

# Un lubrorefrigerante adeguato migliora la rullatura



(Cortesia foto: Bellini Srl)

*Uno studio dettagliato, basato su prove sperimentali, analizza l'influenza del fluido da taglio in un'operazione di filettatura interna per rullatura.*

✎ Franco Cerri

Il titolo annuncia una verità lapalissiana, ma il più delle volte la scelta del fluido da taglio è fatta in modo empirico con un conseguente aggravio dei costi di produzione. Bisognerebbe invece affrontare questo problema in modo "scientifico" eseguendo una serie di test variando il tipo di lubrorefrigerante (LR), analizzando i dati di usura e affinando progressivamente le scelte fino a

ottenere i risultati ottimali. Questo è tanto più importante quanto maggiore è il numero di pezzi prodotti.

Questa strategia è stata attuata dalla società Mevis. Azienda nata nel 1961 come produttore di molle, Mevis si è progressivamente ampliata ottenendo i più importanti certificati di qualità come ISO 9001 e, nel 1997, anche le speciali certificazioni

AVSQ 94/EAQF 94/VDA6 e QS9000. Attualmente la società Mevis ha tre unità produttive: una in Italia e due in Slovacchia. La produzione si è via via differenziata comprendendo ora oltre le molle anche minuterie piegate e stampate, parti in plastica sovrastampate, parti stampate e parti assemblate, soprattutto per i comparti dell'automotive, dell'elettromeccanica e de-

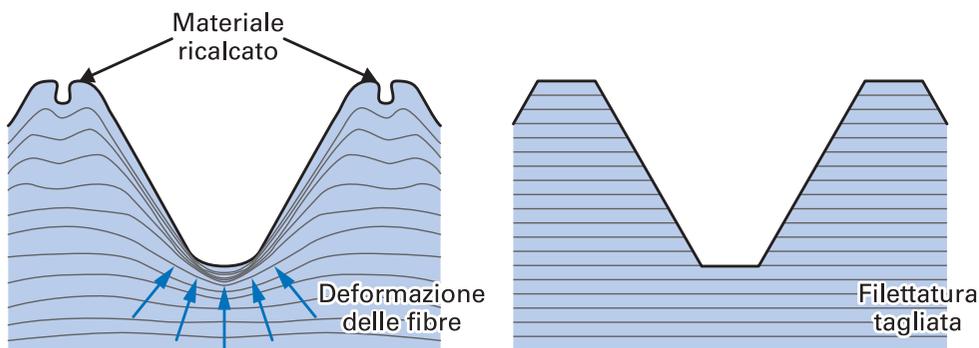


Fig. 1 – Differente andamento delle fibre nel caso di rullatura e taglio del filetto.

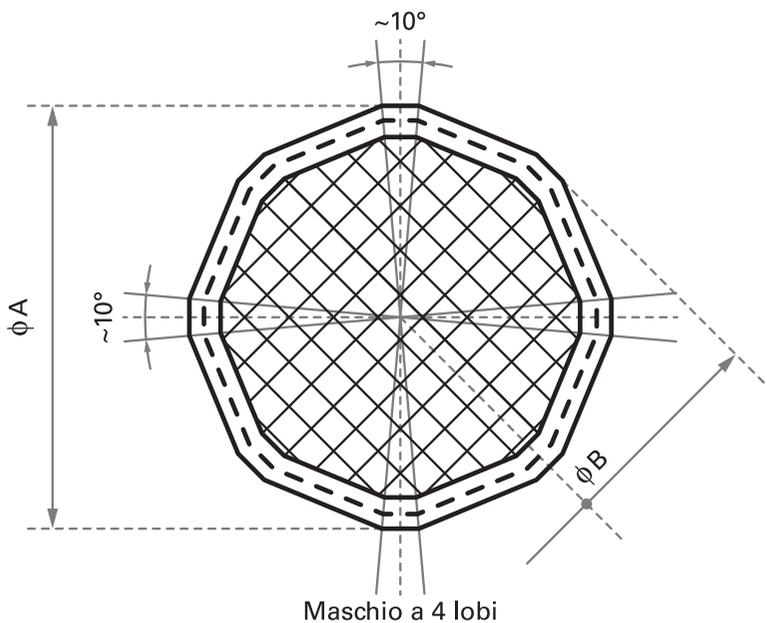


Fig. 2 – Esempio di sezioni trasversali di maschi rullatori.

gli elettrodomestici. Le prove cui si fa riferimento in questo articolo sono state eseguite su un'operazione di maschiatura eseguita con maschi rullatori, su un foro di lunghezza 3 mm con filetto M5. Cominciamo a conoscere un po' meglio i protagonisti principali di questa storia: il maschio rullatore e il lubrificante.

