

INFLUENCE OF INHIBITORS IN COOLING EMULSION UPON MAIN CUTTING FORCE AND CORROSION OF WORKPIECE

Influenza degli inibitori nelle emulsioni di raffreddamento sulle forze di taglio principali e sulla corrosione dei manufatti



Abstract

Cooling emulsions (agents for cooling, rinsing and lubricating) are used during fabrication of machine parts applying particle-removing processes, but their anticorrosion action is also important. Effects of different inhibiting emulsions upon main cutting force at turning of carbon steel as well their influence upon corrosion resistance of a part are reported in the contribution. Main cutting forces are measured applying dynamometric device when inhibiting emulsions have been used, and compared with data obtained at dry machining. Efficiency of inhibitors has been evaluated applying electrochemical and corrosion tests in salt and humid atmosphere. Corrosion behavior has been monitored in atmospheric conditions and in sealed space. Results of conducted research indicate that application of inhibiting emulsions as coolants may significantly reduce cutting forces and slow down corrosion rate for tested carbon steel grade.

Abstract

Le emulsioni di raffreddamento (agenti di raffreddamento, risciacquo e lubrificazione) sono utilizzate durante la fabbricazione di parti meccaniche con processi di rimozione delle particelle, ma è molto importante anche la loro azione anticorrosiva. Gli effetti delle diverse emulsioni inibitorie sulle forze di taglio principali durante la tornitura dell'acciaio al carbonio e la loro influenza sulla resistenza alla corrosione dei pezzi sono parte del presente articolo. Le principali forze di taglio sono misurate applicando un dispositivo dinamometrico durante l'utilizzo delle emulsioni inibitorie, e comparate con i dati ottenuti durante la lavorazione meccanica a secco. L'efficienza degli inibitori è stata valutata applicando test elettrochimici e di corrosione in nebbia salina. Il comportamento corrosivo è stato monitorato in condizioni atmosferiche in uno spazio sigillato. I risultati delle ricerche condotte indicano che l'applicazione di emulsioni inibitorie come i raffreddanti possono ridurre in modo significativo le forze di taglio e rallentare il tasso di corrosione per la qualità testata di acciaio al carbonio.

1. Introduction

Modern machining operation must provide, besides quality machining, also a number of other properties to satisfy market requirements. Expanding trend in production is application of cooling, flushing and lubricating agents (SHIP), which will provide, beside mentioned characteristics, also feasible biodegradation capability and corrosive protection [1]. However, primary features of cooling and lubricating capability are taken as granted.

Corrosive protection must be effective during the machining process and afterwards, when parts are moved to subsequent machining operation on other machines or waiting for assembling operation. Application of SHIP coolants eliminates need for additional corrosion protection (either temporary or long-termed protection). Such protection is particularly appropriate when parts are waiting for transportation, next operation or assembling [2].

Corrosion properties are also important from the standpoint of tooling machines used in machining process. Protection provides easier maintenance and cleaning of machines, and extended service life of machine parts may be expected. Inhibitors are used in almost all industrial fields. Corrosion of metals is a complex and heterogeneous process because of many anodic and cathodic points on the surface. Inhibitors that are available at such locations, impede electrochemical processes or transport of reactive products from the solution [3]. After Rosenfeld and coworkers, inhibitors generate protective barrier between metal and corrosive agent, by incorporating into the surface film of corrosion products.

French and coworkers demonstrated SEM results, where the structure of corrosion products is modified by inhibitors. They made conclusion that structure of inhibitors should be in compliance with structure of corrosion products.

Thus, certain inhibitors may be effective if corrosion products are iron carbonates or sulfides, but not if products are oxides [4]. Inhibitors most frequently used in coolants during machining are compounds containing nitrogen, such as amines, amides, etc. They are generally adsorbed at the surface of metal, blocking active points or making a physical barrier which reduces transportation of corrosive agents to the surface of metal [5].

