



Gli ultrasuoni nel lavaggio industriale (parte 13)



Una panoramica completa, teorica e pratica, sullo "stato dell'arte" di una tecnologia che presenta ancora molti lati sconosciuti e che è caratterizzata da esperienze empiriche a volte controverse

A cura della Redazione

LA SCELTA DELLE FREQUENZE

Si è visto come, per conciliare uniformità di pulizia con la prevenzione di possibili danni ai materiali, la perturbazione trasmessa deve essere in grado di ottimizzare sia la distribuzione spaziale e temporale dell'energia, sia l'intensità di cavitazione prodotta; nella pratica questo si traduce nella scelta della frequenza e della potenza più adatta al tipo di manufatto che deve essere pulito.

La possibilità di controllo della potenza, in termini di possibilità di variazione manuale della stessa, agendo direttamente sul generatore, è consigliabile in tutti quei casi in cui la stessa vasca di lavaggio deve poter trattare tipologie differenti di pezzi, sia come forma sia come materiale.

La scelta della frequenza si basa invece sulle caratteristiche fisiche del contaminante che deve essere asportato dalla superficie. Le indicazioni che seguono sono generali e non tengono conto delle sinergie con il prodotto chimico, che possono variare di caso in caso.

Per sporchi difficili o di grosse dimensioni e presenti in elevate quantità sui pezzi, è consigliabile l'uso di basse frequenze (generanti bolle più grosse, che forniscono una maggiore intensità di cavitazione), anche se è preferibile effettuare prima un prelavaggio di sgrassatura.

Per sporchi meno difficili (cioè

meno legati alla superficie, quali ad esempio le polveri) è consigliabile l'uso di frequenze più elevate, in quanto non sono necessarie intensità di cavitazione elevate per fornire l'adeguata energia meccanica per l'asportazione del contaminante.

Le frequenze più elevate risultano anche più idonee per lavaggi che devono penetrare a fondo nella superficie, soprattutto quando questa è porosa, in quanto le bolle più piccole si possono formare più facilmente nelle irregolarità della superficie stessa; ciò a cui si deve prestare attenzione in questo caso è di fornire la necessaria potenza per permettere che venga superata la soglia di cavitazione: in caso contrario, l'uso delle alte frequenze può solo essere d'aiuto all'azione chimica del prodotto pulente ed all'allontanamento del contaminante mediante la corrente acustica.

Occorre però segnalare il fatto che l'uso delle alte frequenze viene utilizzato soprattutto quando il grado di pulizia richiesto è assai elevato ed il materiale da trattare è delicato; in caso contrario (tipicamente nel caso di lavaggi interoperazionali in cui il grado di pulizia richiesto non è elevato), l'uso di ultrasuoni a bassa frequenza può essere adottato senza il pericolo di effetti secondari negativi.

Prove sperimentali hanno mostrato l'effettiva dipendenza di tipo

direttamente proporzionale tra la frequenza utilizzata e l'efficienza di lavaggio. A titolo di esempio, si riportano in Tab. IV ed in Fig. 44 i risultati di prove di rimozione di particelle sferiche da wafer di silicio in acqua deionizzata.

Come si evince dalla tabella e dai grafici, l'efficienza di rimozione aumenta all'aumentare della frequenza ma, a parità di frequenza e di potenza, diminuisce al diminuire delle dimensioni delle particelle; quest'ultimo fenomeno è dovuto al fatto che al diminuire delle dimensioni delle particelle le forze di adesione che le tengono legate alla superficie aumentano di intensità: per aumentare l'efficienza occorre dunque incrementare la potenza erogata.

L'efficienza di rimozione è anche direttamente proporzionale al tempo di applicazione (aumenta all'aumentare del tempo), ma fino ad un certo punto, oltre il quale l'efficienza si stabilizza o addirittura può diminuire, sostanzialmente a causa dei fenomeni di rideposizione del contaminante precedentemente asportato.

Il problema che si pone è comunque quello di identificare la giusta frequenza per ogni tipologia o classe di contaminante, ed ottimizzare il processo di lavaggio tenendo conto della scelta effettuata; prove sperimentali mostrano che le alte frequenze sono maggiormente efficienti quanto più piccole sono le

	40 kHz	65 kHz	80 kHz	100 kHz	862 kHz
1.0 μm	88	95	83	87	95
0.7 μm	84	87	75	75	90
0.5 μm	75	84	70	70	85
0.3 μm	70	72	65	57	n/a

Tab. IV - Efficienza di rimozione a diverse frequenze; tempo di applicazione: 20 minuti