### Il maschio rullatore

Il maschio rullatore sebbene sia entrato nell'industria molti decenni fa, non ha avuto ancora quella diffusione che meriterebbe e probabilmente è ancora poco conosciuto. La rullatura delle filettature interne è un sistema di laminazione a freddo che pro-

duce i filetti con una deformazione plastica del materiale. Come avviene in una buona operazione di fucinatura, questo procedimento mantiene la continuità delle fibre di laminazione, che per effetto della pressione si dispongono secondo il profilo del filetto. Nella maschiatura convenzionale invece, queste fibre vengono tagliate e la resistenza dei filetti alle sollecitazioni meccaniche ne risulta notevolmente diminuita (fig. 1).

La cresta del filetto risulta formata dal materiale spostato e bisogna fare molta attenzione affinché il filetto non sia mai completo. Si consiglia di non superare mai il 65-75% dell'altezza massima.



Fig. 3 – Maschi rullatori con scanalature di lubrificazione ricoperti con TiN.

### Sezione trasversale di un maschio per rullatura

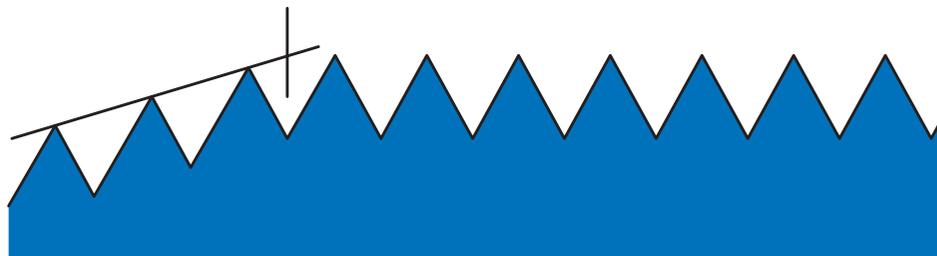
La sezione trasversale del maschio non è circolare ma ha una forma poligonale, abbastanza complessa, studiata per ridurre al minimo il contatto tra maschio e pezzo. Non ci sono le scanalature di affilatura, pertanto il filetto di questo maschio è continuo, anche se ha diametri continuamente variabili.

Nella figura 2 è illustrato un esempio di sezione trasversale, ma bisogna tener presente che ogni costruttore applica soluzioni diverse. È stato dimostrato da numerose esperienze come la geometria delle scanalature di pressione (lobi) sia una variabile fondamentale nel processo, in quanto, da essa dipende l'attrito sviluppato nel corso della lavorazione, la velocità e il comportamento a deformazione del materiale.

Ne deriva che la forma poligonale e il numero di lobi negli utensili possono essere ottimizzati in relazione al materiale da lavorare. La figura 2 si riferisce a una sezione di un maschio M6x1 con quattro lobi con diametro corrispondente al diametro esterno della filettatura (leggermente maggiorata rispetto alla quota teorica), tra un settore e l'altro è

**TAB. 1 - FORME E LUNGHEZZE D'IMBOCCO PER MASCHI A RULLARE SECONDO DIN 2175**

FORMA D'IMBOCCO	LUNGHEZZA [n° filetti]
A	6÷8
B	3.5÷5
C	2÷3
D	3.5÷5
E	1.5÷2
F	1÷1.5



Forma C (lunghezza d'imbocco di 2-3 filetti)

interposto un settore con quota diametrale minorata. In questo modo si riduce l'attrito e si ha una formazione graduale della filettatura. La quota A è circa 0,1 mm maggiore della quota teorica, mentre la quota B è di circa 0,1 mm minore della quota teorica. In determinati casi si possono eseguire, in corrispondenza dei settori ribassati, delle piccole scanalature per facilitare il passaggio del refrigerante, che qui ha più una funzione di lubrificante.

In genere questi maschi vengono ricoperti con TiN o con altri film, allo scopo di ridurre l'attrito, di rendere più difficile il grippaggio del maschio sul foro e di aumentare la resistenza all'usura.

