal/Kg ed un rendimento di caldaia pari a 0,88).

Il maggiore assorbimento di energia termica avviene nei bagni di fissaggio per l'alta temperatura di esercizio (99°C). Percentualmente la quantità assorbita è pari a circa il 70%, mentre gli altri bagni ne richiedono: lo sgrassaggio il 16%; il decapaggio il 10%; la colorazione il 4%.

I valori riportati nel prospetto A servono per conoscere la capacità della caldaia da installare; in questo caso bisogna tener conto soprattutto delle calorie necessarie per portare i bagni alla temperatura di esercizio: esse infatti (cfr. prospetto A) prevedendo un tempo di 7 ore per arrivare a regime sono pari a circa 900.000 Kcal/h.

Precedenti direttive QUALANOD prescrivevano che la capacità della caldaia fosse tale da portare il bagno di fissaggio alla temperatura di esercizio in massimo 3 ore, mentre attualmente richiedono che dopo l'immersione di cariche complete si raggiungono i 96°C entro 10 minuti. Si può facilmente osservare che per bagnate come quelle indicate nella specifica tecnica, del peso di circa 155 Kg, la variazione di temperatura nel bagno di fissaggio provocata dal riscaldamento della carica è di circa 0,2°C.

Il primo criterio, sulla base dei calcoli svolti, appare eccessivo e richiederebbe una caldaia sovradimensionata, mentre il secondo invece non fornisce alcuna indicazione.

Dai prospetti A e B si può anche osservare che la quantità di calore necessaria per portare le soluzioni alla temperatura di esercizio è notevolmente superiore di quella utilizzata per mantenere la temperatura di esercizio. Poiché i tempi di avviamento assorbono forti quantitativi di energia termica, si rende necessaria una gestione ottimale di tutto il ciclo lavorativo cercando di utilizzare il più continuativamente possibile le vasche che lavorano a temperatura superiore di quella ambiente.

Consumo Energia Friqorifera

Nell'impianto in esame le calorie che si sviluppano nei due bagni di anodizzazione per effetto Joule raggiungono in base alla formula (1) circa 350.000 Kcal/h. A queste bisogna aggiungere o sottrarre, a seconda della temperatura ambiente, le calorie scambiate con l'esterno; generalmente però questa quantità è trascurabile in considerazione della bassa temperatura del bagno di anodizzazione (20°C).

Consumo Energia Elettrica

Dalle indicazioni precedenti risulta un consumo di 1100 Kwh/h

Bilancio totale

Riassumendo possiamo dire che in un impianto di anodizzazione per mantenere i bagni alla temperatura di esercizio bisogna fornire minimo ca 190.000 Kcal/h, e massimo ca 619.000 Kcal/h mentre dai bagni di anodizzazione bisogna sottrarre massimo 350.000.

Conclusioni

È stata fatta una valutazione di come si ripartiscono i fabbisogni energetici in un impianto di

ossidazione anodica tipo fornendo anche le metodologie di calcolo.

Si sono computate le varie forme di dispersione termica che avvengono in una vasca di processo che lavora ad un temperatura superiore di quella ambiente, applicando i risultati ottenuti per valutare le dispersioni globali che avvengono in un impianto di ossidazione. Da questi risultati è emerso che per ottenere un primo e notevole risparmio energetico è sufficiente coibentare tutte le superfici della vasca; in particolare si è messa in evidenza la necessità di isolare termicamente la superficie libera dei bagni che hanno una temperatura di esercizio prossima all'ebollizione (fissaggio). Dal calcolo eseguito si evidenzia come possa sussistere la possibilità che il calore asportato dai bagni di anodizzazione possa essere utilizzato per mantenere a temperatura costante i bagni che hanno una temperatura di esercizio elevata mediante l'impiego di pompe di calore.

Tabella 1. Portata d'acqua necessaria, a seconda della temperatura di ingresso, per il raffreddamento della soluzione di anodizzazione

Ampere installati	Calorie da estrarre (Kcal/h) (1)	Portata d'acqua necessaria per il raffreddamento della soluzione di anodizzazione, con temperatura in ingresso variabile (2)			
		11°C (l/h)	12°C (l/h)	13°C (l/h)	14°C (l/h)
1000	16150	3200	4000	5400	8100
2000	32300	6500	8100	10800	16200
3000	48450	9700	12100	16200	24200
4000	64600	13000	16200	21500	32300
5000	80750	16200	20200	27000	40400
6000	96900	19400	24200	32300	48450
7000	113000	22600	28300	37700	56500
8000	129200	25800	32300	43100	64600
9000	145350	29100	36300	48500	72700
10000	161500	32500	40400	53800	80800

