

Scelta di materiali per la realizzazione di componenti utilizzati nella trasmissione di potenza con acqua

E. Costa, G. Donzelli, V. Miozza, E. Bombonato, G. L. Garagnani, L. Ceschini

Nell'ambito di un progetto di ricerca industriale, finalizzato allo sviluppo di componenti "oleodinamici" utilizzanti acqua di rete come fluido per la trasmissione di potenza, condotto in collaborazione da aziende, centri di ricerca ed Università, è stata eseguita una campagna di prove tribologiche destinata allo studio del comportamento di materiali tradizionali e innovativi in condizioni di lubrificazione con acqua.

Le prove hanno evidenziato l'ottimo comportamento tribologico di alcuni materiali ceramici (Al_2O_3 e $TZ\ ZrO_2-Al_2O_3$) in accoppiamento con se stessi, con l'acciaio inossidabile X40CrMoVN16.2 e con le leghe di rame $CuSn14P$ e $CuAl11Fe4Ni4$.

INTRODUZIONE

Con la denominazione *Water Hydraulics* (WH) si identifica quel settore dell'oleodinamica che studia e produce componenti e sistemi che utilizzano acqua e/o liquidi a base acqua, come fluido per la trasmissione di potenza.

Nell'ambito di un programma di ricerca, cofinanziato dalla Regione Emilia Romagna e dall'Unione Europea, è stato elaborato un progetto finalizzato allo sviluppo di componenti WH, utilizzanti acqua di rete come fluido di potenza, e funzionanti a pressioni fino a 150 bar e portate di oltre 40 l/min.

L'interesse industriale per tale settore è legato a diverse considerazioni.

A differenza dell'olio idraulico, l'acqua non è infiammabile e non inquina l'ambiente ed i prodotti: ciò la rende quindi compatibile con molti processi produttivi critici, quali ad esempio quelli dell'industria alimentare e farmaceutica.

L'acqua è inoltre disponibile a basso costo, non presenta problemi di stoccaggio né di smaltimento, e porta infine ad indubbi vantaggi nella gestione e manutenzione degli impianti.

La scarsa viscosità dell'acqua, la sua aggressività e le severe condizioni di cavitazione ed erosione, a cui sono soggetti in esercizio i componenti WH, comportano però un grosso impegno nella progettazione e nella scelta dei materiali, per cui è necessario un attento lavoro di sperimentazione per ottimizzare le soluzioni progettuali e verificarne le prestazioni.

Il progetto, condotto in collaborazione da alcune aziende e da centri di ricerca, è stato strutturato in tre fasi principali.

Nella prima sono stati realizzati alcuni componenti prototipali basandosi su conoscenze pregresse e sulla bibliografia.

Attraverso prove a banco in condizioni simili a quelle reali di esercizio, sono state così ricavate importanti indicazioni relative ai miglioramenti da perseguire da un punto di vista progettuale e relativamente ai materiali da utilizzare.

In parallelo è stata avviata una seconda fase, relativa ad una campagna di sperimentazione in laboratorio su materiali ritenuti adatti alle condizioni tribologiche dei componenti in studio, sulla base di conoscenze sviluppate nel settore dai partner del progetto. I dati ricavati dalle prime due fasi del progetto hanno condotto alla realizzazione di prototipi ottimizzati, la cui effettiva funzionalità è stata poi verificata in un'ulteriore fase di prove a banco.

PROBLEMATICHE LEGATE ALLO SVILUPPO DI COMPONENTI WATER HYDRAULICS

Fin dagli anni '70-'80 è stato riscontrato un interesse per la WH [1-5], rivolto essenzialmente ad applicazioni off-shore o ad altri settori particolari, quali l'industria mineraria.

Negli ultimi anni, la maggiore sensibilità in merito alle problematiche ambientali e di sicurezza ha aperto nuovi mercati alla WH, come ad esempio il settore alimentare e farmaceutico.

Ciò ha indotto diverse aziende, a livello mondiale, a sviluppare componenti funzionanti ad acqua (pompe, valvole, attuatori).

Per comprendere le difficoltà da affrontare per lo sviluppo di tali componenti, occorre innanzitutto osservare le sostanziali differenze tra le caratteristiche fisico-chimiche dell'olio idraulico e quelle dell'acqua.

Considerando inoltre i requisiti costruttivi e funzionali dei componenti WH da realizzare, vengono individuate le principali problematiche tecniche da risolvere. In Tabella 1 si riporta uno schema riassuntivo che individua, per ogni problematica, le cause e le relative possibili azioni da sviluppare per attenuarne gli effetti.

E' palese l'esigenza di un'appropriata scelta dei materiali per lo sviluppo di tali componenti, specie per le problematiche d'usura e corrosione.

In particolare, queste risultano assai amplificate nel caso dello sviluppo di valvole a cassetto [6], in cui le vie di flusso sono collegate o isolate da un elemento mobile, detto cursore, che scorre all'interno del corpo valvola. Le ristrette tolleranze dimensionali a progetto per tali componenti ($1\div 2\ \mu m$), necessarie per minimizzare il trafilamento del fluido, rendono il tribosistema particolarmente critico.

A ciò si devono aggiungere i fenomeni erosivi ed abrasivi, legati all'alta velocità del fluido ed al particolato di usura in esso presente, e quelli di cavitazione, particolarmente intensi in questi sistemi.