In figura 3 sono rappresentati due maschi rullatori ricoperti con TiN, con scanalature di lubrificazione.

### Vantaggi

Sono numerosi i vantaggi derivanti dall'impiego dei maschi rullatori, ma ci sono anche importanti limitazioni, per cui non è sempre possibile usarli. In sostanza i vantaggi si possono riassumere in:

- Soppressione delle rotture dei maschi dovute all'intasamento o aderenza dei trucioli e a smussatura o scheggiatura dei bordi taglienti.
- Maggiore robustezza del maschio in quanto, data l'assenza delle scanalature, la sezione risulta circa 4 volte maggiore rispetto a quella dei maschi convenzionali.
- Maggiore resistenza delle filettature prodotte.
- Minor campo di logoramento del maschio entro i limiti di tolleranza ammessi. Data la mancanza di spigoli taglienti, il diame-

tro medio dei maschi rullatori può essere tenuto più vicino al limite di tolleranza "non passa", ampliando così il campo di logoramento dell'utensile.

- Massima precisione del passo, assicurata dalla continuità della spira che, penetrando nel materiale, si autodetermina l'avanzamento.
- Miglior controllo delle dimensioni nei filetti prodotti. Con i maschi convenzionali, una eccessiva pressione d'avanzamento può causare filettature maggiorate ed errori di passo; questi inconvenienti non possono assolutamente verificarsi con i maschi rullatori.
- Possibilità di maschiare fori ciechi per tutta la loro profondità, non essendovi accumulo di trucioli nell'avanzamento.
- Riduzione degli scarti nei trattamenti galvanici, non essendovi trucioli che possono ostacolare l'aderenza dei riporti.
- Nessuna riaffilatura e di conseguenza nessuna spesa di manutenzione, con tempi di sostituzione ridotti al minimo. Minori scorte di magazzino.
- Maggiore velocità di maschiatura con sensibile riduzione dei tempi ciclo.

La forma dell'imbocco conico (descritta secondo DIN 2175 con lunghezza dell'imbocco in numero di filetti) è un parametro fondamentale in quanto determina la gradualità con cui viene deformato il material (tab.1). Imbocchi corti (lunghezza minore di 3 filetti) realizzano deformazioni gravose concentrando la maggior parte del lavoro di deformazione nei primi momenti.

Ciò porta rapidamente il filetto a raggiungere le dimensioni finali e, quindi, permette

teoricamente di ridurre la corsa dell'utensile nella realizzazione di filettature passanti con una conseguente riduzione dei tempi di lavorazione.

D'altra parte, questa pratica comporta indubbiamente una riduzione della vita degli utensili che vengono sottoposti a stati tensionali elevati.

Imbocchi più gradualmente permettono, invece, di realizzare il processo con velocità di deformazione più blande a parità di velocità periferica, dando vita a stati tensionali più contenuti. Ciò può aumentare la vita dell'utensile, ma allo stesso tempo prolunga la durata del processo, aumenta la corsa necessaria e di conseguenza gli attriti in gioco e il riscaldamento del sistema che ne deriva.

### Diametro del foro di premaschiatura

Il diametro del foro di premaschiatura nella rullatura deve essere maggiore a quello che normalmente si adotta quando si lavora con asportazione di truciolo e questo per dare spazio al materiale che viene spostato verso la cresta del filetto durante l'operazione. Nella rullatura delle filettature interne la tolleranza sul diametro di premaschiatura deve essere ridotta. Nella tabella 2 sono riportati i valori normalmente consigliati dalle norme DIN e ISO.

### Il fluido lubrorefrigerante

In sintesi le funzioni principali del lubrorefrigerante (LR) sono: raffreddare, lubrificare e detergere.

Raffreddare vuol dire asportare il calore generato dall'azione di taglio, mantenere costante la temperatura per evitare deformazioni della macchina e del pezzo. La lubri-