Organic inhibitors used for protection against corrosion induced by oxygen, produce adsorbed films, providing protection of steel surface. They are adsorbed to the steel surface, producing mono- or two layer structures, ranging in thickness between 3 and 10 μm . They are composed of surface-active molecules, and polar main group containing cation group with nitrogen. Also, inhibitors containing sulfur or phosphorus in main group are used. Such molecules, due to hydrophobic effect, have strong tendency of forming adsorbed films.

1. Introduzione

Le moderne lavorazioni meccaniche devono fornire, oltre alla qualità della lavorazione stessa, anche un certo numero di altre proprietà per soddisfare i requisiti di mercato. La tendenza crescente nella produzione è l'applicazione di agenti di raffreddamento, risciacquo, e lubrificazione (SHIP), in grado di fornire, oltre alle caratteristiche menzionate, anche una biodegradabilità realistica e la protezione dalla corrosione [1]. In ogni caso, le caratteristiche primarie di raffreddamento e lubrificazione sono date per scontate.

La protezione dalla corrosione deve essere efficace durante e dopo la lavorazione meccanica, quando i pezzi sono inviati alle lavorazioni meccaniche successive su altre macchine o sono in attesa delle operazioni di assemblaggio. L'applicazione di raffreddanti SHIP elimina la necessità di una protezione anticorrosiva ulteriore (sia temporanea che a lungo termine). Tale protezione si rivela particolarmente appropriata quando i manufatti sono in attesa di trasporto, lavorazioni successive o assemblaggio [2].

Le proprietà corrosive sono importanti anche dal punto di vista delle macchine utensili utilizzate per le lavorazioni meccaniche. La protezione offre una più semplice manutenzione e pulizia delle macchine, nonché una maggiore vita utile dei loro componenti. Gli inibitori sono utilizzati in quasi tutti i settori industriali.

La corrosione dei metalli è un processo complesso ed eterogeneo a causa dei numerosi punti anodi e catodi sulla superficie. Gli inibitori presenti in tali punti, impediscono i processi elettrochimici o il trasporto di prodotti di reazione dalla soluzione [3]. Secondo Rosenfeld e colleghi, gli inibitori generano una barriera protettiva tra il metallo e l'agente corrosivo, incorporandolo nel film superficiale dei prodotti corrosivi. French e colleghi hanno dimostrato risultati al SEM, in cui la struttura dei prodotti della corrosione è modificata dagli inibitori. Essi conclusero che la struttura degli inibitori doveva essere conforme alla struttura dei prodotti della corrosione. Quindi, certi inibitori potevano essere efficaci se i prodotti corrosivi erano carbonato di ferro o solfuro, oppure non efficaci se i prodotti erano ossidi [4]. Gli inibitori usati più frequentemente per il raffreddamento durante le lavorazioni meccaniche sono composti contenenti azoto, quali ammine, ammidi, ecc. Essi sono generalmente assorbiti sulla superficie del metallo, bloccano i punti attivi o creano una barriera fisica che riduce il trasporto di agenti corrosivi verso la superficie del metallo [5].

Gli inibitori organici utilizzati per la protezione contro la corrosione indotta dall'ossigeno, producono film adsorbiti, fornendo una protezione alla superficie dell'acciaio. Essi vengono assorbiti dalla superficie dell'acciaio, producendo strutture mono- o bi-strato, con spessori variabili fra 3 e 10 μm . Essi sono composti da molecole attive a livello superficiale, e da gruppi polari principali contenenti gruppi cationici con azoto. Inoltre, sono utilizzati anche inibitori contenenti zolfo o fosforo in gruppi principali. Tali molecole, grazie all'effetto idrofobo, hanno una forte tendenza a formare film adsorbiti.

