

Marco Boniardi
Paolo Clerici
Alfredo Cigada
Laura Vergani

Materiali per costruzioni meccaniche

Materials for mechanical applications

Technological process and innovation of know-how methodology are the main topics in current industrial production.

For last years, component designing for mechanical applications has been requiring materials selection matches most appropriate technological process to realize an object reliable in terms of expected life, avoiding premature rupture, keeping costs competitive.

This scenery makes materials research be a key point for innovation and development, and the numerous areas of research developed recently about them attest it. For a blank-paper design, new materials are characterized and investigated, while studies about damage mechanisms involved in exercise aims to make best choice of materials in terms of reliability.

Currently, many research activities are focused on characteristics and applications of innovative stainless steels, like those characterized by a microstructure mixed of two phases, the ferritic and the austenitic one, known

as duplex stainless steels. Comparing to common stainless steels, duplex alloys show a better corrosion resistance and a higher mechanical strength (two times around), and, therefore, they are candidate to be structural materials for components subjected to both static and dynamic loading in aggressive environment. Gears are further examples of applications in which the best results strictly depend on an optimal combination of material and design. At our Department several experiments aim to explain and quantify the different behaviour of a component treated with different thermochemical processes, carburising and nitriding, mainly. About that, great relevant are the studies concerning propagating ▶

Il settore meccanico occupa una posizione di grande rilievo nella realtà industriale lombarda sia in termini di occupazione che di prodotto, infatti le numerose industrie meccaniche presenti nella regione sono riuscite ad adeguarsi brillantemente alle rapide e notevoli trasformazioni in atto nel settore.

In particolare è diventata fondamentale e strategica la figura del progettista che ha il compito di ottimizzare le contrastanti esigenze legate all'esecuzione del progetto di una macchina che, costruita con i materiali e i processi tecnologici adeguati, deve assolvere le funzioni richieste senza presentare cedimenti durante tutta la vita prevista con un costo complessivo concorrenziale.

Il progettista può contare, d'altro canto, su mezzi di calcolo e conoscenze tecniche senz'altro notevoli soprattutto se confrontati con quelli a disposizione solo fino a pochi decenni fa. Elaboratori elettronici sempre più potenti permettono di risolvere con programmi di calcolo numerici problemi molto complessi che fino a pochi anni fa era impensabile affrontare in modo analitico; le nuove tecnologie di produzione rendono disponibili materiali pensati quasi su misura per l'applicazione (come i materiali compositi); le nuove macchine di prova rendono possibile la sperimentazione dei materiali anche in condizioni complesse simili a quelle reali.

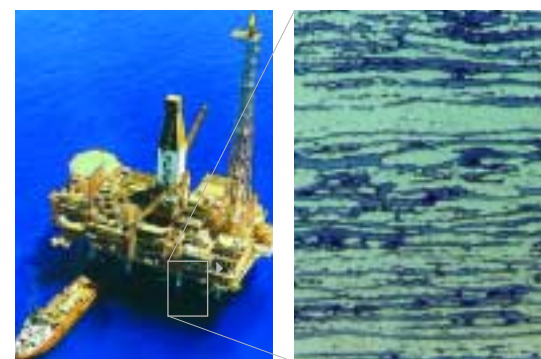
In questi ultimi anni, inoltre, la crescente concorrenza internazionale ha richiesto una notevole accelerazione delle competenze progettuali e delle tecnologie produttive per poter essere in grado di tenere il passo con i ritmi di sviluppo del mercato mondiale. Di concerto con questa spinta propulsiva, il settore della ricerca ha subito una forte accelerazione, sia proponendosi come motore dell'innovazione che affiancando le varie realtà industriali nelle iniziative di punta delle costruzioni meccaniche.

A questo riguardo, è soprattutto nel campo dei materiali che si sono focalizzate le principali aree di ricerca: da un lato come progettazione *ex-novo* utilizzando materiali innovativi, dall'altro come approfondimento dei fenomeni di danneggiamento dei componenti in esercizio per giungere a scelte sempre più affidabili sia nel campo dei materiali tradizionali che, soprattutto, in quello dei materiali avanzati.