E. Costa, G. Donzelli, V. Miozza, CERMET Scarl - San Lazzaro di Savena (BO)

E. Bombonato, G. L. Garagnani, Università di Ferrara - Dip. Ingegneria

L. Ceschini, Università di Bologna - Istituto di Metallurgia

Memoria presentata al 27° Convegno Nazionale AIM, Orvieto 16-18 settembre 1998

PROBLEMA	CAUSA	POSSIBILI RIMEDI
EROSIONE E CAVITAZIONE	<ul style="list-style-type: none"> Alta pressione superficiale dell'acqua Temperatura Alta densità dell'acqua Alta solubilità dell'aria in acqua Elevata velocità del fluido Flusso turbolento Presenza di particolato nel fluido 	<ul style="list-style-type: none"> Uso di materiali ceramici, alluminio anodizzato a spessore, acciaio inossidabile ad alta durezza, rivestimenti superficiali. Aggiunta di additivi per aumentare la viscosità od abbassare la pressione superficiale del fluido. Soluzioni progettuali (es.: evitare brusche cadute di pressione e controllare la velocità del fluido anche attraverso fessure, gole o incavi opportunamente ricavati nei componenti ecc.).
USURA DA STRISCIAMENTO E LUBRIFICAZIONE	<ul style="list-style-type: none"> Bassa viscosità dell'acqua Basso potere lubrificante dell'acqua 	<ul style="list-style-type: none"> Uso di opportuni accoppiamenti di materiali (es.: ceramico/ceramico, ceramico/polimero, acciaio inossidabile/bronzo, acciaio inossidabile/ rivestimenti superficiali, ecc.). Sviluppo di Speciali O-ring e tenute assiali. Soluzioni progettuali (es.: soluzioni idrosostentate, ecc.). Uso di opportuni additivi.
CORROSIONE	<ul style="list-style-type: none"> pH Contenuto di ioni Cl Presenza di O₂ Corrosione da attività microbiologica Tensocorrosione Velocità dell'acqua Altro: (coppie galvaniche ecc.) 	<ul style="list-style-type: none"> Uso di materiali resistenti a corrosione (es.: acciaio inossidabile, ottone, bronzo, alluminio anodizzato a spessore, ceramici, polimeri, rivestimenti superficiali, ecc.). Evitare coppie galvaniche utilizzando materiali simili o, quando non possibile, evitare la continuità di contatto elettrico. Evitare interstizi. Aggiunta di additivi per inibire i processi corrosivi. Uso di protezione con anodi sacrificali.
PERDITE (TRAFILAMENTO)	<ul style="list-style-type: none"> Bassa viscosità dell'acqua 	<ul style="list-style-type: none"> Soluzioni progettuali (es. utilizzo di soluzioni a sede anziché a cassetto; riduzione dei valori di tolleranza dimensionale). Materiali resistenti ad abrasione, erosione ed a cavitazione (ceramici, acciai inossidabili ad elevata durezza, ecc.). <p>NOTA:</p> <ul style="list-style-type: none"> Il trafilamento può essere accentuato dai fenomeni erosivi che aumentano il gioco tra gli elementi
CONTENUTO DI MICRO ORGANISMI	<ul style="list-style-type: none"> Il contenuto di microrganismi dipende dalla presenza di sostanze nutrizionali (ad es. ioni ferro), dal pH, dalla temperatura, ecc. 	<ul style="list-style-type: none"> Particolare cura nella pulizia dei componenti e uso di filtri. Utilizzo di sistemi di disinfestazione dell'acqua a raggi UV. Pastorizzazione dell'acqua. Aggiunta di battericidi.

Tab. 1 - Problematiche relative allo sviluppo di componenti Water Hydraulic.

Table 1 - Problems in Water Hydraulics components development.

TEST FUNZIONALI E DI DURATA A BANCO

La sperimentazione ha riguardato l'esecuzione di test funzionali e di durata sui prototipi realizzati e lo svolgimento di prove di attrito ed usura su tribometro pin-on-disk in laboratorio.

In parallelo, i partner del progetto hanno curato azioni specifiche di ottimizzazione progettuale dei componenti in studio, attraverso l'uso di codici numerici di simulazioni fluidodinamiche (A.M.E.Sim. e C.F.D. ad elementi finiti).

Per la sperimentazione su prototipi è stato approntato un impianto di prova funzionante ad acqua di rete, progettato e costruito appositamente dal CERMET [7], conforme ai requisiti stabiliti dalle norme internazionali vigenti per l'oleodinamica tradizionale (UNI ISO 4411 e UNI ISO 6403).

I test eseguiti a banco sui componenti hanno riguardato: la determinazione del comportamento dinamico e statico, la misura dei trafilamenti, la valutazione del comportamento a

durata. Sono stati inoltre valutati gli effetti dei fenomeni di usura e corrosione in condizioni simili a quelle di esercizio.

