

Φυσικές Διεργασίες

Πρώτη Διάλεξη

Πέμπτη, 13 Μαρτίου 2008

1. Εισαγωγή

Οι **Φυσικές διεργασίες** είναι ένα υποσύνολο της Χημικής Τεχνολογίας ή μία πλευρά της Χημικής Μηχανικής. Όσο για τη **Χημική Μηχανική / Χημική Τεχνολογία**, αυτή μπορούμε να πούμε πως είναι η εφαρμογή ή “μετάβαση” της Χημείας, με τη βοήθεια της Φυσικοχημείας και Θερμοδυναμικής, των Φαινομένων Μεταφοράς, της θεωρίας δυναμικών συστημάτων, εφαρμοσμένων μαθηματικών, τεχνολογίας και μηχανολογίας, οικονομικής ανάλυσης κλπ, από το εργαστήριο στο πεδίο της βιομηχανίας για τη μαζική παραγωγή προϊόντων μέσα από το μετασχηματισμό πρώτων υλών με τη βοήθεια φυσικών και χημικών διεργασιών.

Οι τρεις “άξονες” της ΧΤ/ΧΜ:

- Αλλαγή κλίμακας μεγέθους (από το εργαστήριο στη βιομηχανία)
- Ισοζύγια μάζας και ενέργειας
- Αριστοποίηση διεργασιών

2. Κατηγοριοποίηση των διεργασιών της ΧΤ/ΧΜ και ορισμός/περιγραφή των ΦΔ

Χημικές Διεργασίες

Προφανώς είναι διεργασίες όπου λαμβάνουν χώρα χημικές αντιδράσεις κάθε είδους και είναι αντικείμενο μελέτης της τεχνολογίας χημικών αντιδραστήρων και διεργασιών.

Φυσικές Διεργασίες (το αντικείμενο του παρόντος μαθήματος)

Για να λάβει χώρα η χημική αντίδραση πρέπει να μεταφερθούν οι πρώτες ύλες (αντιδρώντα) στον αντιδραστήρα, και μάλιστα σε κατάλληλη μορφή (π.χ. τα στερεά να έχουν υποστεί κατακερματισμό ή κονιορτοποίηση για να επιταχυνθεί μια αντίδραση που συμβαίνει στην επιφάνειά τους, τα αντιδρώντα γενικά να έχουν καθαριστεί από τις προσμίξεις με μια διαδικασία διαχωρισμού), αλλά και το μίγμα των προϊόντων να απομακρυνθεί ώστε αυτά να διαχωριστούν και να υποστούν περαιτέρω κατεργασία.

Αυτές οι “περιφερειακές” διεργασίες που προηγούνται ή έπονται της χημικής διεργασίας είναι οι φυσικές διεργασίες και όσο πάμε σε μεγαλύτερη (βιομηχανική) κλίμακα, τόσο πιο σημαντικός είναι ο ρόλος τους. Μάλιστα, υπάρχουν και μονάδες παραγωγής όπου συμβαίνουν αποκλειστικά φυσικές και όχι χημικές διεργασίες. Π.χ. σε μια μονάδα απόσταξης ενδιαφερόμαστε για το διαχωρισμό συστατικών του πετρελαίου, ή ακόμη σε άλλες διεργασίες (π.χ. βιομηχανία τσιμέντου, χρωμάτων, πολυμερών κλπ) μπορεί να επιδιώκουμε την ανάμιξη κάποιων υλικών.

Επομένως, οι Φυσικές Διεργασίες παίζουν τεράστιο ρόλο στη χημική βιομηχανία και αυτό είναι η πιο προφανής εκδήλωση της επίπτωσης που έχει η αλλαγή κλίμακας μεγέθους και το πέρασμα από το εργαστήριο στη βιομηχανία.

Γενικά, μπορούμε να διακρίνουμε ΦΔ **ανάμιξης** και ΦΔ **διαχωρισμού** συστατικών. Υπάρχουν επίσης και ΦΔ όπου ένα συστατικό ή μίγμα, απλώς αλλάζει μορφή (π.χ. ελάττωση μεγέθους στερεών), καθώς και διεργασίες μεταφοράς υλικών. Αυτές οι τελευταίες συχνά αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστός κλάδος (Τεχνική Σωματιδίων).

Γενικά, η ανάμιξη και διάλυση *ευνοείται θερμοδυναμικά* (εκτός από ειδικές περιπτώσεις μη αναμίξιμων συστατικών), ενώ οι άλλες διεργασίες όχι. Γι' αυτό, στην ανάμιξη δεν απαιτείται κατ' αρχήν να καταβάλλουμε έργο, παρά μόνο για να επιταχύνουμε τη διαδικασία. Ενώ για τις άλλες διεργασίες (διαχωρισμοί) απαιτείται να καταβάλλουμε και “θερμοδυναμικό έργο” ή να δημιουργήσουμε τις προϋποθέσεις για την εμφάνιση της κινητήριας δύναμης που θα ευνοήσει τη διαδικασία, με τη βοήθεια είτε πίεσης είτε θερμότητας είτε προσθήκης ουσιών που θα μεταβάλλουν

τις ιδιότητες του υπό κατεργασία μίγματος.

