

Σαχινίδης Συμεών

Ηλεκτροστατικοί κατακρημνιστήρες ή ηλεκτρόφιльтра

Όπως περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα, οι θάλαμοι κατακάθισης και οι κυκλώνες είναι όργανα τα οποία οδηγούν τα αιωρούμενα σωματίδια προς κάποια επιφάνεια ή μέρος συλλογής, χρησιμοποιώντας είτε τη δύναμη της βαρύτητας είτε την φυγόκεντρο δύναμη. Οι δυνάμεις αυτές δεν είναι ιδιαίτερα έντονες και, για το λόγο αυτό, τα μικρά σωματίδια ($< 10 \mu\text{m}$) δεν απομακρύνονται από το αέριο ρεύμα. Για να μπορέσουμε να απομακρύνουμε μικρότερα σωματίδια ($< 5 \mu\text{m}$) οι δυνάμεις οι οποίες εφαρμόζονται και οι οποίες οδηγούν τα σωματίδια προς κάποια επιφάνεια συλλογής πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερες. Τα ηλεκτρόφιльтра ή ηλεκτροστατικοί κατακρημνιστήρες είναι όργανα τα οποία διαχωρίζουν μικρά σωματίδια από αέρια ρεύματα χρησιμοποιώντας για το σκοπό αυτό ηλεκτροστατικές δυνάμεις.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι τα ακόλουθα:

- Ικανότητα επεξεργασίας μεγάλων ροών αερίου.
- Μεγάλος βαθμός απόδοσης (90-99,9%).
- Συγκράτηση μικρών σωματιδίων, ακόμα και μικρότερων των $1 \mu\text{m}$
- Μικρή κατανάλωση ενέργειας.
- Ικανότητα λειτουργίας με αέρια υψηλής θερμοκρασίας (μέχρι και 900 K) και πίεσης (μέχρι 10 atm).
- Με τα σημαντικά αυτά πλεονεκτήματα, η παρούσα μεθοδολογία έχει βρει εφαρμογές σε μεγάλο εύρος βιομηχανιών, ιδιαίτερα στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ο πιο κοινός σχεδιασμός ηλεκτρικού κατακρημνιστήρα είναι αυτός ο οποίος αποτελείται από σειρές παράλληλων πλακών, μεταξύ των οποίων υπάρχουν συρμάτινα ηλεκτρόδια, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.10. Στα ηλεκτρόδια, τα οποία είναι τοποθετημένα στην κέντρο γραμμή μεταξύ των πλακών, εφαρμόζεται υψηλή τάση (20-60 KV). Η μεγάλη διαφορά τάσεως μεταξύ των ηλεκτροδίων προξενεί τη ροή ηλεκτρονίων από το ηλεκτρόδιο στο διερχόμενο αέριο. Τα ηλεκτρόνια ενσωματώνονται στα μόρια του αερίου, παράγοντας έτσι αρνητικά ιόντα, πράγμα το οποίο είναι εμφανές από το σχηματισμό αρνητικής εκκένωσης. Υπό την επίρεια των μεγάλων ηλεκτροστατικών δυνάμεων, τα αρνητικά ιόντα κινούνται προς τις γειωμένες πλάκες και συγκρούονται με τα σωματίδια τα οποία υπάρχουν στο αέριο. Σαν αποτέλεσμα των συγκρούσεων αυτών, τα σωματίδια φορτίζονται. Τούτο συμβαίνει με μεγάλη ευκολία λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης ιόντων και του γεγονότος ότι το μέγεθος τους είναι σημαντικά μικρότερο κι απ' τα πιο μικρά σωματίδια. Το φορτίο το οποίο αποκτούν τα σωματίδια δίδεται από τη σχέση:

$$q = 3\pi \left(\frac{\epsilon}{\epsilon + 2} \right) \cdot \epsilon_0 \cdot d^2 \cdot E_0$$

(30)

όπου ϵ είναι η διηλεκτρική σταθερά των σωματιδίων (4-8), ϵ_0 είναι μία σταθερά ίση με $8,85 \times 10^{-12} \text{ C/V.m}$, E_0 είναι η ένταση του (τοπικού) ηλεκτροστατικού πεδίου και a η διάμετρος των σωματιδίων. Τα φορτισμένα σωματίδια κατόπιν κινούνται προς τις πλάκες, όπου αποφορτίζονται και απομακρύνονται μηχανικά.

Τα σωματίδια τα οποία κινούνται εντός του ηλεκτροστατικού πεδίου υπόκεινται στην επίδραση δύο δυνάμεων (κυρίως), της ηλεκτροστατικής δύναμης (F_e) και της οπισθέλκουσας δύναμης (F_D). Η ηλεκτροστατική δύναμη είναι ανάλογη του φορτίου των σωματιδίων και της εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου συλλογής (E_p) και δίδεται από τη σχέση:

$$F_e = qE_p \quad (31)$$

Η οπισθέλκουσα δύναμη δίδεται από την Εξ. (13). Λύνοντας ως προς την ταχύτητα,

$$u = \frac{d\epsilon_0 E^2 \left(\frac{\epsilon}{\epsilon + 2} \right)}{\mu}$$

Η ταχύτητα λοιπόν της ηλεκτροστατικής κατακρημνίσεως, η οποία πολλές φορές αναφέρεται ως ταχύτητα παρασύρσεως, είναι ανάλογη προς τη διάμετρο των σωματιδίων και ανάλογη προς το τετράγωνο της έντασης του ηλεκτροστατικού πεδίου. Η ένταση του ηλεκτροστατικού πεδίου είναι περίπου ίση με το πηλίκο του δυναμικού του σύρματος διά την απόσταση μεταξύ του σύρματος και της πλάκας.