2. Experimental work

Effect of SHIP coolants containing different types of inhibitors upon cutting force and corrosion behavior of machined parts are tested, and compared to the case of dry machining. For testing following SHIP coolants were used: EcoLine Cutting Fluid (INH1), coolant containing VCI-345 inhibitor (INH2) and coolant containing BU-7 inhibitor (INH3).

Testing and measurements have been conducted applying conventional lathe of TES-3 designation. For testing, samples have been machined from grade ISO 360 B steel, with guaranteed chemical composition and mechanical properties. Machining parameters were as follows: cutting depth $a_p = 1$ mm, feed per revolution 0,2 mm, cutting speed $v_c = 45$ m min⁻¹ at $n = 850$ min⁻¹ (selected from the lathe gear box). Sketch of the sample and clamping arrangement is presented in Fig.1. All samples have been turned to diameter of 17 mm at length of 50 mm in first step, and then testing was made in second operation, while turning samples to diameter of 15 mm at length of 50 mm. Dotted line indicate final shape of machined sample. Samples have been machined applying same type of tool tip.

Figure 1. Shape and dimensions of sample, clamping arrangement

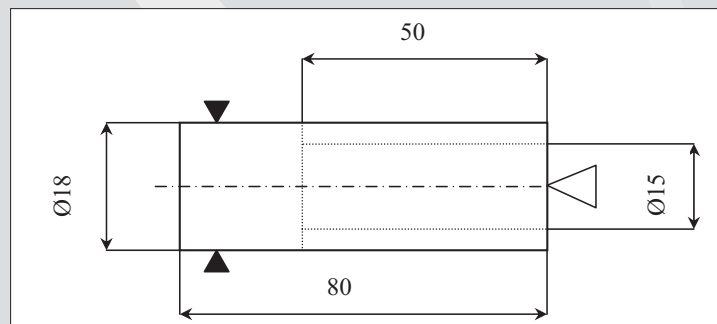


Figure 1. Forma e dimensione del campione, disposizione dei morsetti

Subsequent to machining, corrosive effects of SHIP coolants containing inhibitors 1, 2, and 3 were tested in salt and wet chamber, in atmospheric conditions and closed area, and compared to the case of dry machining. Testing of corrosion rate and SHIP coolant anticorrosion efficiency have been conducted applying electrochemical method of quasipotentiostatic polarization through recording E-j polarization curve (method of Tafel extrapolation).

3. Results and discussion

3.1. Measurement of cutting force

For measurement of cutting force during machining, for both cases when SHIP coolants were used and for dry machining, three-component dynamometer device has been used. It was fixed to the lathe support and it was holding turning tool. For each sample, three components of cutting force have been measured:

1. $F_z = F_c$ main cutting force
2. $F_x = F_f$ feed cutting force
3. $F_y = F_p$ reverse cutting force

2. Il lavoro sperimentale

Sono testati gli effetti sulle forze di taglio e sul comportamento corrosivo di pezzi meccanici di raffreddanti SHIP, contenenti tipi diversi di inibitori. Gli effetti sono comparati con la lavorazione a secco. Per le prove sono stati utilizzati i seguenti raffreddanti SHIP: EcoLine Cutting Fluid (INH1), un raffreddante contenente l'inibitore VCI-345 (INH2) e un raffreddante contenente l'inibitore BU-7 (INH3).

Test e misurazioni sono state effettuate utilizzando un tornio tradizionale di designazione TES-3. Per il test, sono stati lavorati campioni di acciaio tipo ISO 360 B, con composizione chimica e proprietà meccaniche garantite. I parametri di lavorazione erano i seguenti: profondità di taglio $a_p = 1$ mm, avanzamento per rivoluzione 0,2 mm, velocità di taglio $v_c = 45$ m min⁻¹ a $n = 850$ min⁻¹ (selezionata dalla trasmissione del tornio). Uno schizzo del campione e della disposizione dei morsetti è presentata in Fig.1. In una prima fase tutti i campioni sono stati torniti a un diametro in 17 mm e lunghezza di 50 mm, le prove sono state eseguite durante la seconda lavorazione, quando i campioni sono stati torniti a un diametro di 15 mm e lunghezza di 50 mm. La linea punteggiata indica la forma finale del campione lavorato. I campioni sono stati lavorati utilizzando un utensile con la stessa punta.