Nell'ambito del Dipartimento di Meccanica molte attività sono state intraprese in tal senso.

Nel settore delle leghe metalliche sono in corso varie attività di ricerca relative alle caratteristiche e

1. Una significativa applicazione unitamente alla tipica microstruttura degli acciai inossidabili austeno-ferritici

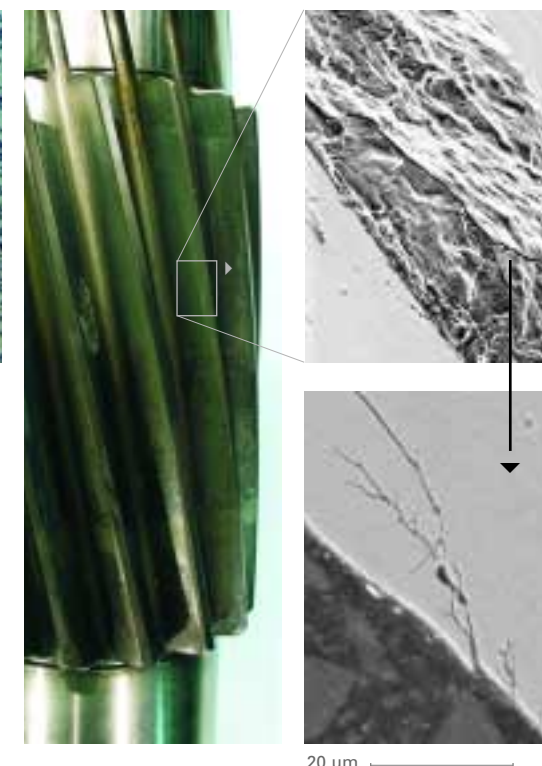


agli impieghi di acciai inossidabili innovativi. Ci riferiamo, in questa sede, agli acciai inossidabili *duplex* a struttura mista austeno-ferritica come mostrato in figura 1'.

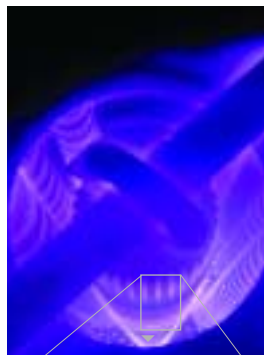
Tali materiali, oltre ad avere eccellenti proprietà di resistenza alla corrosione, posseggono una resistenza meccanica doppia rispetto ai tradizionali acciai inossidabili e, quindi, si propongono come materiali strutturali per la realizzazione di componenti soggetti ad elevate condizioni di sollecitazione sia statica che dinamica in ambienti particolarmente aggressivi.

Altro campo dove stretta è l'interazione tra le costruzioni meccaniche ed i materiali è il settore degli organi di trasmissione. Tipico è il caso del settore degli ingranaggi dove un'estesa sperimentazione è in corso presso il nostro Dipartimento per valutare la resistenza in esercizio e, quindi, l'affidabilità di ruote dentate sottoposte a differenti trattamenti superficiali, specificamente nitrurazione e cementazione. In figura 2' è mostrato, quale esempio della sperimentazione in corso, un pignone realizzato in acciaio da cementazione. Il componente ha subito un macroscopico danneggiamento per fenomeni di *pitting* superficiale, fenomeni che,

2. Esempio di un tipico fenomeno di danneggiamento di uno strato superficiale cementato e relativa failure analysis



3. Esecuzione di un trattamento di nitrurazione ionica e aspetto dello strato superficiale nitrurato.



4. Tipica rottura per propagazione di un difetto interno in una ruota ferroviaria.



5. Macchina per prove statiche e a fatica in condizioni di sollecitazione multiassiale (in alto) in condizioni di sollecitazione semplici (in basso).