3. Κατάταξη των ΦΔ

Πιο αναλυτικά, οι ΦΔ που μπορεί να μας απασχολήσουν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Μηχανικές Διεργασίες (Τεχνική Σωματιδίων):

- Μεταβολή μεγέθους,
- Ρευστοποίηση,
- Μαζική ροή,
- Ανάμιξη,
- Μεταφορά και
- Αποθήκευση στερεών

Κινητήρια δύναμη: μηχανικό έργο.

- Υδρομηχανικές Διεργασίες

- Διακίνηση υγρών
- Ανάδευση υγρών
- συμπίεση/μεταφορά αερίων
- διαχωρισμοί ετερογενών μιγμάτων (κατακάθιση, φυγοκέντριση, υδρομηχανική ταξινόμηση/εμπλουτισμός μεταλλευμάτων)

Κινητήρια Δύναμη: βαθμίδα (διαφορά) πίεσης

- Θερμικές Διεργασίες (εναλλαγή θερμότητας)

- θέρμανση,
- ψύξη
- συμπύκνωση,
- υγροποίηση,
- κατάψυξη,
- ατμοπαραγωγή,
- εξάτμιση

Αρχή λειτουργίας: ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ στερεάς επιφάνειας και δύο εκατέρωθεν ρευστών φάσεων.

Κινητήρια Δύναμη: θερμοκρασιακή βαθμίδα

- Φυσικοί Διαχωρισμοί (μεταφορά μάζας)

- Απορρόφηση / προσρόφηση (υγρό – αέριο)
- Απόσταξη (υγρό – αέριο)
- Εκχύλιση (υγρό – υγρό)
- προσρόφηση (υγρό/αέριο – στερεό)
- κρυστάλλωση / έκπλυση (υγρό – στερεό)
- ύγρανση / ξήρανση (υγρό – στερεό)
- διέλευση από μεμβράνες, που ανάλογα με το υλικό της μεμβράνης (οργανική, ανόργανη) μπορεί να θεωρηθεί συγγενής προς την απορρόφηση/εκρόφηση ή την προσρόφηση.

Αρχή λειτουργίας: μεταφορά συστατικών από μία φάση σε μια άλλη μέσω μοριακής διάχυσης· ανταλλαγή διαχεόμενων συστατικών μεταξύ φάσεων. Η διάχυση, ως πιο αργή διεργασία, καθορίζει την ταχύτητα της διεργασίας.

Κινητήρια δύναμη: βαθμίδα συγκέντρωσης ή γενικότερα χημικού δυναμικού (αλλά βοηθά και η πίεση ή/και θερμοκρασία).

4. Απόσταξη και απορρόφηση

Στη συνέχεια ασχολούμαστε με Φυσικούς Διαχωρισμούς και κατά κύριο λόγο απορρόφηση/εκρόφηση και απόσταξη.

Απορρόφηση αερίων:

Μίγμα αερίων έρχεται σε επαφή με υγρό και το αέριο συστατικό που είναι πιο ευδιάλυτο απομακρύνεται από το μίγμα (αμμωνία από αέρα σε νερό). Τα μόρια του ευδιάλυτου συστατικού διέρχονται από τη διαχωριστική επιφάνεια (διεπιφάνεια) μεταξύ των δύο φάσεων: Αέρια φάση ---> διεπιφάνεια ---> υγρή φάση.

Η συμμετρική διεργασία (δηλαδή αυτή που χωρεί κατά την αντίθετη κατεύθυνση, υγρή φάση ---> διεπιφάνεια ---> αέρια φάση) είναι η **εκρόφηση** = απομάκρυνση του διαλυμένου αερίου και ανάκτηση του διαλύτη.

Απόσταξη:

Μίγμα αναμίξιμων υγρών διαχωρίζεται όταν αυτά έχουν διαφορά πτητικότητας. Τα “βαρύτερα κλάσματα” (χαμηλότερο σημείο ζέσεως) τείνουν να υγροποιηθούν (ατμός ---> διεπιφάνεια ---> υγρό) και τα “ελαφρύτερα κλάσματα” τείνουν να εξατμιστούν (υγρό ---> διεπιφάνεια ---> ατμός).

Π.χ. κλάσματα πετρελαίου = μίγματα υδρογονανθράκων.

Περαιτέρω κατάταξη των ΦΔ μπορεί να γίνει με τα εξής κριτήρια:

- λειτουργία
 - συνεχής (που μπορεί να είναι σε μόνιμη ή μεταβατική κατάσταση)
 - ασυνεχής ή περιοδική
 - ημισυνεχής
- χρόνο παραμονής
 - πλήρους ή ιδανικής ανάμιξης
 - εμβολικής ροής ή πλήρους ή ιδανικής εκτόπισης

5. Ανάλυση / Σχεδιασμός διεργασιών.