Successivamente alla lavorazione meccanica, sono stati testati gli effetti corrosivi di raffreddanti SHIP contenenti gli inibitori 1, 2, e 3 in camera di nebbia salina e umidostatica, in condizioni atmosferiche e in spazio chiuso, e comparati al caso di lavorazione meccanica a secco. La misurazione del grado di corrosione e dell'efficienza anticorrosiva dei raffreddanti SHIP è stata condotta applicando il metodo elettrochimico della polarizzazione quasi-potenziostatica attraverso la registrazione della curva di polarizzazione E-j (metodo dell'estrapolazione di Tafel).

3. Risultati e discussione

3.1. Misurazione delle forze di taglio

Per la misurazione delle forze di taglio durante la lavorazione meccanica, in entrambi i casi, sia con l'utilizzo di raffreddanti SHIP che a secco, è stato utilizzato un dispositivo dinamometrico a tre componenti. È stato fissato al supporto del tornio in modo da reggere l'utensile rotante. Per ogni campione, sono state misurate tre componenti della forza di taglio:

1. $F_z = F_c$ forza di taglio principale
2. $F_x = F_f$ forza di avanzamento
3. $F_y = F_p$ forza di repulsione

Magnitude of cutting force was calculated applying expression 1.

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} [N] \quad (1)$$

For each SHIP coolant containing inhibitor, three measurements were made, and mean value for given measuring interval has been used in analysis. Mean value of resulting cutting force given in order from least to greatest are listed in Table 1.

Table 1. Mean value of cutting force for tested SLIP coolants containing different inhibitors

No.	INHIBITOR	FORCE [N]
1	INH1	761
2	INH2	748
3	INH3	776
4	Dry machining (reference)	813

Measurement of main cutting force indicated that they can be significantly reduced if SHIP coolants containing inhibitors are used. Moreover, it is revealed that there is a significant variation between in force magnitude when different coolants have been used during machining. Measured data indicate that lowest value of cutting force at constant cutting conditions are attained with SHIP coolant containing INH2 inhibitor.

3.2. Testing of inhibitor efficiency upon corrosion protection of machined part

Testing of the inhibitor efficiency in affecting corrosion rate of machined parts compared to the case of dry machining is conducted one day after machining, in the meantime samples being conditioned in closed area. Testing has been done in salt chamber applying 5% NaCl solution till the occurrence of corrosion signs, wet chamber, atmospheric conditions and in closed area. Each set of samples was tested in same conditions, as follows: in salt chamber for 2 hours, in wet chamber for 24 hours and in atmospheric conditions and closed area for 30 days.

Appearance of samples machined without application of SHIP coolant (dry machining) is given in Fig.2.

Appearance of samples machined with application of SHIP coolant containing inhibitor INH1 is given in Fig.3.

Appearance of samples machined with application of SHIP coolant containing inhibitor INH2 is given in Fig. 4.

Appearance of samples machined with application of SHIP coolant containing inhibitor INH3 is given in Fig. 5.

Salt chamber, being most aggressive environment, showed first results of corrosion after 2 hours testing, while in wet chamber corrosion occurred after 24 hours exposure.

It is important to notice that samples stored in closed area have not signs of corrosion in this time range.

La grandezza della forza di taglio è stata calcolata applicando l'espressione 1.

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} [N] \quad (1)$$

Per ogni raffreddante SHIP contenente l'inibitore, sono state rilevate tre misurazioni, per l'analisi è stato utilizzato il valore intermedio per gli intervalli di misurazione dati. I valori medi della forza di taglio risultante disposti in ordine crescente sono elencati in tabella 1.