**TAB. 2 - VALORI DELLE FILETTATURE NORMALMENTE CONSIGLIATI DALLE NORME DIN E ISO**

Filettature metriche ISO Passo grosso DIN 13			Filettature metriche ISO Passo fine DIN 13			Filettature Gas Whitworth EN – ISO 228		
M	Passo	Diametro foratura	MF	Passo	Diametro foratura	G	Spire per 1"	Diametro foratura
2	0,4	1,80	3	0,35	2,85	1/8	28	9,25
2,5	0,45	2,30	4	0,5	3,80	1/4	19	12,50
3	0,5	2,80	5	0,5	4,80	3/8	19	16,00
3,5	0,6	3,25	6	0,75	5,65	1/2	14	20,00
4	0,7	3,70	8	1	7,55	3/4	14	25,50
5	0,8	4,65	10	1	9,55	1"	11	32,00
6	1,0	5,55	10	1,25	9,45			
8	1,25	7,45	12	1	11,55			
10	1,5	9,30	12	1,25	11,45			
12	1,75	11,20	12	1,5	11,30			
14	2	13,10	14	1,25	13,45			
16	2	15,10	14	1,5	13,30			
18	2,5	16,90	16	1,5	15,30			
20	2,5	18,90	18	1,5	17,30			
			20	1,5	19,30			

ficazione delle zone soggette ad attrito e in particolare la zona di contatto tra truciolo e petto dell'utensile, ha la funzione di ridurre le forze di taglio generate dall'attrito tra pezzo e utensile, prevenendo quindi la generazione del calore ritardando l'usura dell'utensile.

L'ultimo compito affidato al LR è quello di mantenere pulita l'area di lavoro, facilitare l'asportazione dei trucioli, quando ci sono, e ridurre in questo modo scheggiature e rotture degli utensili.

Queste tre funzioni, se correttamente gestite generano un risparmio di energia, una minore usura degli utensili e in definitiva una riduzione dei costi totali. Nelle varie lavorazioni le esigenze sono diverse, così nelle lavorazioni ad asportazione di truciolo è richiesta la riduzione dell'attrito tra il materiale lavorato e l'utensile e quindi sono importanti le proprietà lubrificanti del liquido.

Nelle operazioni di rettifica invece è più importante che la mola sia sempre priva di trucioli, con gli interstizi sgombri e quindi sono richieste elevate proprietà lavanti del lubrorefrigerante (LR), infine tutte le lavo-

razioni è richiesta una buona dissipazione del calore e quindi diventano importanti la viscosità, la capacità e la conducibilità termica del prodotto usato.

Il principale problema che si ha durante un'operazione di rullatura, e nel nostro caso parliamo della esecuzione di filettature con maschi rullatori, è lo sviluppo di calore nella zona di deformazione del materiale. Questo calore è generato dall'energia meccanica spesa per deformare il materiale e dall'attrito tra pezzo e l'utensile.

È logico quindi che riducendo l'attrito, cioè utilizzando un fluido da taglio con forte potere lubrificante, si ha una minore temperatura nella zona di contatto tra utensile e pezzo.

Normalmente per aumentare il potere lubrificante di un olio minerale, si miscela l'olio intero con degli additivi E.P. (Extreme Pressure) oppure con additivi polari che conferiscono una notevole resistenza al film lubrificante.

Oggi però esistono in commercio fluidi da taglio che possono in parte superare questo problema in modo naturale, grazie alla loro particolare struttura molecolare.

Si tratta degli esteri sintetici a base vegetale. Gli additivi polari sono caratterizzati dalla presenza di molecole che hanno affinità con quelle del materiale da lavorare da cui vengono attratte con un meccanismo paragonabile all'attrazione tra un polo negativo e uno positivo di due magneti (tale fenomeno è detto "adsorbimento fisico". Sulle superfici dell'utensile e del pezzo si forma quindi uno strato di molecole fortemente aderenti che impediscono il contatto diretto metallo-metallo e riducono quindi drasticamente l'attrito e il calore prodotto. Un olio minerale invece ha le molecole che non sono di questo tipo e quindi esse si disporranno su una superficie metallica in modo casuale, lasciando anche delle zone non coperte. Esistono diversi tipi di additivi EP e simili che aggiunti all'olio minerale lo rendono più idoneo a impieghi in cui è richiesto un forte potere lubrificante, ma praticamente tutti contengono cloro, zolfo, zinco ecc. che sono prodotti potenzialmente dannosi per gli operatori e per l'ambiente, specie se usati in alte dosi.