Ο σχεδιασμός των ΦΔ περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Προσδιορίζονται το είδος διεργασίας (αρχές που τη διέπουν), η κινητήρια δύναμη και προτιμώμενη κατεύθυνση και οι συνοριακές συνθήκες (πίεση, θερμοκρασία, σύσταση εισόδου και εξόδου σύμφωνα με τις ανάγκες και το γενικότερο σχεδιασμό της παραγωγικής διαδικασίας).
- Καταστρώνονται τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας (εισερχόμενα, εξερχόμενα ρεύματα, θερμαντικά ή ψυκτικά μέσα και ανταλλασσόμενη θερμότητα) και διεξάγεται ο υπολογισμός των αγνώστων.
- Κινητική μελέτη και υπολογισμός ρυθμού διεργασίας βάσει των αρχών που διέπουν τη διεργασία.
- Υπολογισμός “ενεργού μεγέθους” συσκευής (επιφάνεια, διατομή, όγκος, ανάλογα με το είδος της διεργασίας) από τη σχέση:
$$\text{Ρυθμός} = (\text{ανταλλασσόμενη μάζα ή ενέργεια}) / (\text{μέγεθος} \times \text{χρόνος}) = (\text{Κινητήρια Δύναμη}) / \text{Αντίσταση}$$
- Διαστασιολόγηση συσκευής.

Αριστοποίηση

Ανάλογα με τους περιορισμούς ή τα δεδομένα και τις απαιτήσεις του προβλήματος γενικότερα, μπορεί να υπάρχουν μία ή περισσότερες ελεύθερες μεταβλητές ή παράμετροι των οποίων η μεταβολή τροποποιεί τη λύση του προβλήματος. Αυτό επιβάλλει την εύρεση της βέλτιστης λύσης με βάση τις απαιτήσεις της παραγωγής. Π.χ. ο λόγος αναρροής σε μια αποστακτική στήλη με την αύξησή του οδηγεί σε καθαρότερο προϊόν αλλά και μικρότερη ποσότητα τελικού προϊόντος. Αυτό επιβάλλει ένα συμβιβασμό για την εύρεση ενός σχετικού βέλτιστου που μπορεί να προσδιοριστεί με βάση κάποιο οικονομικό π.χ. κριτήριο.

6. Φυσικά φαινόμενα που υπεισέρχονται στους Φυσικούς Διαχωρισμούς

Στους Φυσικούς Διαχωρισμούς, κεντρικό ρόλο παίζουν:

- η μοριακή διάχυση
- η ισορροπία φάσεων

Διάχυση.

Σε μία φάση που βρίσκεται σε ηρεμία, τα μόρια δεν είναι ακίνητα αλλά εκτελούν άτακτη “θερμική” μεταφορική κίνηση, η οποία λόγω των μεταξύ τους κρούσεων είναι τυχαία και απρόβλεπτη, στο μικροσκοπικό επίπεδο. Σε μακροσκοπική κλίμακα όμως οδηγεί στην ομογενοποίηση των συστημάτων, βλ. ανάμιξη δύο συστατικών.

Όταν το μίγμα δεν είναι ομοιογενές, η διαχυτική κίνηση προχωρεί κατά προτίμηση από τις περιοχές υψηλής συγκέντρωσης κάθε συστατικού προς αυτές της χαμηλότερης.

Ισορροπία.

Όταν ένα σύστημα μίας ή περισσότερων φάσεων μπορεί να περιγραφεί ικανοποιητικά από ένα μικρό αριθμό μεταβλητών (θερμοκρασία, πίεση, σύσταση) λέμε ότι είναι σε θερμοδυναμική ισορροπία. Αυτή, σε μικροσκοπικό επίπεδο είναι δυναμική δηλαδή δεν έχει σχέση με την ακινησία της μηχανικής ισορροπίας. Π.χ. ένα υγρό σε ισορροπία με το περιβάλλον του έχει ίδια θερμοκρασία με αυτό αλλά ανταλλάσσει διαρκώς μόρια με την ατμόσφαιρα (εξάτμιση και επανυγροποίηση) ώστε συνολικά διατηρείται στην ίδια κατάσταση.

Η διάχυση και η ισορροπία είναι κατά κάποιο τρόπο αλληλένδετες. Ένα σύστημα που δεν είναι σε ισορροπία τείνει να επανέλθει σε αυτή και η διαχυτική κίνηση παίζει σημαντικό ρόλο. Αυτή τη σχέση προσπαθούμε να εκμεταλλευτούμε με ποικίλους τρόπους στα πλαίσια των Φυσικών Διεργασιών και των Φυσικών Διαχωρισμών ειδικότερα.