Tabella 1. Valori medi di taglio per i raffreddanti SHIP testati contenenti inibitori diversi

La misurazione della forza di taglio principale indica che essa può essere significativamente ridotta qualora si utilizzino i raffreddanti SHIP contenenti inibitori. Inoltre, indicano che c'è una variazione significativa tra la grandezza della forza qualora si utilizzino raffreddanti diversi durante la lavorazione. I dati rilevati indicano che i valori più bassi della forza di taglio, in condizioni di taglio costanti, si raggiungono con raffreddanti SHIP contenenti l'inibitore INH2.

3.2. Analisi dell'efficienza dell'inibitore sulla protezione dalla corrosione di pezzi lavorati meccanicamente

L'analisi dell'efficienza dell'inibitore nell'influenzare il grado di corrosione di parti lavorate meccanicamente rispetto alla lavorazione a secco è condotto un giorno dopo la lavorazione, nel frattempo i campioni sono stati climatizzati in luogo chiuso. Le prove sono state eseguite in camera di nebbia salina usando una soluzione NaCl al 5% fino al comparire di segni della corrosione, in camera umido statica, in condizioni atmosferiche e in luogo chiuso. Ogni gruppo di campioni è stato testato nelle medesime condizioni, come segue: in nebbia salina per 2 ore, in camera umidostatica per 24 ore e in condizioni atmosferiche e spazio chiuso per 30 giorni. L'aspetto dei campioni lavorati senza l'applicazione di raffreddanti SHIP (lavorazione a secco) è mostrato in Fig. 2.

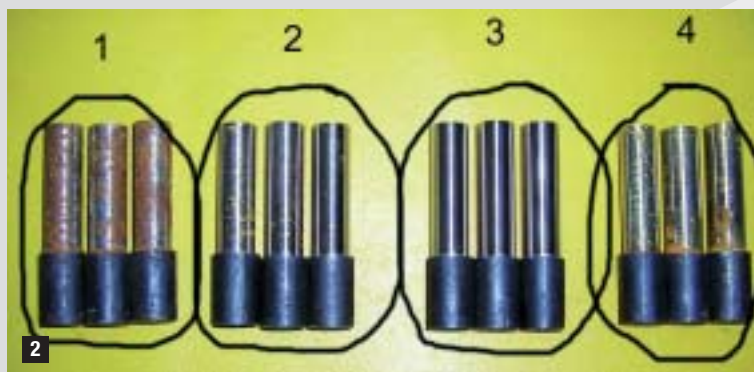
L'aspetto dei campioni lavorati con l'utilizzo di raffreddanti SHIP contenenti l'inibitore INH1 è mostrato in Fig.3.

L'aspetto dei campioni lavorati con l'utilizzo di raffreddanti SHIP contenenti l'inibitore INH2 è mostrato in Fig. 4.

L'aspetto di campioni lavorati con l'utilizzo di raffreddanti SHIP contenenti l'inibitore INH3 è mostrato in Fig. 5.

Essendo la nebbia salina l'ambiente più aggressivo, i campioni hanno mostrato i primi risultati della corrosione dopo 2 ore dall'inizio della prova, mentre in camera umidostatica la corrosione è comparsa dopo 24 ore di esposizione.

È importante notare che i campioni conservati in luogo chiuso non hanno mostrato segni di corrosione in questo intervallo di tempo.



2

Appearance of samples machined without application of coolant (dry machining) after testing: 1-in salt chamber, 2-in atmospheric conditions, 3-in closed area, 4-in wet chamber.

L'aspetto dei campioni lavorati senza l'applicazione di raffreddanti SHIP (lavorazione a secco) dopo le prove: 1-nebbia salina, 2 condizioni atmosferiche, 3-spazio chiuso, 4-camera umidostatica.



