

Sistemi di agitazione

Ottimizzare la fermentazione

Al fine di ottimizzare le rese di fermentazione, il sistema di agitazione deve essere valutato attentamente. Spesso vengono utilizzate giranti multistadio a disco che rivelano diversi punti deboli. Il sistema di miscelazione EKATO combina agitazione assiale e radiale, assicurando tassi ottimizzati di dispersione e di crescita.

Durante il processo di fermentazione, i microrganismi danno origine a prodotti di metabolismo quali enzimi, principi attivi, amminoacidi o vitamine. Al fine di migliorare la produttività della fermentazione, è indispensabile provvedere al meglio alle necessità dei microrganismi, ossia fornire loro quantità costanti e sufficienti di ossigeno e nutrienti. Inoltre, è essenziale rimuovere sottoprodotti quali l'anidride carbonica oltre a mantenere le condizioni ideali in termini di temperatura e pH. Infine è necessario far sì che le forze di taglio determinate dall'agitazione non danneggino le strutture cellulari di grandi gruppi di cellule come ad esempio i rag-

gruppamenti di cellule vegetali oppure gli organismi multi-strato. Per soddisfare in modo ottimale gli aspetti biologici della fermentazione, il sistema di agitazione in presenza di fase gas deve inoltre essere adattato alle specifiche condizioni operative degli impianti industriali. Occorre considerare che si tratta di agitazione trifasica: la fase acquosa del brodo di fermentazione viene miscelata nel modo più omogeneo possibile al fine di ridurre gradienti di temperatura, di pH e di concentrazione di sostanze disciolte. I microrganismi e i componenti nutritivi solidi devono essere portati e mantenuti in sospensione e, infine, l'aria alimentata deve essere interamente disper-

sa all'interno del serbatoio. Inoltre, il trasferimento locale dell'ossigeno delle bolle di aria disperse dalle giranti, dal brodo di fermentazione ai microrganismi deve essere sufficiente a soddisfare la domanda di ossigeno delle cellule.

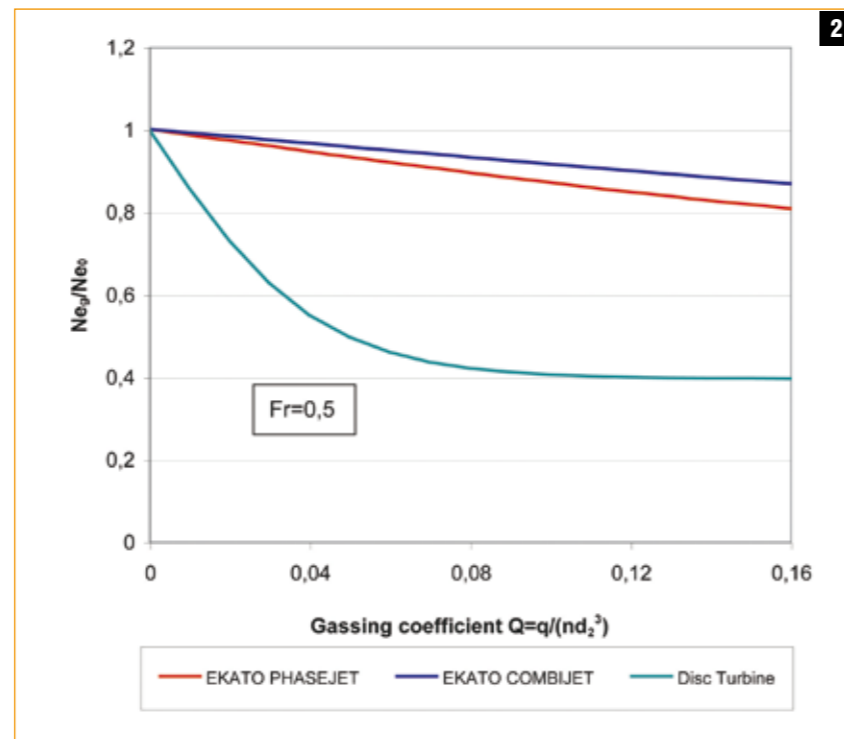
Equilibrio dinamico nel trasferimento di O_2

Il tasso volumetrico di trasferimento dell'ossigeno (OTR) è definito dal coefficiente volumetrico di trasferimento $k_L a$, dalla solubilità dell'ossigeno nel brodo di fermentazione c^* e dal consumo volumetrico di ossigeno da parte dei microrganismi. Tra l'apporto e il consumo di ossigeno nel brodo di fermentazione si