PROVE TRIBOLOGICHE

Secondo diversi autori [8-15], nel contatto fra metalli, la presenza dell'acqua, non modifica sensibilmente l'attrito rispetto a contatti a secco, mentre influenza sensibilmente l'entità dei fenomeni di usura, a seguito della formazione di un film superficiale, costituito principalmente da ossidi ed idrossidi, che evita il contatto diretto metallo/metallo. Ritenendo che tale effetto perda efficacia in condizioni tribologiche severe, una delle tendenze è quella di sostituire, parzialmente o globalmente, i materiali metallici con materiali ceramici. In tal senso la bibliografia è ricca di esempi e sperimentazioni su accoppiamenti del tipo ceramico/ceramico o ceramico/metallo. Su queste premesse è stato condotto un

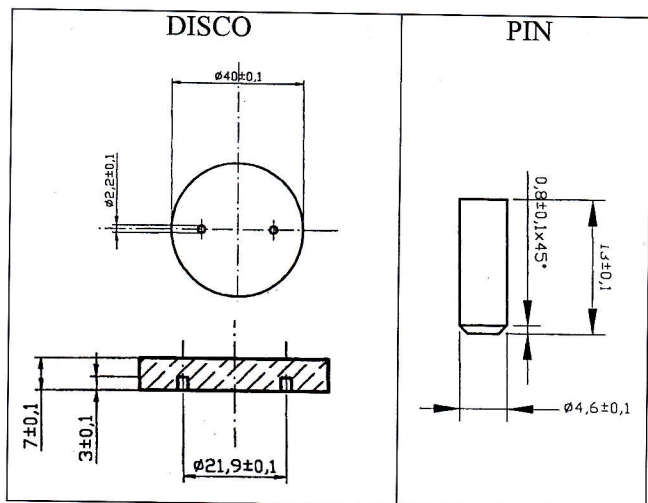


Fig. 1 - Geometria dei campioni. Fig. 1 - Samples shape and size.

programma di prove tribologiche mirate a valutare la possibilità di impiegare anche accoppiamenti metallo/metallo per componenti WH [8-15].

Le prove tribologiche sono state eseguite con un tribometro pin-on-disk (figura 1), secondo norma ASTM G99, e con provini completamente immersi in acqua potabile. La scelta di un contatto di tipo conforme ha portato alla realizzazione di pin cilindrici a faccia piana, con vantaggi anche per il controllo del grado di finitura.

L'attività di sperimentazione, suddivisa in prove *short run* e *long run*, è stata preceduta da una serie di test preliminari, su alcuni tipi di accoppiamento di riferimento, in differenti condizioni di carico (10-40-80 N) e di velocità (0,1-0,37-

0,75 ms⁻¹), per individuare le condizioni di prova in grado di consentire una netta distinzione prestazionale tra gli accoppiamenti in studio. Ciò ha portato a selezionare le seguenti condizioni di prova: 80 N (4,9 MPa) e 0,75 ms⁻¹, con cui poi sono state condotte tutte le prove, sia *short run* sia *long run*. Le prove *short run*, della durata di un'ora, hanno permesso di creare una gerarchia prestazionale tra gli accoppiamenti in studio. A queste sono seguite prove *long run* della durata di varie ore, eseguite solo sugli accoppiamenti con comportamento soddisfacente.

In tutti gli accoppiamenti studiati, il pin è stato realizzato nel materiale più tenero e la sperimentazione è stata condotta principalmente tenendo conto del comportamento ad usura di questi ultimi. In tabella 2 si riportano alcune caratteristiche dei materiali testati.

I materiali provati sono stati caratterizzati dal punto di vista metallografico e prima di ogni prova, sui provini da testare, sono stati condotti rilievi ponderali, dimensionali e rugosimetrici. Alla fine di ogni prova, dopo lavaggio, i provini sono stati sottoposti al medesimo ciclo di rilievi.

L'usura è stata valutata tramite la perdita di peso dei provini (Δp), da cui è stato quindi ricavato il tasso di usura $K = (\Delta p/\rho)/d$, dove d rappresenta la distanza percorsa e ρ la densità media del materiale, quest'ultima misurata sperimentalmente.

RISULTATI DELLE PROVE TRIBOLOGICHE

Prove Short Run

Con riferimento alle figure 2 e 3, le prove condotte con disco in Al₂O₃ hanno evidenziato in generale un ottimo comportamento tribologico, in particolare per quanto riguarda la

Tab. 2 - Caratteristiche dei provini.

Table 2 - Materials characteristics.

Provini (Pin e Dischi)	Materiale	Rugosità (R _a) (µm)	Densità (ρ) (kg/dm ³)	Durezza HV
α-Al ₂ O ₃ al 99,99%	polveri SM8 BaikaloX	0,23	3,9	2200
TZ ZrO ₂ - α-Al ₂ O ₃ (80% wt -20% wt)	polveri 3Y20AB (Super-Z)	0,12	11,3	1644
Acciaio X15TN	X40CrMoVN16.2	0,11	16,5	680
AISI 316	X3CrNiMo17.13.3	0,10	7,9	356
Bronzo B14	CuSn14P	0,10	7,5	195
Bronzo SN7	CuAl11Fe4Ni4	0,10	8,5	230