Το μήκος του κατακρημιστήρα το οποίο απαιτείται για την απομάκρυνση κάποιου συγκεκριμένου μεγέθους σωματιδίων μπορεί να εκτιμηθεί, αν η ταχύτητα παρασύρσεως είναι γνωστή. Προφανώς, ο χρόνος που απαιτείται για να μεταφερθεί ένα σωματίδιο στις πλάκες συλλογής πρέπει να είναι μικρότερος από το χρόνο που απαιτείται για να διανύσει το σωματίδιο το μήκος του κατακρημιστήρα με το αέριο ρεύμα και να εξέλθει. Όταν αυτοί οι χρόνοι είναι ίσοι, τα σωματίδια του συγκεκριμένου μεγέθους θα απομακρυνθούν με απόδοση 100%. Για θεωρητική απόδοση 100%, το μήκος του κατακρημιστήρα που απαιτείται είναι:

$$L = \frac{s \cdot u_g}{u} \quad (34)$$

όπου L το μήκος των πλακών συλλογής, s η απόσταση μεταξύ του ηλεκτροδίου φορτίσεως (σύρματος) και του ηλεκτροδίου συλλογής (πλάκας) και u_g η ταχύτητα του αερίου. Η πραγματική απόδοση μπορεί να διαφέρει σημαντικά λόγω των υποθέσεων που έχουν εισαχθεί στην παραπάνω ανάπτυξη. Αν και έχουν προταθεί

κάμποσες εμπειρικές σχέσεις, η εξίσωση Deutsch-Anderson, η οποία συνδέει την απόδοση συλλογής με ορισμένες λειτουργικές παραμέτρους, είναι η επικρατέστερη:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{A \cdot u}{Q}\right) \quad (35)$$

όπου A είναι η επιφάνεια των πλακών συλλογής, η η ταχύτητα παρασύρσεως των σωματιδίων και Q η ογκομετρική ροή του αερίου.

Μία άλλη παράμετρος η οποία επηρεάζει την απόδοση των ηλεκτροφίλτρων είναι η ηλεκτρική αντίσταση των σωματιδίων. Για καλή λειτουργία, η ηλεκτρική αντίσταση των σωματιδίων πρέπει να είναι μικρότερη των 2×10^{10} ohm.cm. Αν η αντίσταση είναι μεγαλύτερη, απαιτείται ιδιαίτερα υψηλή ηλεκτρική τάση, η οποία μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρικούς σπινθήρες και έκρηξη του αερίου. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση εξαρτάται από τη χημική σύσταση των σωματιδίων και του αερίου και ελαττώνεται σημαντικά όταν το αέριο περιέχει υδρατμούς, τριοξείδιο του θείου ή αμμωνία.

Ως ηλεκτρόδια εκκενώσεως χρησιμοποιούνται σύρματα από ανθεκτικά υλικά, όπως ο ανοξείδωτος χάλυβας, το αλουμίνιο, ο χαλκός και το τιτάνιο. Ως ηλεκτρόδια συλλογής χρησιμοποιούνται κυρίως επίπεδες πλάκες για στερεά σωματίδια ή σωληνωτές ή κυλινδρικές διατάξεις για σταγονίδια. Οι πλάκες έχουν πλάτος 3-8 π, ύψος 4-10 m και η μεταξύ τους απόσταση είναι 20-30 cm. Η ταχύτητα των αερίων κυμαίνεται μεταξύ 1-4 m/s

Άσκηση 1. Ένα ηλεκτρόφιλτρο επεξεργάζεται αέριο ρεύμα το οποίο περιέχει αιωρούμενα σωματίδια και συλλέγει το 95% των σωματιδίων.

(α) Εάν διπλασιάσουμε την παροχή του αερίου ποιο θα είναι το ποσοστό συλλογής των σωματιδίων;

(β) Το ηλεκτρόφιλτρο αποτελείται από 10 μονάδες, καθεμιά από τις οποίες έχει επιφάνεια A και θέλουμε να αυξήσουμε την απόδοσή του στο 99%.