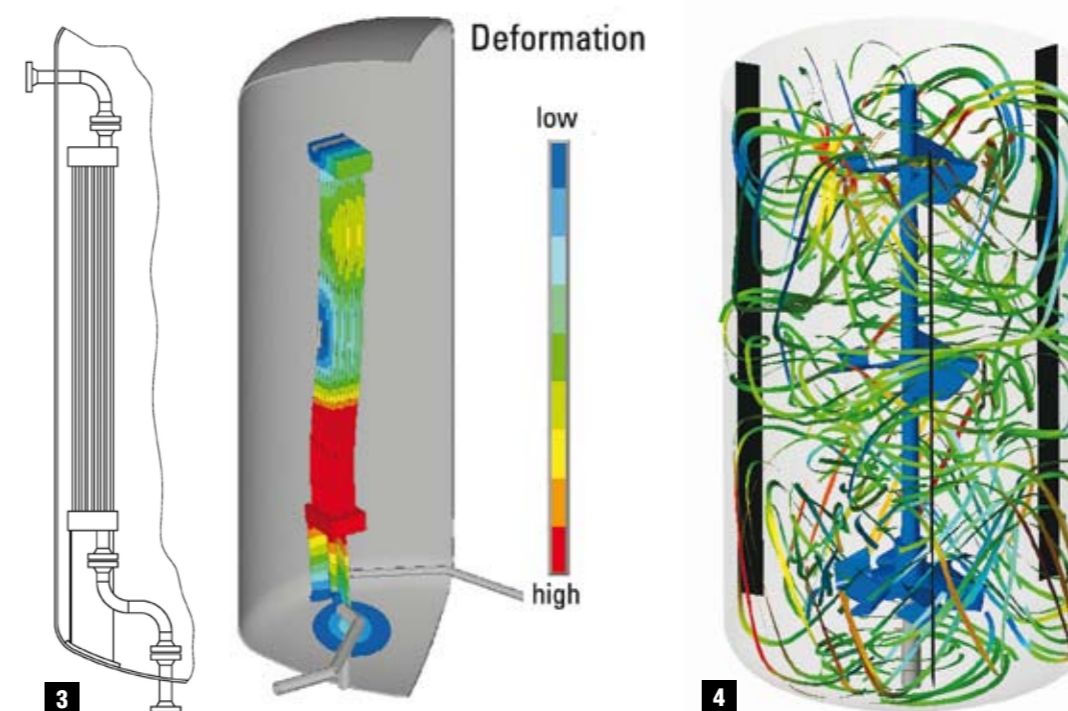




1



2



3

4

1 - Sistema di agitazione con dispersore principale EKATO PHASEJET e tre giranti secondarie a flusso assiale EKATO COMBIJET

2 - Coefficienti di potenza con e senza dispersione di gas: le giranti concave PHASEJET e COMBIJET assicurano prestazioni operative molto stabili

3 - Dalla progettazione di fasci tubieri (a sinistra) al modello numerico che mostra i risultati dell'analisi ad elementi finiti (a destra). Nell'esempio le aree colorate evidenziano le deformazioni localizzate

4 - Le linee di flusso rivelano una buona miscelazione assiale anche nei serbatoi stretti e alti, creando condizioni ottimali per i microrganismi

stabilisce un equilibrio dinamico che determina la concentrazione di ossigeno disciolto c_L nella fase liquida, in base alla formula:

$$OTR = k_L a \cdot (c^* + c_L)$$

Fattori quali la pressione (pressione operativa e altezza statica del punto di alimentazione) e temperatura ma anche la concentrazione dei componenti disciolti nel brodo di fermentazione, come agenti antischiuma e sali nutritivi, influenzano la solubilità dell'ossigeno c^* . I diversi tipi di microrganismi raggiungono la massima capacità metabolica se la concentrazione di ossigeno disciolto c_L non scende al di sotto di un limite critico tipico per ciascun organismo. Perciò è importante che questo valore sia mantenuto

all'interno dell'intero reattore. Il consumo specifico di ossigeno da parte dei microrganismi viene solitamente acquisito mediante test o dati pilota da reattori esistenti.

Al fine di raggiungere il valore OTR necessario, il sistema di agitazione e dispersione gas deve essere in grado di raggiungere un valore $k_L a$ sufficientemente elevato. Il valore $k_L a$, in un dato sistema materiali, è influenzato principalmente dall'apporto specifico di energia delle giranti (P/V) e dalla velocità superficiale del gas v_{sg} , secondo la formula:

$$k_L a = k \cdot \left(\frac{P}{V}\right)^\alpha \cdot v_{sg}^\beta$$

La costante k combina le proprietà mate-

riali specifiche del gas e del liquido con quelle del sistema di dispersione gas. Gli esponenti α e β sono costanti adatte a un vasto range operativo per ogni sistema dato, tuttavia il loro valore dipende strettamente dal comportamento di coalescenza della fase continua. Se le costanti α e β non sono note da sistemi simili, è possibile determinarle per il sistema specifico mediante appositi test pilota.