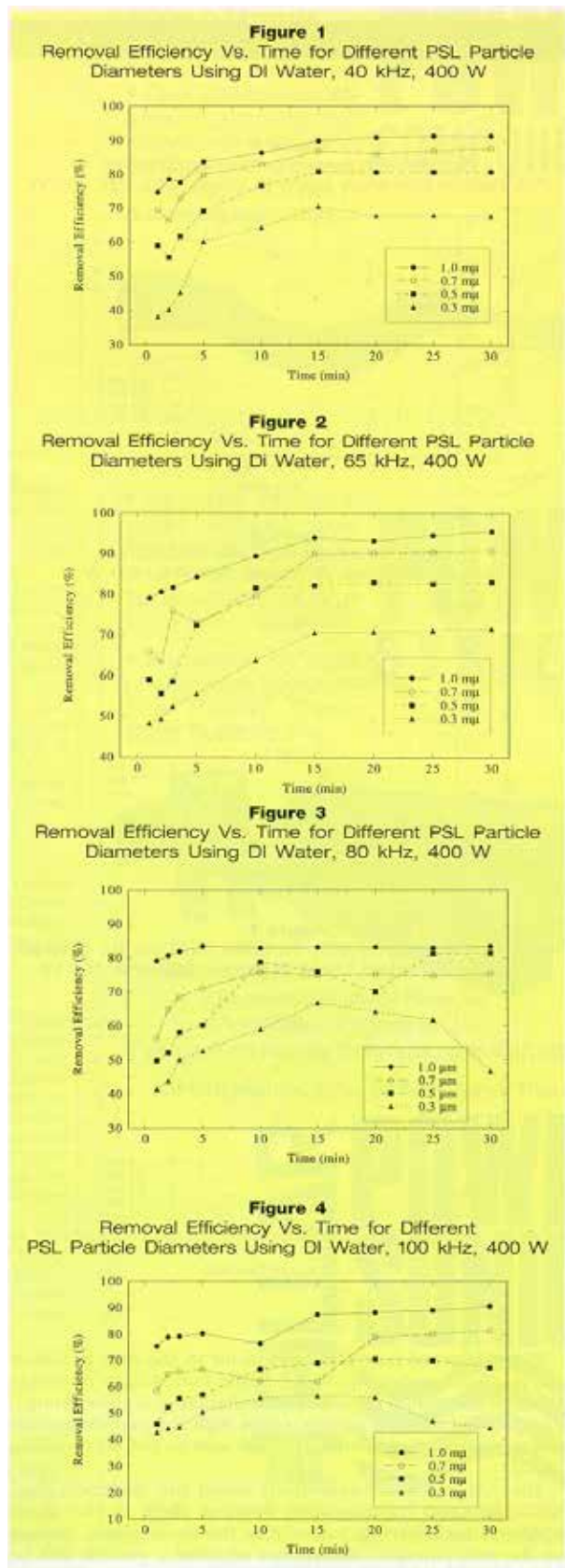


Fig. 44 - Efficienza di rimozione di particelle sferiche di silicio di diverse dimensioni, in funzione del tempo di applicazione, con ultrasuoni a differenti frequenze operative a parità di potenza (400 W)

dimensioni dello sporco, e viceversa. Una possibile soluzione ottimale potrebbe essere quella di predisporre più vasche in cascata, ognuna delle quali dotata di dispositivo ad ultrasuoni dalla frequenza e potenza adeguata al tipo di trattamento in corso (lavaggio, risciacquo, eccetera). Quello che invece a volte viene proposto è il cosiddetto sistema a multifrequenza, il quale dovrebbe fornire un certo miglioramento delle prestazioni (in termini di eliminazione delle onde stazionarie, adeguamento alle variazioni di carico acustico, formazione di bolle di differenti dimensioni in grado di intervenire su differenti tipologie e dimensioni di sporco, capacità di far cavitare prodotti ad elevata viscosità), utilizzando un unico generatore in un'unica vasca di lavaggio. Le frequenze erogate contemporaneamente sono multipli (armoniche) della frequenza fondamentale. Ad esempio, l'applicazione di un segnale elettrico ad onda quadra, ha come risultato l'emissione di onde acustiche ricche di armoniche; il risultato è un sistema a multifrequenza che vibra simultaneamente a diverse frequenze, che sono le armoniche della frequenza fondamentale.

Il problema di questo tipo di lavaggio in multifrequenza risiede nel fatto che la maggior parte della potenza erogata si riversa sulla frequenza fondamentale, mentre la parte residua si distribuisce sulle altre armoniche: il risultato è che l'intensità delle armoniche è così bassa da non raggiungere la soglia di cavitazione, rendendo scarsamente efficiente il lavaggio alle frequenze più elevate.

In ogni caso, nei dispositivi a multifrequenza l'elemento piezoelettrico deve essere del tipo a "larga banda di frequenza", cioè deve essere in grado di risuonare a diverse frequenze.