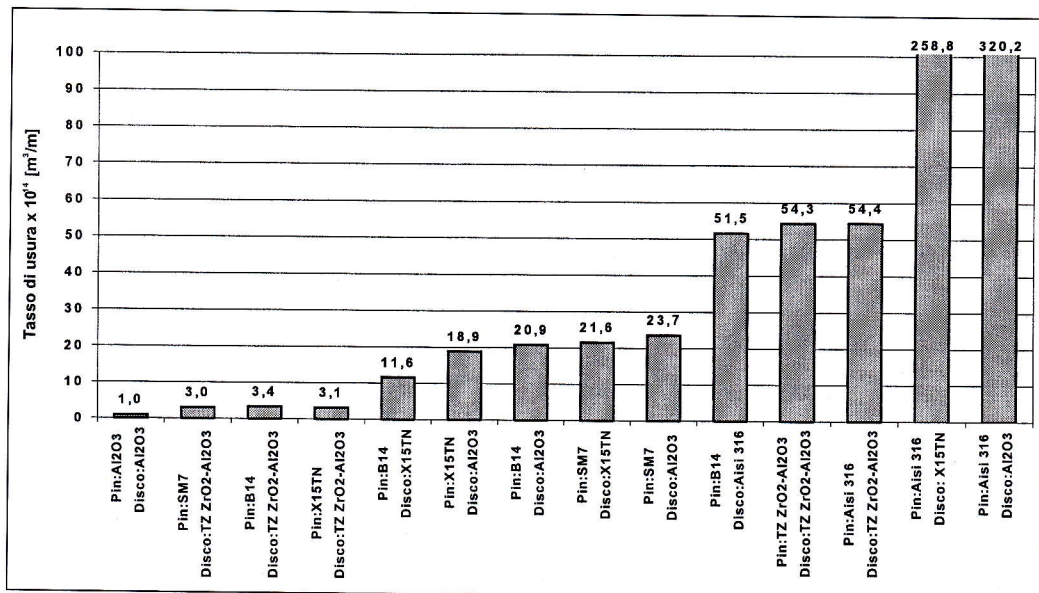


Fig. 2 - Tasso di usura dei pin nelle prove short run.

Fig. 2 - Pin wear rate in short run tests.

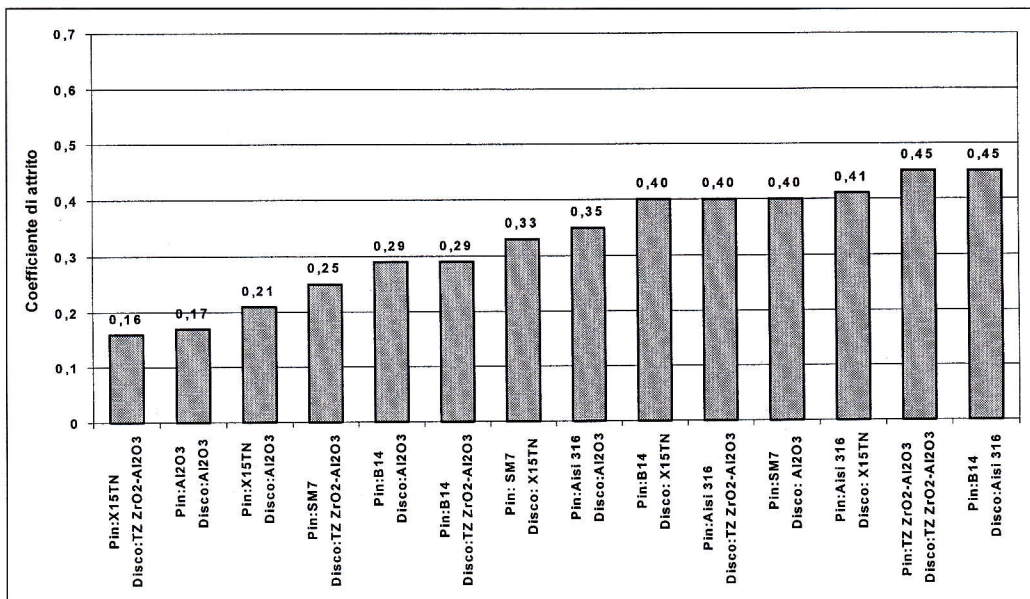


Fig. 3 - Coefficiente d'attrito nelle prove short run.

Fig. 3 - Coefficient of friction in short run tests.

resistenza ad usura, ad eccezione dell'accoppiamento con acciaio AISI 316, che ha fornito in assoluto le peggiori prestazioni, conducendo anche ad una significativa usura del disco ($44 \times 10^{-14} \text{m}^3/\text{m}$). L'accoppiamento $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ ha invece mostrato la migliore performance, contrariamente a quanto emerso in prove $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ a secco, che hanno presentato la completa distruzione dei pin dopo pochi minuti di prova, e di quelle relative all'accoppiamento TZ ZrO_2 - $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TZ ZrO}_2$ - Al_2O_3 in acqua. Anche nelle prove condotte con disco in TZ ZrO_2 - Al_2O_3 ed in acciaio X15TN il comportamento ad usura dell'acciaio AISI 316 si è dimostrato deludente, dando luogo sempre ad un forte trasferimento di materiale sul disco.

Gli accoppiamenti con pin in lega di rame hanno mostrato tutti un buon comportamento tribologico ad eccezione dell'accoppiamento con disco in acciaio AISI 316.

L'acciaio inox X15TN ha invece evidenziato un comportamento più che soddisfacente in tutti gli accoppiamenti, in particolare con i due materiali ceramici in studio.