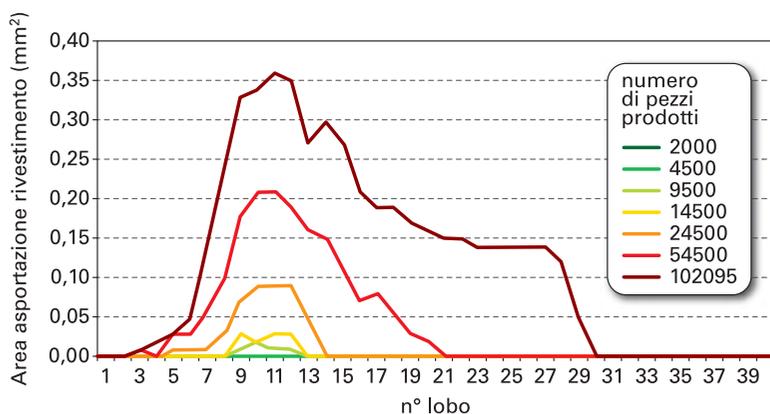
Il regime di lubrificazione in cui va a operare la maschiatura a rullare è particolarmente importante, in quanto, essendo un processo caratterizzato da intensa deformazione plastica del pezzo lavorato, l'area reale di contatto con l'utensile tende all'area nominale.

La presenza del lubrificante ha, quindi, il compito di ridurre significativamente l'attrito limitando la potenza richiesta al processo (anche del 10÷30%), inoltre, aumenta la lavorabilità del materiale, evitando che il flusso di materiale si accumuli sui fianchi del filetto.

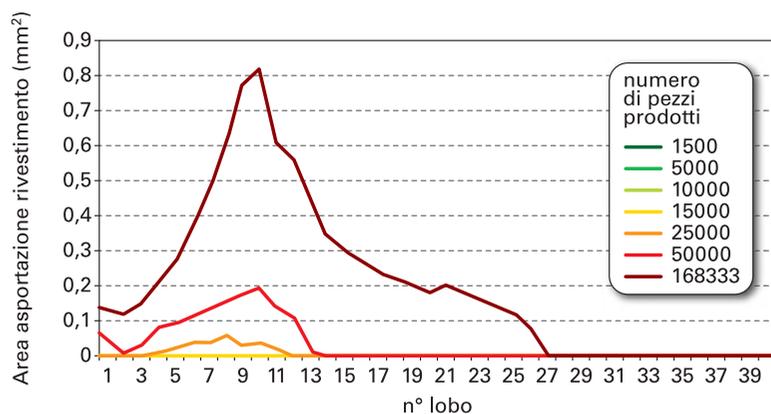
Asportando parte del calore prodotto, ne riduce la quantità da smaltire per diffusione attraverso il corpo del maschio o del pezzo lavorato.

La deformazione della superficie del foro di premaschiatura operata dall'utensile a rullare avviene, infatti, in presenza di carichi superficiali superiori alla tensione di snervamento del materiale lavorato.

Tale pressione è necessaria all'apice dei lobi del profilo attivo dei maschi per penetrare la superficie del foro deformandola, ma, allo stesso tempo, l'azione è tale da spremere-



**Fig. 4 – Progredire dell'usura nei vari lobi in funzione del numero di pezzi prodotti con olio non additivato**



**Fig. 5 – Progredire dell'usura nei vari lobi in funzione del numero di pezzi prodotti con olio additivato.**

re fuori la maggior parte del lubrificante dall'interfaccia.

Nel caso di impiego di fluidi LR a base esteri, l'elevata pressione, tuttavia, aiuta il lubrificante a bagnare adeguatamente le superfici e a creare uno strato estremamente sottile (in alcuni casi monomolecolare) adsorbito fisicamente sulla superficie in corrispondenza dei lobi che favorisce lo scorrimento reciproco delle superfici in moto. In corrispondenza delle facce del profilo poligonale e del fondo dei filetti, invece, la geometria è tale da formare degli interstizi tra le superfici del filetto in formazione e del maschio a rullare.

In tali regioni il lubrificante può rimanere intrappolato in sacche fortemente pressurizzate in grado di esercitare una forma di lubrificazione plasto-idrodinamica a livel-

lo locale che contribuiscono a ridurre ulteriormente il coefficiente d'attrito del sistema.

In un processo di filettatura per deformazione al fluido lubro-refrigerante viene richiesta, di conseguenza, un'ottima capacità di resistere ai carichi imposti in modo tale da ridurre il coefficiente d'attrito e prevenire saldature tra le parti in scorrimento e, di conseguenza, ridurre l'usura.

I lubrificanti da preferire in questa operazione sono, di conseguenza, oli lubrificanti additivati pesantemente con additivi EP quali cloroparaffine o a base solfora oppure con untuosanti a base di acido oleico, mentre altri fluidi solitamente usati nelle lavorazioni tramite taglio potrebbero dar vita a grippaggi e lacerazioni del filetto.