L'efficienza di lavaggio dipende anche dall'ottimizzazione degli altri parametri di processo (tempo, temperatura, prodotti chimici), poiché il grado di lavaggio richiesto può essere ottenuto solo dalla sinergia di questi

Fig. 45 - Vasca in degasazione



diversi fattori con le caratteristiche del dispositivo ad ultrasuoni prescelto.

La prima operazione che normalmente viene consigliata di eseguire, prima ancora di immergere i pezzi da lavare, è l'eliminazione dei gas disciolti nel liquido di lavaggio: questa operazione è denominata degasazione (fig. 45).

Ad esclusione di quei casi visti precedentemente, in cui tale operazione può essere sconsigliata per i possibili danneggiamenti che ne possono conseguire, la degasazione serve ad evitare che la presenza dei gas disciolti, rendendo disomogeneo il liquido, provochi una sorta di attenuazione e distorsione dell'onda trasmessa, che si traduce anche in una riduzione dell'intensità di cavitazione e quindi in una riduzione della qualità del lavaggio; questo fenomeno può essere verificato nella pratica, prestando attenzione al rumore prodotto durante il processo: finché c'è presenza di gas disciolti, il rumore prodotto è appena percepibile mentre, una volta degasato il liquido, il rumore diventa più intenso (N.B.: questa prova è valida esclusivamente nelle condizioni operative della vasca che si sta testando e non può essere utilizzata come metodologia di confronto tra vasche diverse; il problema del rumore degli ultrasuoni verrà affron-

tato più avanti).

In merito alla questione di quando e quanto degasare, le opinioni sono contrastanti: alcuni impiantisti ritengono che il bagno di lavaggio debba essere degasato prima di ogni introduzione dei pezzi, ma anche non appena questi sono stati introdotti, poiché essi stessi apportano aria all'interno del liquido, soprattutto se sono presenti cavità, eccetera; altri impiantisti ritengono invece che la degasazione vada effettuata solo quando viene sostituito il bagno esausto con uno nuovo, in quanto, una volta degasato, il liquido non "assorbe" più ossigeno e la quantità d'aria che può essere introdotta mediante i pezzi si può considerare trascurabile.

I due punti di vista si traducono in aspetti commerciali di un certo rilievo, che sostanzialmente fanno leva su due punti: la durata della degasazione e le soluzioni tecniche per la sua effettuazione. Vediamo in dettaglio la questione.

La tempistica della degasazione dipende da come essa viene condotta e può durare da qualche minuto, nelle vasche più piccole, a più di un'ora nelle vasche più grandi: l'innalzamento della temperatura del bagno contribuisce notevolmente alla riduzione dei tempi, ma deve essere compatibile sia con le caratteristiche del prodotto chimico utilizzato, sia del materiale trattato. L'incremento della potenza non porta necessariamente ad una riduzione dei tempi: è più efficiente l'utilizzo degli ultrasuoni in modalità "pulse", eventualmente coadiuvato dalla presenza di un prodotto che riduca la tensione superficiale del liquido.

La modalità "pulse" consiste nel far operare il generatore come erogatore di impulsi al posto dell'onda periodica (N.B.: il generatore non viene continuamente acceso e spento, poiché si rovinerebbe per gli eccessivi spunti a cui sarebbe sottoposto). La generazione di impulsi crea dei treni d'onda che partono a intervalli regolari (la cui frequenza può variare da uno ogni qualche secondo, a centinaia di volte al secondo), dall'unità radiante, permettendo, mediamente nel tempo, di ridurre anche del 50% la potenza complessiva erogata in questa fase (Fig. 46).

Ai ratei di impulso più bassi si ottiene una maggiore degasazione del liquido, in quanto si permette alle bolle d'aria di coalescere e di salire in superficie durante l'intervallo tra due impulsi (assenza di attivazione). Ai ratei di impulso più elevati (tra 100 microsecondi

Fig. 46 - Schematizzazione della modalità "pulse"

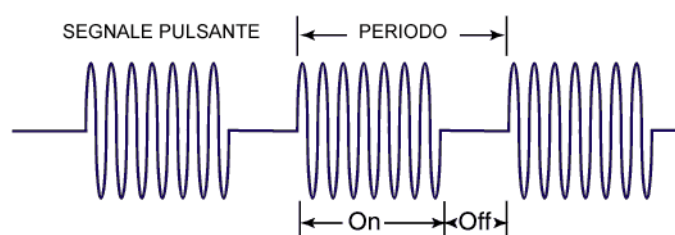
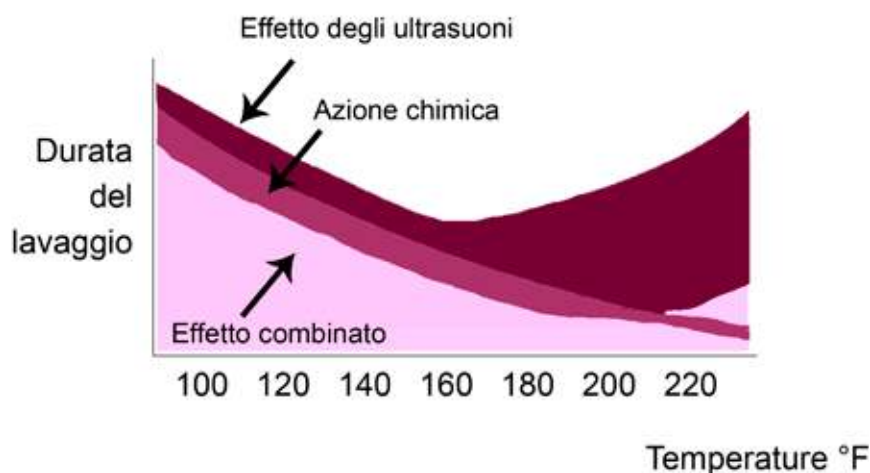