Prove Long Run

Le prove long run sono state effettuate per valutare la stabilità nel tempo dei dati di usura ed attrito degli accoppiamenti più interessanti. A tale scopo sono state effettuate prove di durata, che per l'accoppiamento $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ sono state estese fino a 24 ore (figura 4 e 5). Gli andamenti del tasso di

usura hanno mostrato una tendenza decrescente nel tempo per taluni accoppiamenti e crescente per altri. Nel primo caso ciò appare dovuto ad una fase di rodaggio, con conseguente "abbondante" perdita di materiale, seguita da una successiva fase di stabilizzazione dell'accoppiamento. Nel secondo caso invece si può ipotizzare che le condizioni di prova adottate non permettessero di raggiungere una situazione di equilibrio stabile.

Le prove long run hanno nuovamente dimostrato l'ottimo comportamento tribologico della coppia $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ e delle coppie ceramico/acciaio X15TN.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI DELLE PROVE TRIBOLOGICHE

Dalla campagna di test emerge innanzitutto l'ottimo comportamento tribologico dell' Al_2O_3 .

L'accoppiamento $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ presenta una notevole resistenza all'usura ed un basso coefficiente d'attrito, come affermato da altri autori [8-15]. In questo caso, come nel caso degli accoppiamenti Al_2O_3 /bronzi e TZ ZrO_2 - Al_2O_3 /acciaio X15TN, è interessante notare che il tasso di usura ed il coefficiente d'attrito cinetico risultano sostanzialmente costanti, dopo un breve periodo di rodaggio iniziale, a dimostrazione del raggiunto equilibrio del tribosistema, presupposto imprescindibile per la realizzazione di componenti WH desti-

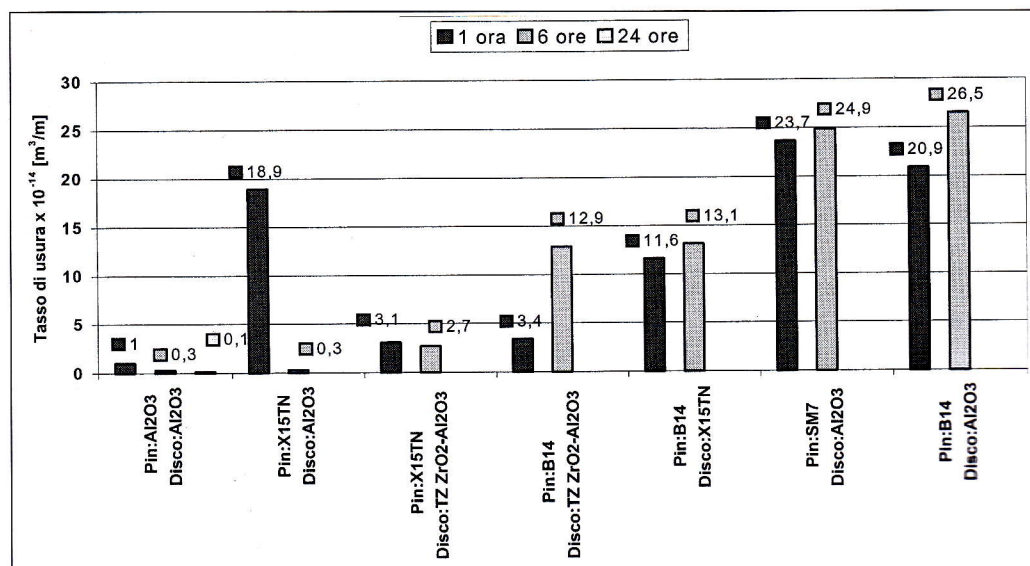
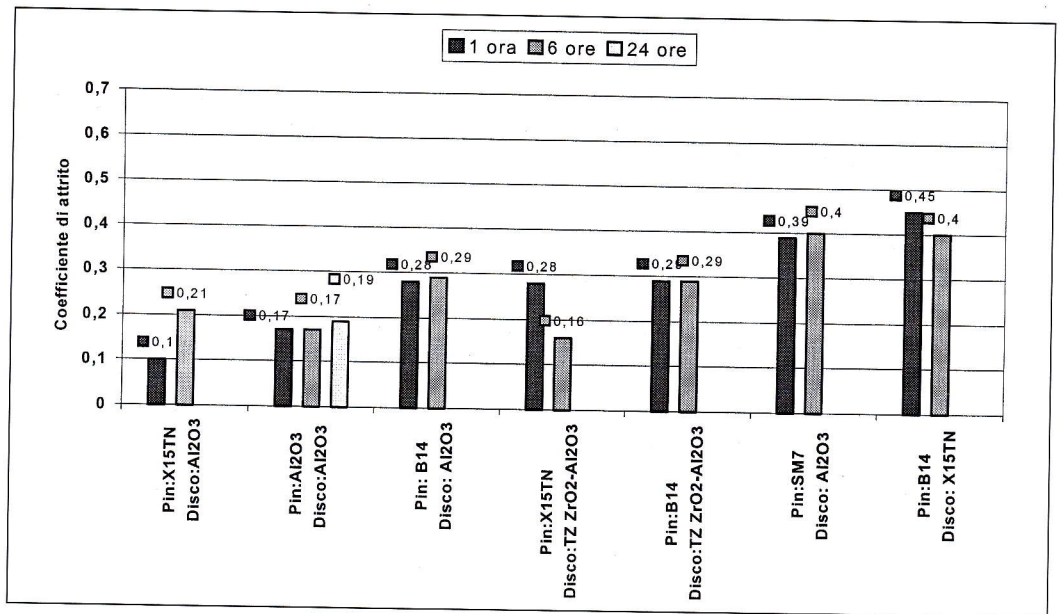


Fig. 4 - Tassi di usura dei pin nelle prove long run.