1) Calcolato secondo la formula QUALANOD:

$$Q = 0,95 \times V \times A \text{ (Kcal/h)}$$

Come valore della tensione in vasca si è considerato un valore di 17 V

2) Prevedendo che l'acqua in uscita abbia una temperatura di 16°C

PROSPETTO A

CALORIE DA FORNIRE PER PORTARE LE SOLUZIONI ALLA TEMPERATURA DI ESERCIZIO

(Per le formule vedi appendice A parte a)

Caratteristiche vasche e condizioni di lavoro

Parametri	Sgrassaggio	Decapaggio	Colorazione organica	Fissaggio (2 vasche)	Elettrocolore
Temperatura	80°C	65°C	40°C	99°C	22°C
ΔT	65°C	50°C	25°C	84°C	7°C
Volume bagni (m ³)	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8
Massa carpenteria (Kg)	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200

Calorie totali da fornire

Calorie x soluzione (Kcal)	1.092.000	840.000	420.000	2.822.400	5.174.400
Calorie x carpenteria Cp ferro=0,12 (Kcal)	17.200	13.200	6.600	44.400	81.400

Calorie orarie da fornire per arrivare alla temperatura di esercizio in 7 ore

a1) calorie x soluzione (Kcal)	156.000	120.000	60.000	403.200	739.200
a2) calorie x carpenteria (Kcal)	2.460	1.890	940	6.340	11.630
a3) perdita attraverso pareti (Kcal)	Trascurabile				
a4) perdita per evaporazione (Kcal)	41.800	23850	6.600	76.300	148.550
Totale	200.260	145.740	67.540	485.840	899.380

PROSPETTO B

CALORIE DA FORNIRE PER MANTENERE LE SOLUZIONI ALLA TEMPERATURA DI ESERCIZIO

(Per le formule vedi Appendice A parte b)

parametri	Sgrassaggio (aspirazione)	Decapaggio (aspirazione)	Colorazione (aspirazione)	Fissaggio (2 vasche) (aspirazione)	Totale Kcal/h coibentato	Totale Kcal/h non coibentato
Temperatura	80°C	65°C	40°C	99°C		
Δ T bagno	65°C	50°C	25°C	84°C		
Volume bagni	16,8 m3	16,8 m3	16,8 m3	16,8 m3		
Superficie base	8 m2	8 m2	8 m2	8,8 m2		
b1) Evaporazione (Kcal/h)	83.600	47.700	13.200	427.400		571.900
b1*) Evaporazione con sup. base ricoperta di sfere termois. (Kcal/h)	25.100	14.300	4.000	116.600	160.000	
b2) Perd. sup. lat. e fondo non coibentata (Kcal/h)	3.100	2.300	900	8.800		15.100
b2*) Perd. sup. lat. e fondo coibentata (Kcal/h)	Trascurabile					
b3) Perd. trascinalento + reintegro (Kcal/h)	1.800	2.300	500	1.600	6.200	6.200
b4) Perd. immers. pezzi (Kcal/h)	7.500	5.700	2.900	9.700	25.800	25.800
Totale (Kcal/h)					190.100	619.000

APPENDICE A

In quest'appendice vengono forniti i metodi per valutare i fabbisogni termici necessari:

- a) per portare le soluzioni alle temperature di esercizio
- b) per mantenere i bagni alla temperatura richiesta

a) Calorie da fornire per portare le soluzioni alla temperatura di esercizio

In questo caso l'energia da fornire è così distribuita:

a1) Calorie orarie necessarie per portare la soluzione dalla temperatura ambiente T_{amb} a quella di esercizio T_e in h ore ; esse sono pari a:

$$Q = \text{Massa della soluz.} \times \text{Calore specif.} \times (T_e - T_{amb})/h.$$

Non avendo ulteriori dati a disposizione per i nostri calcoli supporremo che la soluzione abbia densità e calore specifico unitari.

a2) Calorie orarie assorbite dalla carpenteria metallica della vasca. Esse sono pari a:

$$Q = \text{Massa carpenteria} \times \text{Calore specif. metallo} \times (T_e - T_{amb})/h$$

Il calore specifico del ferro è pari a: 0,12 Kcal/(Kg x °C)

a3) dispersioni attraverso le pareti della vasca; esse sono pari a:

$$Q = \text{Superficie esterna} \times \text{coeff. dispers.term.} \times (T_e - T_{amb})$$