## Svolgimento e risultati del test

Si sono eseguite prove di durata utilizzando 6 macchine filettatrici che lavoravano contemporaneamente su stessi lotti di materiale, eseguendo poi la media dei valori rilevati.

Si sono utilizzati maschi a 4 lobi con dimensione nominale M5 senza canalini di lubrificazione e con imbocco C/2-3.

I maschi erano in HSS ricoperti con multi-layer TiN + TiCN.

Il materiale lavorato era C45E con resistenza alla trazione di  $\leq 850 \text{ N/mm}^2$ .

La velocità periferica era di 40 m/min.

Per quanto riguarda la determinazione del momento in cui considerare un utensile a fine vita (e di conseguenza il relativo numero di pezzi prodotti) si è deciso di attenersi alle predisposizioni dettate dalla produzione. Seguendo la logica del caso peggiore si è adottato come valore di fine vita di un dato gruppo il numero di pezzi in cui si è rilevata per la prima volta una non conformità e si è fermato, di conseguenza, l'impianto per eseguire la sostituzione dell'intero gruppo di utensili.

Nell'ottica di realizzare una manutenzione preventiva e mantenere elevata l'efficienza dell'impianto, il cambio maschi avviene nel corso di un unico fermo macchina e il valore di fine vita che si ricava corrisponde, in realtà, alla durata dell'utensile che per primo nel gruppo ha iniziato a produrre filettature non conformi alla verifica con il calibro filettato passa non passa. Oltre al puro e semplice conteggio dei pezzi prima dell'uscita dalla tolleranza della filettatura, si è misurato il progredire dell'usura nei vari lobi. L'usura si può identificare, con una certa approssimazione con l'estensione dell'area di asportazione del ricoprimento

Infatti, quando lo strato di TiN e TiCN viene asportato mettendo a nudo il substrato (HSS) si ha un cambiamento radicale del processo di formazione dell'usura. Se con la superficie dell'utensile ricoperta, l'attrito è relativamente basso e l'azione di sgretolamento del film ricoprente avviene con una certa lentezza, senza la ricopertura si ha il contatto acciaio-acciaio con saldatura del materiale del pezzo su quello

► segue a pagina 64

dell'utensile, con un fenomeno che richiama la formazione del tagliente di riporto. Il coefficiente di attrito sale repentinamente e così la temperatura nei punti di maggiore sollecitazione.

In questo modo la situazione si aggrava ulteriormente e l'usura si estende più rapidamente.

Nella figura 4 è indicato il progredire dell'area di ricoprimento asportata nei vari lobi in funzione del numero di pezzi prodotti. Si può notare immediatamente che la maggiore usura si ha in corrispondenza della fine dell'imbocco, dove cioè si ha la maggiore sollecitazione.

Bisogna notare che il grafico di fig. 4 è relativo a uno dei sei maschi in prova e che la media delle produzioni dei sei maschi è risultata di 95.973 pezzi.

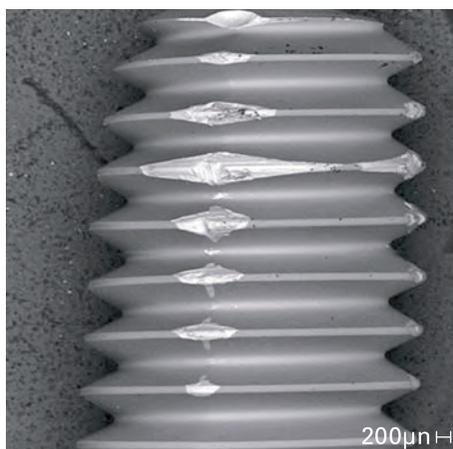
Partendo da questa situazione iniziale, in collaborazione con la Bellini (Zanica, Bergamo), che è uno dei principali produttori italiani di lubrificanti, si sono eseguiti test per migliorare l'azione del lubrificante normalmente impiegato, cioè l'Harlobio 5.

Questo è un olio di derivazione naturale con assoluta assenza di componenti minerali.

È ottenuto da materie prime rinnovabili (non di origine petrolifera) e come tali hanno una biodegradabilità maggiore del 90%; non contiene tracce di I.P.A. (Idrocarburi Policiclici Aromatici) che sono i più incriminati nel causare dei danni per la salute dell'uomo.