Fig. 4 - Pin wear rate in long run tests.

Fig. 5 - Coefficiente d'attrito nelle prove long run.

Fig. 5 - Coefficient of friction in long run tests.



nati ad usi prolungati nel tempo. Gli accoppiamenti Al₂O₃/ metallo, tranne nel caso dell'acciaio AISI 316, presentano un comportamento tribologico altrettanto buono, associato tuttavia ad una fase di rodaggio decisamente più distruttiva. Tali risultati si possono giustificare con considerazioni legate alla durezza di questi materiali e per l'insorgere di fenomeni tribochimici, soprattutto tra ceramico ed acqua, che alterando la natura superficiale del contatto, aumentano la performance dell'accoppiamento. Quest'ultimo aspetto appare di grande interesse e meriterebbe ulteriori approfondimenti. Va comunque osservato che l'acqua produce un effetto lubrificante sul sistema, soprattutto alla luce del totale fallimento delle prove a secco sull'accoppiamento Al₂O₃/ Al₂O₃. Resta da verificare se ciò sia dovuto maggiormente all'azione lubrificante dell'acqua, od alla formazione, per effetto tribochimico, di strati di ossidi e/o idrossidi, che impedirebbero il contatto diretto delle superfici in accoppiamento. Si deve inoltre considerare che anche le vibrazioni indotte dall'attrito di primo distacco, che la geometria di prova trasferisce ai pin sotto forma di impatti e di sollecitazioni flessionali, potrebbero comportare frattura dei materiali ceramici in studio, nelle prove a secco.

Altro aspetto interessante è il processo d'usura che governa le modeste prestazioni dell'acciaio AISI 316. Questo sembra procedere per fenomeni adesivi ed abrasivi: i primi sarebbero responsabili dei trasferimenti di materiale sulle superfici a contatto, mentre i secondi sembrano dovuti alla formazione di un terzo corpo, in forma di particolato, di natura martensitica, che taglia ed abrada la matrice austenitica, rendendo ancora più severe le condizioni del tribosistema.

Il risultato più interessante, e più vicino alle finalità della sperimentazione condotta, riguarda le ricadute tecnologiche dei risultati ottenuti. In particolare, come già accennato, si

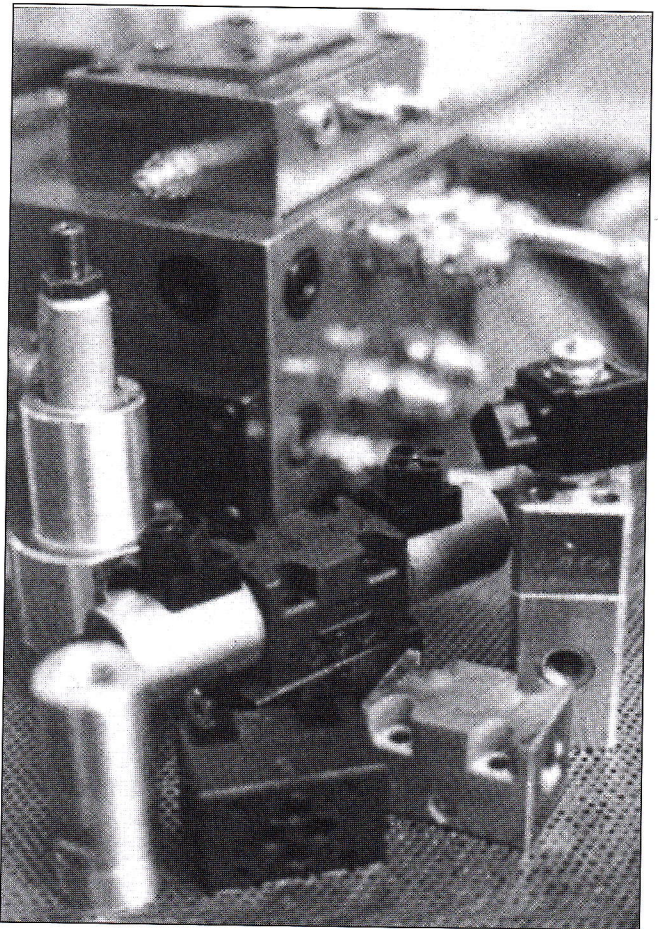


Fig. 7 - Valvole funzionanti ad acqua.

Fig. 7 - Water hydraulics valves.