3

Appearance of samples machined with application of SHIP coolant containing inhibitor INH1 after testing 1-in salt chamber, 2-in atmospheric conditions, 3-in closed area, 4-in wet chamber.

L'aspetto dei campioni lavorati con l'utilizzo di raffreddanti SHIP contenenti l'inibitore INH1 dopo le prove: 1-nebbia salina, 2 condizioni atmosferiche, 3-spazio chiuso, 4-camera umidostatica.



4

Appearance of samples machined with application of SHIP coolant containing inhibitor INH2 after testing 1-in salt chamber, 2-in atmospheric conditions, 3-in closed area, 4-in wet chamber.

L'aspetto dei campioni lavorati con l'utilizzo di raffreddanti SHIP contenenti l'inibitore INH2 dopo le prove: 1-nebbia salina, 2 condizioni atmosferiche, 3-spazio chiuso, 4-camera umidostatica.



5

Appearance of samples machined with application of SHIP coolant containing inhibitor INH3 after testing 1-in salt chamber, 2-in atmospheric conditions, 3-in closed area, 4-in wet chamber.

L'aspetto di campioni lavorati con l'utilizzo di raffreddanti SHIP contenenti l'inibitore INH3 dopo le prove: 1-nebbia salina, 2 condizioni atmosferiche, 3-spazio chiuso, 4-camera umidostatica.

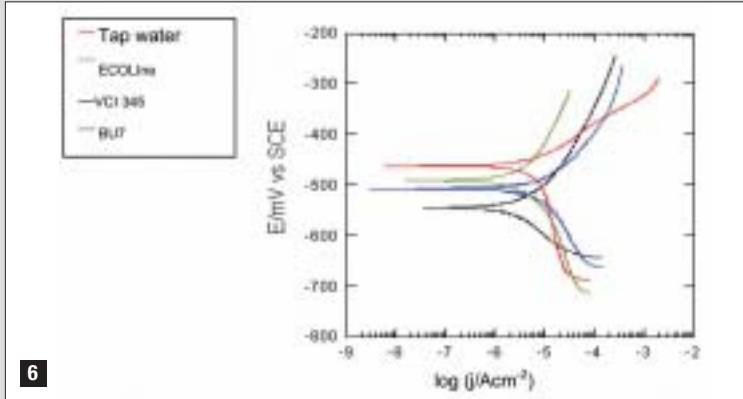
3.3. Electrochemical testing of inhibitor efficiency

Testing of corrosion rate and efficiency of SHIP coolants containing inhibitors was conducted applying electrochemical method of quasi-potentiostatic polarization, i.e. applying Tafel extrapolation. Applying method of quasi-potentiostatic polarization, recording of polarization curves in range of -250 mV to +150mV from corrosion potential E_{cor} , at potential change rate of 0,1 mVs⁻¹ was made, following parameters were calculated: corrosion potential E_{cor} , density of corrosion current J_{cor} , slope of Tafel lines b_a and b_k and efficiency of inhibitor Z. Also, effect of coolant flow rate upon efficiency of inhibitor has been tested. Surface of operating electrode was 1 cm².