attraverso tecniche di *failure analysis*, sono stati studiati mediante microscopia elettronica a scansione. Proprio in seguito a queste sofisticate indagini è stato possibile conoscere i meccanismi che governano il disservizio del componente e, di conseguenza, mettere a punto opportuni trattamenti che garantissero una maggiore affidabilità. Sempre sul filone dei trattamenti di superficie atti a migliorare la resistenza meccanica dei componenti, sono da evidenziare gli studi relativi ai processi di nitrurazione ionica. Questa ulteriore attività, anch'essa svolta in collabo-

razione con aziende del settore, mira ad ottenere un'elevata resistenza ad usura unitamente a buone doti di tenacità e resistenza alla frattura fragile. Un esempio di componenti nitrurati con tale processo è osservabile in figura 3^{*}; si noti il caratteristico alone violetto-azzurrognolo della nitrurazione ionica, dovuto all'addensamento del plasma di azoto concentrato attorno al pezzo da trattare. Notevoli sviluppi sono anche collegati al settore dei trasporti. La richiesta di prestazioni sempre più spinte in termini di velocità del veicolo e di affidabilità ha provocato un'accelerazione nella ricerca in

questo settore.

Nel Dipartimento di Meccanica molta importanza è stata data agli studi sulla propagazione di difetti interni sollecitati con carichi da contatto. Tipica applicazione è quella delle ruote ferroviarie, quale quella riportata in figura 4^{*}.

La presenza di difetti interni può, infatti, compromettere l'integrità strutturale di questi componenti e per ovviare a tali problematiche sono stati proposti nuovi modelli di calcolo per riuscire a valutare anche quantitativamente l'effettiva pericolosità dei difetti presenti. In questo modo è possibile ottimizzare l'impiego di materiali tradizionali anche per applicazioni più esasperate, come nel caso dei treni ad alta velocità, garantendo in contemporanea la sicurezza del sistema nel suo complesso.

Sempre nel settore dei trasporti l'impiego di nuovi materiali ha permesso soluzioni costruttive innovative. L'uso di materiali compositi che possono essere progettati "su misura" per le specifiche condizioni di carico, di utilizzo e di ambiente, ha fortemente ampliato le possibilità realizzative.

Un esempio tipico è quello dei compositi a matrice polimerica e rinforzo in fibra di vetro, ottenuti con il processo tecnologico di pultrusione, che hanno caratteristiche di resistenza simili a quelle degli acciai e sono, praticamente, inerti all'aggressione dell'ambiente circostante. Da sottolineare inoltre che le strutture realizzate con questi materiali non richiedono manutenzione.

L'impiego di questi nuovi materiali è stato reso possibile da una sinergia di competenze tra l'Università e il mondo industriale. Infatti presso il Dipartimento di Meccanica sono disponibili nuovi e attrezzati laboratori, dove è possibile condurre sperimentazioni sul materiale e sulle strutture. Nuove macchine di prova, sia meccaniche che idrauliche, consentono la caratterizzazione dei materiali sotto le più svariate condizioni di carico. Ad esempio, in figura 5^{*}, è riportata una MTS per prove statiche e a fatica in condizione di sollecitazione multiassiale.

Sempre in figura 5^{*} è mostrata una macchina di prova tradizionale ma che, attrezzata in modo opportuno, consente la misura di caratteristiche meccaniche ad alta e bassa temperatura, di tenacità e di resistenza al danneggiamento. Da ultimo si segnala, tra gli esami non tradizionali, la possibilità di eseguire prove di diffrazione ai raggi X, di calorimetria ed analisi microstrutturali mediante microscopia elettronica a scansione [figura 6^{*}].

6. Microscopio elettronico a scansione per l'analisi ad elevati ingrandimenti dei materiali per applicazioni meccaniche



mechanism of the internal defects inside a component subjected to contact fatigue, such as the train wheel in its interaction with the rail. Numerical models are developed to evaluate unsafe conditions, acting to several parameters like material, thermal treatment, manufacturing and designs to match a high reliability also in great stress applications typical of the high speed trains. New solutions in designing a component dedicated to transport industries are allowed by the use of the composite materials, which consist, generally, in a mixture of two different materials, but which collaborate together to match the optimum in terms of mechanical properties for a particular application: they

often are defined as the materials which can be "designed" for a best design. The Department of Mechanics has provided new machines for testing materials and structures both under static and dynamic conditions, at different temperatures. Materials characterization can be implemented by with diffractometric and calorimetric analysis.