Questo fluido da taglio richiede una gestione semplificata rispetto ai corrispondenti fluidi da taglio di origine minerale, e infatti non sono necessarie le registrazioni UTIF, non sono obbligatorie le visite mediche periodiche agli operatori, non richiedono particolari sistemi di stoccaggio e di smaltimento del liquido esausto.

Nella sperimentazione si è cercato di migliorare le prestazioni del lubrificante additivando il prodotto in uso con circa il 10% di un additivo integratore di taglio a base di esteri alifatici solforati. Il prodotto è perfettamente solubile nell'olio a base esterea usato avendo con questo un'elevata affinità fisico-chimica e non ne altera



**Fig. 6 – Macrografia delle superfici usurate di un maschio a fine vita.**

la stabilità termo-ossidativa, fondamentale nelle applicazioni a recupero e ricircolo di LR.

Gli esteri alifatici solforati sono ampiamente utilizzati nei moderni lubrificanti nei quali sostituiscono additivi, ormai superati e di prestazioni inferiori.

La combinazione, infatti, dello zolfo con le proprietà untuosanti (SL) delle catene alifatiche crea eccellenti additivi EP con elevate capacità di carico e che, al contrario di altri additivi, manifestano elevata biocompatibilità e biodegradabilità, prestandosi ottimamente all'uso in oli vegetali.

L'additivazione con circa il 10% di additivo di prestazione porta a un incremento della viscosità del lubrificante di circa il 35% e del valore Bruggen di circa il 60%.

L'aggiunta di questo particolare prodotto al lubrificante dovrebbe, pertanto, portare ipoteticamente a dei benefici sull'efficienza del processo produttivo tra cui:

- discreto effetto SL dovuto sia alla polarità del composto sia alla sua maggiore viscosità. Ciò dovrebbe migliorare il regime di lubrificazione già dagli stadi iniziali, garantendo una maggiore durata del rivestimento dell'utensile;
- elevato effetto EP con conseguente miglioramento delle condizioni tribologiche del sistema, soprattutto dopo che il rivestimento duro è stato asportato lasciando affiorare la superficie metallica. L'uso del lubrificante arricchito con additivi EP a base solfurea ha, infatti, aumentato

notevolmente la durata degli utensili a parità di tutte le altre condizioni al contorno. Nel grafico di figura 5 è riportato il progredire dell'usura in questa seconda fase della prova. Anche in questo test il grafico si riferisce a uno dei 6 maschi utilizzati contemporaneamente. La media delle produzioni dei 6 maschi è di 185.202 pezzi.

Il numero di pezzi conformi prodotti mediamente da un utensile prima di fuoriuscire dal campo di tolleranza è aumentato quindi da 95.973 a 185.202 pezzi con un incremento del rendimento di circa il 93% rispetto alle condizioni precedenti. L'uso degli stessi utensili sperimentati e degli stessi parametri di lavorazione ci assicurano sul fatto che l'incremento di prestazioni sia dovuto unicamente alle migliori prestazioni dell'olio in seguito all'additivazione.

Bisogna notare che nonostante l'area di ricoprimento asportata sia maggiore, i pezzi prodotti continuavano a essere in tolleranza. Ciò va spiegato nel fatto che, per effetto dell'additivo si aveva una minore formazione del riporto nelle aree scoperte e una ridotta scheggiatura della superficie.

Riassumendo, il danneggiamento subito dai maschi a rullare in seguito all'additivazione del lubrificante è risultato modificato nei seguenti aspetti:

- produzione di filettature conformi su un numero maggiore di pezzi (quasi il doppio);
- maggiore area di asportazione del rivestimento sui lobi d'imbocco a fine vita;
- ridotti fenomeni di scheggiatura o frammentazione dell'acciaio rapido;
- formazione di materiale di riporto quasi assente con minima adesione di lamelle di C45 nelle aree in cui affiora l'acciaio HSS;
- presenza di danneggiamenti e abrasioni a fondo filetto in corrispondenza dei lobi.



© RIPRODUZIONE RISERVATA

*I dati sperimentali riportati nel presente articolo sono tratti dalla tesi di laurea presentata dal dr. Stefano Ferraro all'Università di Padova, che espone e discute i risultati di un ciclo di prove eseguite presso la ditta Mevis di Rosà, Vicenza, (N.d.R.)*