3.3. Analisi elettrochimica dell'efficienza dell'inibitore

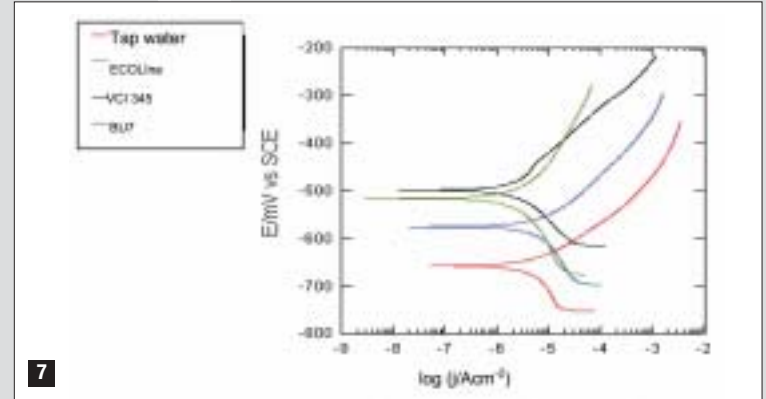
L'analisi del tasso di corrosione e l'efficienza dei raffreddanti SHIP contenenti gli inibitori sono state condotte usando il metodo elettrochimico di polarizzazione quasi-potenziostatica, ossia usando l'estrapolazione Tafel. Usando il metodo della polarizzazione quasi-potenziostatica, è stata fatta la registrazione delle curve di polarizzazione in un range da -250 mV a +150mV dal potenziale di corrosione E_{cor} , al tasso di variazione del potenziale di 0,1 mVs⁻¹, e sono stati calcolati i seguenti parametri: potenziale di corrosione E_{cor} , densità della corrente corrosiva J_{cor} , pendenza di Tafel linee b_a e b_k ed efficienza dell'inibitore Z. Inoltre, è stato testato l'effetto del tasso di flusso del raffreddante sull'efficienza dell'inibitore. La superficie dell'elettrodo operativo era di 1 cm².

Figures 6 and 7 depict polarization curves for carbon steel in coolants that contained 1 ml of inhibitor in comparison with solution not containing inhibitor, but including case of stagnant coolant and simulation of coolant flow. Kinetic parameters determined applying Tafel method of extrapolation are given in **Table 2**.



6
Polarization curve for grade ISO Fe 360 B steel in agitated coolant with and without added inhibitor

Curva di polarizzazione per l'acciaio di tipo ISO Fe 360 B steel in raffreddante con e senza l'aggiunta di inibitore



7
Polarization curve for grade ISO Fe 360 B steel in stagnant coolant with and without added inhibitor

Curva di polarizzazione per acciaio tipo grade ISO Fe 360 B steel in raffreddante stagnante con e senza l'aggiunta di inibitore

SOLUTION	E_{kor}/mV vs SCE	$b_a/mVdek^{-1}$	$b_k/mVdek^{-1}$	$j_{kor}/\mu Acm^{-2}$	v_{kor}/mmg^{-1}	Z, %
INH1 agitated	-433	168	129	3.76	0.043	67.8
INH1 stagnant	-507	156	195	6.57	0.076	16.7
INH2 agitated	-465	233	365	6.68	0,077	42.8
INH2 stagnant	-529	212	251	6,66	0.077	15.6
INH3 agitated	-450	132	144	4.47	0,052	43.3
INH3 stagnant	-548	191	370	6.78	0.078	41.9
No INH agitated	-550	72	416	7.89	0.091	-
No INH stagnant	-620	96	1069	11.68	0.135	-

Table 2. Corrosion parameters for carbon steel in tap water with and without added inhibitor

Tabella 2. Parametri di corrosione per acciaio al carbonio in acqua di rete con e senza l'aggiunta di inibitore

Recorded data indicate that agitation of electrolyte which was used to simulate coolant flow during machining reduce corrosion rate. Corrosion current is of higher value for systems without electrolyte agitation. E_{cor} is shifted to more positive value when compared with values for systems containing stagnant electrolyte. Efficiency of all three tested inhibitors is better in agitated electrolyte.

4. Conclusions

- Target of the experimental work was to test efficiency of inhibitors used in SHIP coolants upon corrosion of machined parts and magnitude of cutting force. Three inhibitors were tested: EcoLine Cutting Fluid (INH1), VCI-345 (INH2) i BU- 7(INH3).
- Results of cutting force measuring indicate that application of coolants containing inhibitors can significantly reduce forces. Lowest force has been obtained when INH2 inhibitor was used (748 N).
- Testing of corrosion properties has been conducted on samples that were machined applying coolants containing inhibitors and without

I dati registrati indicano che l'agitazione dell'elettrolita utilizzato per simulare il flusso di raffreddante durante la lavorazione meccanica riduce il tasso di corrosione. La corrente corrosiva è maggiore in sistemi privi di agitazione dell'elettrolita. Il potenziale di corrosione E_{cor} si sposta verso valori più positivi se comparato ai valori dati da sistemi contenenti elettrolita fermo. L'efficienza di tutte e tre gli inibitori testati è maggiore con agitazione dell'elettrolita.