Il calore metabolico dei microrganismi è di circa 500 kJ per mole di ossigeno. L'impianto deve essere progettato per il relativo trasferimento di calore, a tal proposito deve essere considerato che il rapporto tra la superficie di scambio termico della

parete del serbatoio A e il volume del fermentatore V (con valori crescenti) tende a diminuire ($A/V \sim 1/d$).

Sfruttare l'economia di scala

Per sfruttare in modo più efficiente il concetto della "economia di scala", si registra una tendenza verso un costante aumento della capacità degli impianti. Pertanto, il trasferimento di calore dal fermentatore assume sempre più importanza. I brodi di fermentazione caratterizzati da una maggiore viscosità η , come nel caso della produzione di antibiotici, rappresentano una sfida ancora più grande, poiché il coefficiente di trasferimento del calore per la parte di agitazione diminuisce a una viscosità corrispondente a $\alpha \sim \eta^{-1/3}$. L'incremento di α , grazie ad aumentate prestazioni di agitazione non si rivela necessariamente utile, dal momento che la potenza all'albero viene sempre convertita in calore, con ripercussioni sul brodo di fermentazione. Per questa ragione, sussiste un limite relativo all'equilibrio termico all'interno del fermentatore oltre il quale l'energia indotta, generata dal metabolismo dei microrganismi e dall'apporto energetico delle giranti, produce calore in una quantità tale da non poter essere rimossa solo dalle pareti del serbatoio. In questi casi, il fermentatore deve essere dotato di apposite serpentine di raffreddamento. Il dimensionamento delle giranti riveste un ruolo di primaria impor-

tanza in relazione al trasferimento del calore, in particolare per i fluidi non newtoniani.

I sistemi di miscelazione tradizionali

I fermentatori industriali utilizzano solitamente turbine a disco multistadio con pale piane, con rapporto tra diametro turbina e diametro serbatoio pari a $d_2/d_1 = 0,3-0,5$. Tuttavia, in presenza di turbine a disco multistadio con pale piane, si verifica generalmente la formazione di compartimenti all'interno del serbatoio: attorno ad ogni stadio di girante si viene a creare una zona ben miscelata, con due vortici ad anello stabili. Tuttavia, tra i singoli compartimenti si verifica un trasferimento di massa relativamente limitato. Di conseguenza, il tempo di miscelazione per l'intero reattore aumenta sensibilmente nel caso di serbatoi stretti ed alti. Ad esempio, con questo tipo di serbatoi possono insorgere delle notevoli disomogeneità in termini di pH o di distribuzione delle sostanze nutritive, con ripercussioni sui trend di controllo.

Con turbine a disco con pale piane, il trasferimento di potenza cala fortemente in presenza di gas. Il motore deve però essere dimensionato per assicurare l'apporto di energia in assenza di gas, il che comporta un fattore di sicurezza meccanico superfluo ai fini del processo e un conseguente aumento dei costi. In alternativa, si deve

prevedere un variatore di frequenza o un motore a polarità variabile.

A velocità fisse, il consumo di energia varia considerevolmente durante il ciclo di produzione di ciascun lotto a causa delle diverse condizioni di distribuzione del gas; dunque, è molto difficile giungere a un design ottimale in termini di OTR.

Inoltre, con l'aumentare delle portate di alimentazione del gas con le turbine a pale piane il punto di flooding viene raggiunto in tempi relativamente brevi, dopodiché l'aria non si disperde più totalmente ma sale lungo l'albero sotto forma di bolle di dimensioni relativamente grandi. Questa eventualità deve essere evitata, poiché la formula relativa a $k_L a$ precedentemente illustrata non sarebbe più valida. L'aria alimentata oltre il punto di flooding non contribuisce significativamente al trasferimento di massa, comportando anzi uno spreco di potenza al compressore.

Miscelazione radiale e assiale combinate

La combinazione tra un dispersore principale per il gas alimentato con miscelazione radiale (EKATO PHASEJET) e una girante secondaria assiale (EKATO COMBIJET) minimizza i punti deboli delle turbine a disco tradizionali. Entrambe le giranti sono di tipo concavo, tipologia nota per la stabilità operativa in termini di

Da oltre 50 anni al servizio degli impiantisti

Presenti sul mercato dagli Anni 50, **Ravizza & C.** rappresenta e distribuisce in Italia prodotti di società straniere di primissimo piano, ciascuna leader nelle proprie tecnologie. Questa scelta di fondo si è dimostrata vincente sia negli anni dell'industrializzazione italiana del secondo dopoguerra sia, successivamente, all'aumentare degli standard qualitativi imposti dall'aumentata concorrenza internazionale.