Πόσες ακόμα ίδιες μονάδες πρέπει να προστεθούν;

Λύση

Για να επιλύσετε την Άσκηση αυτή, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την εμπειρική εξίσωση Deutsch-Anderson (Εξ. 35), αφού την μετασχηματίσετε κατάλληλα:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{A \cdot u}{Q}\right) \Rightarrow 1 - \eta = \exp\left(-\frac{A \cdot u}{Q}\right) \Rightarrow \ln(1 - \eta) = -\frac{A \cdot u}{Q}$$

Διαιρώντας κατά μέλη τους όρους της παραπάνω εξίσωσης για τις δύο περιπτώσεις, έχουμε:

$$\frac{\ln(1-\eta_1)}{\ln(1-\eta_2)} = \frac{Q_2}{Q_1} \Rightarrow \ln(1-\eta_2) = \frac{\ln(1-0,95)}{2} \Rightarrow 1-\eta_2 = 0,224 \Rightarrow \eta_2 = 0,776$$

77,6%

Β.Η εξίσωση Deutsch-Anderson (Εξ. 35) μπορεί να μετασχηματιστεί ως εξής

$$A = -\frac{Q}{u} \cdot \ln(1 - \eta)$$

Εύκολα μπορείτε τώρα να υπολογίσετε ότι:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\ln(1 - \eta_1)}{\ln(1 - \eta_2)} = 0,65 \Rightarrow A_2 = 1,54 \cdot A_1$$

Άρα, για την αύξηση της απόδοσης του συστήματος στα επιθυμητά επίπεδα απαιτούνται συνολικά 15,4 μονάδες επιφάνειας. Πρέπει λοιπόν να προστεθούν 6 ακόμα στο υπάρχον σύστημα.

Άσκηση 2. Γίνεται αναφορά στην Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 5.5. Ένας νεαρός μηχανικός πρότεινε την αύξηση της εφαρμοζόμενης τάσεως, ώστε να αυξηθεί η απόδοση από το 95 στο 99%. Εάν υποθέσουμε ότι αυτό μπορεί τεχνικά να γίνει χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα, κατά τι ποσοστό πρέπει να αυξηθεί η τάση;

Λύση

Πρέπει πρώτα να υπολογίσετε την απαιτούμενη αύξηση της ταχύτητας παρασύρσεως, ώστε η απόδοση να αυξηθεί από 95 σε 99%. Αυτό μπορεί να γίνει με χρήση της εξίσωσης Deutsch-Anderson (Εξ. 35), ως εξής:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\ln(1 - \eta_1)}{\ln(1 - \eta_2)} = 0,65 \Rightarrow A_2 = 1,54 \cdot A_1$$

Για να επιτευχθεί η παραπάνω ταχύτητα παρασύρσεως, πρέπει να αυξηθεί κατάλληλα η ένταση του ηλεκτροστατικού πεδίου, όπως προβλέπεται από την

$$\frac{u}{u_2} = \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^2 \Rightarrow E_2 = E_1 \sqrt{\frac{u_2}{u_1}} \Rightarrow E_2 = 1,24 \cdot E_1$$

Η προσρόφηση σε στερεά είναι βασισμένη στο φαινόμενο της χημορρόφησης αερίων σε επιφάνειες στερεών. Η απορρόφηση είναι βασισμένη στη διαλυτότητα του αερίου σε υγρά σε συνθήκες ισορροπίας.

Η διεργασία της οξειδωσης ή της καύσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλους τους οργανικούς αέριους ρύπους.

Οι μέθοδοι διαχωρισμού αερίων

1. Μέθοδοι κατακάθισης δια της βαρύτητας.
2. Μέθοδοι της πρόσκρουσης
3. Οι κυκλώνες σωματιδίων/αερίων.

Εφαρμόζονται στην απομάκρυνση σωματιδιακών ρύπων σχετικά μεγάλου μεγέθους ενώ η απόδοσή τους είναι μικρή ως μέτρια

Οι κυκλώνες είναι όργανα καθαρισμού αερίου από σωματίδια τα οποία αξιοποιούν την φυγόκεντρο δύναμη που αναπτύσσεται από περιστρεφόμενο αέρα ρεύματος.

Άμα θέλω να αυξήσω την απόδοση των κυκλώνων σε μικρότερα σωματίδια μπορούμε να αυξήσουμε την ταχύτητα του αερίου ή να μειώσουμε το πλάτος του αγωγού εισροής του αερίου.

Ηλεκτρική αντίσταση των σωματιδίων επηρεάζει την απόδοση των ηλεκτροφίλων.

Για καλή λειτουργία η ηλεκτρική αντίσταση των σωματιδίων πρέπει να είναι μικρότερη των $2 \cdot 10^{10} \text{ohm.cm}$.

Ο καθαρισμός του φίλτρου μπορεί να γίνει και με αναστροφή της φοράς της ροής του αερίου.

Τα σακκόφιλτρα λειτουργούν ικανοποιητικά, εάν η θερμοκρασία των αερίων δεν είναι υψηλή και αν τα σωματίδια είναι ξηρά.

Τα πλυντήρια αερίων είναι εγκαταστάσεις στις οποίες βιομηχανικά αέρια που περιέχουν μικρά σωματίδια έρχονται σε επαφή με σταγόνες νερού, στις οποίες μεταφέρονται τα σωματίδια είτε πρόσκρουση είτε με διάχυση.

Σταγόνες 50 μm , 0,5 μm τα σωματίδια μπορούν εύκολα να διαχωριστούν από το αέριο ρεύμα με συσκευές όπως οι κυκλώνες.