4. Conclusioni

- lo scopo del lavoro sperimentale era testare l'efficienza degli inibitori utilizzati nei raffreddanti SHIP sulla corrosione di parti meccaniche e sulla grandezza della forza di taglio. Sono stati testati tre inibitori: EcoLine Cutting Fluid (INH1), VCI-345 (INH2) I BU- 7(INH3).
- i risultati delle misurazioni della forza di taglio indicano che l'applicazione di raffreddanti contenenti inibitori può significativamente ridurre le forze. La forza minore si è ottenuta con l'utilizzo dell'inibitore INH2 (748 N).
- l'analisi delle proprietà corrosive è stata condotta su campioni lavorati con l'utilizzo di raffreddanti contenenti inibitori e privi di inibitori espo-

inhibitors by exposing them in salt and wet chamber, in atmospheric conditions and in closed area. Also, electrochemical testing has been conducted applying method of linear polarization (Tafel extrapolation).

- Salt chamber test indicated the best protection against corrosion for samples treated with SHIP coolant containing INH1 inhibitor. Explanation for such results is very good resistance of this coolant against washing-out and aggressive environment, since resistant film on metallic surface is formed.
- Testing made in wet chamber indicated best corrosion resistance for samples treated with SHIP coolant containing INH1 inhibitor. Samples did not corroded in wet atmosphere.
- Testing in atmospheric conditions and closed area showed equal efficiency of all tested inhibitors.
- Results obtained applying Tafel extrapolation indicate that all three inhibitors have better performance in agitated coolant than in stagnant. Descending performance order of tested inhibitors is as follows : INH1 > INH3 > INH2 ■

nendoli in camera salina e umido statica, in condizioni atmosferiche e in spazio chiuso. Inoltre, è stato effettuato un test elettrochimico usando il metodo della polarizzazione lineare (estrapolazione Tafel).

- il test in nebbia salina indica che la protezione migliore contro la corrosione si è verificata con i campioni trattati con raffreddante SHIP contenente l'inibitore INH1. Il motivo di questo risultato è che questo raffreddante non si lava via facilmente ed ha una buona resistenza all'ambiente aggressivo, dal momento che forma un film resistente sulla superficie.
- analisi effettuate in camera umidostatica indicano una migliore resistenza alla corrosione per i campioni con raffreddante SHIP contenente l'inibitore INH1. I campioni non si sono corrosi in ambiente umido.
- l'analisi in condizioni atmosferiche e in luogo chiuso hanno mostrato la stessa efficienza per tutti gli inibitori testati.
- I risultati ottenuti usando l'estrapolazione Tafel indicano che tutte e tre gli inibitori hanno prestazioni migliori in un raffreddante in agitazione piuttosto che stagnante. Le prestazioni in ordine decrescente degli inibitori testate è come segue: INH1 > INH3 > INH2. ■

5. References

1. Suda S., et al., "A synthetic Ester as an Optimal Cutting Fluid for Minimal Quantity Lubrication Machining", Annals of the CIRP 2002.
2. www.corrosion-doctors.org, pristup na dan 21.10.2005.
3. Byrne G., et al., "Advancing Cutting Technology", Annals of the CIRP 2003.
4. Weinert K., et al., "Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication", Annals of the CIRP 2004.
5. Jovane F., et al., "Present and future of Flexible Automation: Towards New Paradigms", Annals of the CIRP 2003.