I settori di nostra maggiore presenza sono in primo luogo l'industria chimica in senso lato, la petrolchimica, la generazione di potenza, la farmaceutica e, con alcune delle nostre rappresentate, l'industria alimentare, mineraria, siderurgica e quella dei metalli non ferrosi.

Da alcuni anni Ravizza & C. segue la distribuzione sul territorio nazionale delle macchine e delle apparecchiature per la miscelazione prodotte da Ekato RMT, tra cui gli agitatori miscelatori di processo per prodotti liquidi e semi-liquidi.

Per maggiori informazioni, www.ravizza.it





consumi energetici. In molti casi, l'agitatore può essere progettato con velocità fissa per esercizio senza dispersione o con diverse situazioni di dispersione di gas. Ciò rappresenta un vantaggio dal punto di vista dell'investimento in quanto il limite di flooding di PHASEJET consente una portata di gas considerevolmente maggiore, con un potenziale di incremento della capacità rispetto alle turbine a disco a pale piane. Per prima cosa COMBIJET crea componenti di flusso assiali, i quali comportano un trasferimento convettivo di massa più rapido tra i singoli stadi delle giranti. I tempi di miscelazione possono essere ridotti di oltre la metà mantenendo lo stesso apporto di energia e lo stesso tasso di trasferimento dell'aria. La maggiore omogeneità ripaga, non solo con un controllo più stabile ma anche con una più uniforme distribuzione delle condizioni vitali per i microrganismi, che consente di incrementare la produttività e ridurre la gamma dei sottoprodotti.

Vantaggi tecnologici ed economici

Il sistema di agitazione con EKATO PHASEJET e COMBIJET offre molti vantaggi in termini di tecnologia di processo. Inoltre le spinte idrauliche radiali sono inferiori rispetto a quelle delle turbine a disco con pale piane; pertanto, grazie al numero di potenza inferiore si ottiene un minore trasferimento di coppia a pari potenza all'albero e maggiore velocità. Entrambi i fattori conducono a vantaggi economici, dal momento che risultano necessarie dimensioni inferiori per albero, tenuta meccanica e riduttore.

Spesso, in fase di progettazione, molti utenti sottovalutano le sollecitazioni meccaniche del fermentatore, che consiste in serbatoio, agitatore e componenti interni quali frangiflutti, scambiatore di calore e dispositivi di alimentazione del gas. La pressione di progetto è normalmente di circa 3 bar, e occorre considerare anche il peso dell'agitatore. In

queste condizioni di carico, il calcolo statico richiederebbe pareti molto sottili, tuttavia è necessario tenere conto delle sollecitazioni dinamiche trasmesse al fondo superiore del serbatoio dall'albero e dalla lanterna dell'agitatore e che possono generare livelli di vibrazioni insopportabili con conseguente formazione di cricche. Persino i componenti interni, come lo scambiatore di calore, sono esposti a elevate sollecitazioni dinamiche causate dal flusso turbolento all'interno del serbatoio dato che la potenza specifica di miscelazione nei fermentatori è compresa tra 1 e 8 kW/m³.

Oltre al carico derivante dalla pressione sulle parti citate, si deve anche considerare che le serpentine di riscaldamento/raffreddamento generano una propria frequenza naturale causata dal distacco dei vortici: ciò determina vibrazioni di risonanza, con danni che si verificano solitamente in breve tempo. I costi che ne conseguono non si limitano a quelli di riparazioni e modiche. Le perdite di prodotto e i costi di fermo impianto possono superare i primi di gran lunga. Anche l'intero serbatoio con la struttura di supporto rappresenta un sistema che può essere soggetto a vibrazioni indotte dalla propria frequenza naturale.

La scelta dell'agitatore ottimale

Solo un approccio olistico è in grado di garantire il funzionamento sicuro del sistema di agitazione. Questo comprende i carichi dinamici e idraulici sulle giranti, sull'albero e su tutti i componenti interni. Conoscere le velocità di flusso locali consente di determinare le frequenze di sollecitazione generate dai componenti. Questi dati, utilizzati nelle analisi modali e agli elementi finiti, consentono di definire le sollecitazioni locali che agiscono su tutti i componenti critici e le loro frequenze naturali.

Determinare le necessarie misure di progettazione sulla base di questi dati rappresenta l'ultima fase. L'approvvigionamento di agitatore e serbatoio da un'unica fonte non solo risparmia all'operatore la gestione dell'interfaccia, ma fa sì che l'implementazione dei requisiti di processo e delle relative soluzioni costruttive si traduca in un impianto economico e sicuro dal punto di vista operativo ■