Fig. 47 - Sinergia tra ultrasuoni ed azione chimica in termini di riduzione della durata del lavaggio



e 1 ms) viene invece migliorato il lavaggio.

La modalità pulse serve soprattutto nei momenti immediatamente successivi all'introduzione del pezzo nel bagno; quello che succede è che l'ultrasuono sembra "sedersi" durante la degasazione (come l'acqua bollente quando si butta la pasta), per tornare a lavorare normalmente una volta eliminata l'aria.

La degasazione si può considerare completata quando non è più visibile la risalita verso la superficie delle bollicine d'aria liberate dal liquido e al loro posto permane una sorta di increspatura della superficie.

Sulla base di quanto sopra esposto, gli impiantisti fautori della degasazione ad ogni carico propongono dispositivi dotati di modalità "pulse", elogiandone la velocità esecutiva; gli impiantisti fautori della degasazione a bagno nuovo, ritengono non necessaria la presenza del "pulse" sull'apparecchiatura e non attribuiscono eccessiva importanza alla tempistica di un'operazione che viene eseguita poco frequentemente.

Di fondamentale importanza è anche la scelta della temperatura del bagno, sia perché molti

dei parametri che influenzano l'intensità di cavitazione sono da essa dipendenti (viscosità e pressione di vapore del liquido, presenza di gas disciolti, eccetera), sia perché essa influisce direttamente sulla componente chimica del processo di lavaggio. In linea generale si può affermare che l'uso di un prodotto chimico è ottimizzato quando si opera alla temperatura di processo raccomandata per il prodotto stesso, indipendentemente dagli effetti relativi all'applicazione degli ultrasuoni; questo perché l'uso a temperature non appropriate può portare alla decomposizione del prodotto, alterandone la stabilità e rendendo inefficace il lavaggio.

Generalmente parlando, si può dire che la maggiore intensità di cavitazione si incontra a temperature del liquido lontane dal punto di ebollizione, ma non a temperatu-

re troppo basse, poiché in questo caso si raggiungerebbero condizioni tali per cui la pressione di vapore risulterebbe troppo bassa e la tensione superficiale troppo elevata.

Ogni liquido è caratterizzato da un valore della temperatura alla quale l'intensità di cavitazione è massima; per liquidi differenti, la diversità di tale valore dipende dalle rispettive proprietà fisiche e dal relativo grado di variazione di queste con la temperatura.

Nell'applicazione con gli ultrasuoni, i solventi dovrebbero essere usati a temperature di almeno 10°C inferiori al loro punto di ebollizione; l'acqua cavitava più efficacemente a circa 70°C; una soluzione acquosa caustica è più efficace, in termini di prestazioni di lavaggio, a circa 80°C, per via dell'incremento dell'effetto chimico che compensa una riduzione dell'intensità di cavitazione.

Anche il prodotto chimico deve essere appropriato all'utilizzo con ultrasuoni, nel senso che non deve essere di ostacolo alla cavitazione. La maggior parte dei prodotti chimici in commercio possono essere utilizzati in modo soddisfacente con gli ultrasuoni, ed alcuni vengono appositamente formulati per questa applicazione. Occorre però sottolineare il fatto che il contributo degli ultrasuoni è quello di implementare l'azione chimica dell'agente di lavaggio, ma non può sostituirsi ad essa (vedi fig. 47).

INDICE DELLE PUNTATE PRECEDENTI:

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| I) Introduzione e "stato dell'arte" | VIII) Il generatore |
| II) Cenni di acustica | IX) La cavitazione (1) |
| III) Gli ultrasuoni | X) La cavitazione (2) |
| IV) I trasduttori magnetostrittivi | XI) Ottimizzazione del lavaggio (1) |
| V) I trasduttori piezoelettrici (1) | XII) Ottimizzazione del lavaggio (2) |
| VI) I trasduttori piezoelettrici (2) | |
| VII) I trasduttori piezoelettrici (3) | |