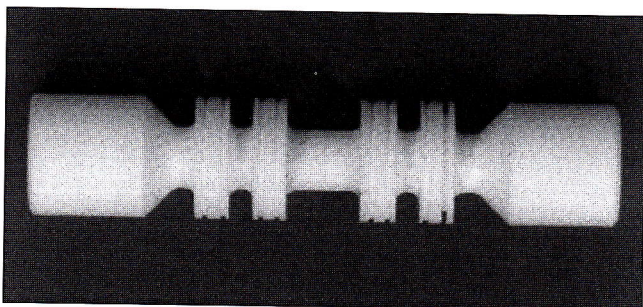


Fig. 6 - Corsore di valvola in ceramica.

Fig. 6 - Ceramic valve cursor.

sono dimostrati molto interessanti gli accoppiamenti tra leghe di rame e Ceramico o Acciaio X15TN. Questi risultati potrebbero avere un notevole ritorno a livello industriale. I processi di fonderia, infatti, assicurano la fattibilità di corpi valvola in bronzo a costi contenuti, mentre il progetto ha dimostrato la fattibilità di cursori ceramici (figura 6). Ricordando che i bronzi presentano caratteristiche fisiche che bene si adattano a quelle dei ceramici, ciò lascia supporre che sia possibile l'impiego di tali soluzioni per la realizzazione a livello industriale di prodotti WH.

CONCLUSIONI

L'attività di ricerca descritta ha evidenziato che la scelta dei materiali, per garantire buone prestazioni tribologiche a componenti WH, è fortemente influenzata dalle condizioni operative di contatto che questi materiali presentano, e che generalizzazioni dei risultati od estrapolazioni risultano, in realtà, molto pericolose. Ad esempio, analizzando il contatto ceramico contro se stesso, si può notare la sensibile differenza di comportamento esibita dai due tipi di materiale provato.

L'attività inoltre ha evidenziato la necessità di un intenso lavoro sperimentale su due fronti: selezione a tribometro dei materiali e verifica delle soluzioni mediante prove funzionali e di durata su prototipo. Il ricorso ad una sola di queste attività, può comportare infatti, in un caso, a risultati non perfettamente trasferibili all'applicazione, nell'altro ad una limitata sperimentazione di soluzioni impiegabili.

L'integrazione nel progetto dei due tipi d'approccio ha permesso di sviluppare alcuni componenti WH dal soddisfacente comportamento prestazionale, tra cui: valvole di non ritorno, valvole regolatrici di pressione, distributori a cassetto (figura 7) e servoattuatori.

RIGRAZIAMENTI

Si ringraziano i partner del progetto: il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Modena, il CNR-Cemoter di Ferrara, la Ognibene SpA di Reggio Emilia, ed in particolare il Dipartimento Innovazione dell'ENEA di Faenza (RA) per la fabbricazione dei particolari ceramici e la Aron SpA di Reggio Emilia per progettazione e realizzazione dei componenti prototipali.

Il progetto è stato cofinanziato dalla regione Emilia Romagna e dalla Comunità Europea nell'ambito della Misura 3.1 per le aree Obiettivo 2 dell'E.R.

A B S T R A C T

MATERIALS SELECTION FOR WATER HYDRAULICS APPLICATIONS

Summary

An important field of product innovation in power transmission systems is related to the substitution of hydraulic oils with other fluids, more environmentally acceptable and, if possible, less expensive.

Tap water, or an aqueous emulsion, is a natural candidate, depending on its useful properties. On the other hand, water has a lubricating capacity lower than hydraulic oils, and is more aggressive against metallic surfaces.

In the framework of a programme for stimulation of innovation, co-funded by European Union and Emilia-Romagna region, an applied research project has been elaborated, aiming at developing prototype Water Hydraulics components, working in industrial range for pressures till 140 bar and flow rates over 50 L/min.

In this paper the results obtained about materials selection are presented and discussed.

Introduction

In the last years industrial interest has grown about the feasibility of developing power transmission components working with fluids less environmentally dangerous in respect of conventional hydraulic oils.

This fact is related to the increasing attention that has to be paid to the pollution control and to the reduction of product contamination, especially in those fields, like the pharmaceutical sector or the food and beverages industry.

With the denomination "Water Hydraulics" (WH), that sector of hydraulics that develops and produces components working with water is identified.

Several reasons are related to the re-emergence of water-based hydraulic systems:

- tap water is not inflammable,

- it does not develop contamination of the environment and of the product to be worked,
- its costs are lower than those of hydraulic oils, especially for discharge.

Several strong difficulties arise, however, if a simple substitution of hydraulic oils with water-based fluids is tested:

- water has a poor lubricating power and a lower viscosity, if compared to hydraulic oils,
- water is highly aggressive for many metallic materials,
- water deposits limestone, which can reduce the efficiency of the system,
- water allows the development of colonies of micro-organisms, which can produce corrosion or health safety concerns.

By considering these facts, it must be concluded that is not possible a simple fluid substitution, if the aim is to develop a new kind of servo-valves or linear actuators, but a design and experimental work is needed, in order to overcome the difficulties listed above.

If a company would develop such a kind of components, the task that should be afforded deal with three different main topics:

1. shape and geometrical configuration of the components, that imply fluidodynamic considerations and modellization, in order to reduce cavitation and fluid losses,
2. testing activity, in order to evaluate alternative solutions and to validate the decisions about design and materials;
3. proper selection of materials and/or surface treatments, in order to reach the desired properties in terms of tribological behaviour and corrosion resistance.

A cooperation between small companies, Universities and Research Centres, was started in 1997 on these matter, aiming at demonstrating the technical feasibility of manufacturing WH products.