Il coefficiente di dispersione termica viene fornito in letteratura. Nell'esempio riportato nel prospetto A abbiamo considerato questa forma di dispersione trascurabile rispetto alle altre.

a4) Perdita di calore per evaporazione; essa è pari a:

$$Q = \text{Superficie libera} \times \text{coeff. dispers. term. medio.}$$

Per questa quantità si pone il problema della temperatura a cui valutare il coefficiente; in bibliografia (1) abbiamo trovato che questa dispersione viene posta pari alla metà della quantità di calore per evaporazione che si perderebbe a regime in condizioni di assenza di aspirazione.

b) Quantità di calore necessaria per mantenere la soluzione alla temperatura di esercizio

Le calorie richieste per mantenere le soluzioni alla temperatura di esercizio richiesta deve reintegrare le seguenti forme di dispersione:

- b1) perdita di calore per evaporazione dalla superficie libera

- b2) perdita di calore dalle superfici laterali e dal fondo
- b3) perdita di calore per trascinamento della soluzione
- b4) perdita di calore per riscaldamento dei pezzi immersi

b1) Perdita di calore per evaporazione

Questa perdita è senz'altro la più rilevante, tanto più evidente quanto maggiori sono le temperature di esercizio; il fenomeno di evaporazione inoltre è reso notevolmente più intenso per la necessaria aspirazione dei vapori nocivi che si liberano dai bagni. Per valutare tale quantità esistono numerose tabelle e diagrammi; per i nostri calcoli si è fatto uso dei diagrammi riportati nel Graham (1) da questi diagrammi abbiamo tratto i valori qui di seguito elencati:

Temperatura °C	Velocità specifica di evaporazione (Kcal/h/m ²) (il m ² è riferito alla superficie libera)	
	in assenza di aspirazione	con velocità di aspirazione di 1,5 m/s
40	732	1652
50	1355	2981
60	2195	4829
65	2710	5962
70	3306	7273
80	4750	10450
90	6640	18592
99	8672	24282

Un modo per limitare queste perdite consiste nel ricoprire la superficie libera con uno o magari due strati di sfere di plastica, cave, termoisolanti e resistenti a qualsiasi tipo di soluzione.

Le riduzioni in questo caso possono raggiungere, a seconda della temperatura anche il 70-80%; per i nostri calcoli considereremo una riduzione del 70%.

b2) Perdita di calore dalle pareti laterali e dal fondo

La dispersione di calore dalla superficie laterale e dal fondo avviene per convezione ed irraggiamento. Per calcolare il calore totale disperso bisogna conoscere il coefficiente di scambio termico della superficie con l'ambiente esterno; la quantità di calore Q è infatti pari a :

$$Q = h S \Delta T$$

dove :

- h è il coefficiente di scambio termico
- S è la superficie di scambio
- ΔT è il salto di temperatura

Il coefficiente di scambio termico “h” è fornito nella seguente forma:

$$h = K \times \Delta T^{0,25} \text{ Kcal/h/m}^2/\text{°C} \quad (1)$$

ove K è uguale a 0,301 per superfici orizzontali a 0,407 per superfici verticali, mentre ΔT rappresenta il salto termico. Per ridurre i consumi si devono coibentare le superfici laterali ed il fondo, ottenendo una riduzione di tali perdite anche maggiore del 90%.

b3) Perdita di calore per trascinamento

La soluzione calda trascinata durante la lavorazione con le barre di lavoro viene reintegrata con acqua di rete alla temperatura di 15°C; la quantità trascinata dipende dalla superficie immersa per bagnata, dalla complessità del profilo, dalla soluzione e dalle condizioni di esercizio. Questi ultimi tre fattori possono essere raggruppati in un unico parametro, T_s che viene calcolato sperimentalmente.

La quantità di calore disperso è quindi pari a:

$$Q = T_s \times S \times (T_e - 15^\circ\text{C})$$

di seguito riportiamo i valori di T_s per i diversi tipi di soluzioni

Fase del processo	<i>Trascinamento specifico (valori orientativi)</i> ml/m ²
Sgrassaggio	150
Decapaggio	250
Colorazione	100
Fissaggio	100

b4) Perdita di calore per immersione delle barre

Una certa quantità di calore viene assorbita anche dai pezzi da trattare quando vengono immersi nei bagni di processo; essa può essere espressa con la seguente formula:

$$Q = M \text{ Cp } \Delta T$$

dove M è la massa trattata, Cp il calore specifico dell'alluminio (0,23 Kcal/Kg/°C) e ΔT il salto termico.