The paper describes the main results obtained about point 2.

Testing programme

Testing activity was divided in two steps:

- in the first one, a wide series of tribological tests, with simple contact geometry, was performed, comparing the behaviour of several couples of materials;
- in the second one, some prototype components were manufactured, using materials that had showed the best tribological characteristics, and they were tested according to functional standards, on a water test-bed, on purpose developed.

Tribological tests

Tribological tests were carried out at room temperature on a three pin-on-disk FALEX mod. FX-1506 tribometer, with samples completely submerged in deionized water.

In order to map the tribological behaviour of each sliding pair of material under evaluation, tests were conducted with three different load levels, ranging between 10 and 80 N, and three sliding speed levels, varying between 0,1 and 0,7 m/s.

Each condition of load and sliding speed, during short run tests, was repeated at least three times, in order to obtain an estimation of the repeatability of the measures.

The configuration of contact with three pins was selected in order to allow to apply relatively high compressive loads to the surfaces in motion (specific load values ranging from 0,2 to 1,6 MPa).

In order to prevent contact stability problems during testing, that could generate vibrations and other perturbing effects, pins were always prepared using the softer material in the couple.

Two types of tests were performed:

- a short run test, one hour long, as an initial screening, in order to evaluate the behaviour of the several couples of materials under evaluation,
- for the sliding pairs which showed better performance, a long run test, six hour long.

Before starting tribological tests on a new couple of materials, analyses of micro-hardness, density, and metallographic analysis were executed, in order to reduce spreading of the results, due to heterogeneity.

Each specimen was cleaned before and after the test according to a standard two-step practice, by immersion in an ultrasonic bath, before in petroleum ether, and then in acetone.

After cleaning, specimens were dried in a climatic chamber for 24 hours, with temperature varying between 20 and 28 °C and relative humidity ranging from 40 to 50 %, and then dimensional, superficial and weight measurements were made.

After each test, relief on wear tracks, metallographic observation by stereo, optical, and SEM microscopy, XDR on wear tracks and debris were conducted.

The tribometer recorded coefficient of friction values during the test; the wear rates were calculated by loss in weight.

Testing results and discussion

During short run tests, a wide variation in wear rates and in mean values of coefficient of friction was observed.

Some general remarks can be pointed out:

- in the left part of the horizontal axis, with lower values of wear rate and coefficient of friction, there are couples with ceramic materials, which show low wear with every pin material except for the contact with stainless steel AISI 316,
- the couples with disks made with harder metals (nitrogen stainless steel X 15 TN) show wear rates that are lower from two to over ten times than those of couples of materials with disks made in softer materials (stainless steel AISI 316).

These tests show the good tribological behaviour of ceramics, alumina in particular, bronzes and stainless steel X15TN sliding on alumina, and zirconia-alumina coupled with bronzes and X15TN, with the exception of the couple zirconia-alumina against itself.

Hardness of the countersurface seems to be an important factor in preventing wear, especially at higher loads.

Particularly interesting is the alumina-alumina couple, which shows a low coefficient of friction and low wear rate; this is in line with other Authors [5], and has been confirmed in several long run tests, for each level of load considered.

After an initial running in, the alumina-alumina couple showed a subsequent steady state behaviour for each level of load and speed. The same behaviour has been showed by alumina-bronze and alumina-X15TN stainless steel couples. These results are generally explained by tribo-chemical phenomena, which would occur during the test between solid surfaces and water, modifying their contact properties.

Water seems to be a "lubricant" in the contact, especially in the alumina-alumina sliding pair; it must be noted that several dry tests of the same couple failed immediately, the pin shattering after four minutes.

A result of great interest for the industrial development of Water Hydraulic products is the good performance of the ceramic-bronze sliding pair; this has suggested that body-valves could have been produced with foundry methods, while cursors or inner components could have been manufactured by sintering ceramic materials.

Functional tests

In order to assess the performance of prototype components, a test-bed was developed, fully conformal to ISO 4411 and ISO 6403 standards, that are the functional standards for oil-based valves.

Three prototype types of valve (nonreturn, pressure relief, and 2-position 2-way), and two prototype types of linear actuator were developed, which were characterized according to the relevant standards.

According to the results of the first step of the project, different materials were selected for manufacturing the prototype valves: ceramic cursors, made by HIP process in Alumina 99,99 %, springs in stainless steel AISI 316 wire, and body-valves in stainless steel AISI 316 and in copper-aluminum SM 7.

Functional tests were performed and the results showed good properties.

Several long run tests were also conducted on prototype components, that showed some problems, especially in the case of actuators, to prevent fluid losses after some degree of wear of the seal systems.

However, the results of this phase were considered very interesting for what concerns the demonstration of the technical feasibility of such products.

Final remarks

The increasing demand from the market of more safe, reliable and environmentally acceptable products is a driving force that obliges the manufacturers to dedicate many resources, economical and human, to the technological development of their products.

This is true especially when attention is drawn towards structural changes in one of the current technological paradigms.

By this point of view, tribological research must not be neglected, because friction and wear have an important influence on the service life of components.

Cooperation between Universities, Research Centres and companies can be a key factors in supporting this continuous effort towards innovation both in products and in manufacturing processes.