

RIASSUNTO

Recenti sviluppi tecnologici hanno portato alla disponibilità di macchine sperimentali per eseguire prove strumentate di indentazione profonda. Tali macchine consentono di misurare in modo continuo la variazione del carico di indentazione come funzione della profondità di indentazione.

La prova di indentazione è usata per investigare il comportamento elasto-plastico dei materiali metallici. Questa prova è tecnicamente più semplice della prova di trazione, ma la corretta interpretazione fisica del processo di deformazione che avviene durante la penetrazione è molto complesso, perché il campo delle tensioni sotto l'indentatore è multiassiale e inhomogeneo. Il presente lavoro costituisce una continuazione di un'attività che vede il dipartimento di Ingegneria dei Materiali dell'Università degli studi di Roma "Tor Vergata" importante artefice e tratta dello sviluppo di un indentatore portatile che consente di applicare carichi fino a circa 2000_N con sensibilità di 4_N e di raggiungere penetrazioni di 1_mm con sensibilità di 1_μm. Tale macchina nasce come sviluppo del dispositivo FIMEC (Flat-top cylinder Indenter for MEchanical Characterization) che utilizza un indentatore cilindrico a testa piatta del diametro di 1_mm al fine di generare curve carico-penetrazione da cui ricavare le caratteristiche meccaniche quali il carico di snervamento, il modulo di Young e informazioni circa il comportamento plastico del materiale. La possibilità attraverso studi teorici e computazionali di chiarire la meccanica del contatto e i meccanismi della deformazione al fine di estrarre sistematicamente le proprietà meccaniche dei materiali dalle curve di carico-penetrazione aprono interessanti sviluppi sulla caratterizzazione delle proprietà dei materiali metallici tra cui quelli utilizzati nella fusione nucleare. La semplicità della macchina sperimentale consente il suo impiego anche su particolari meccanici già realizzati, montati ed in servizio.

La costruzione di un modello matematico per la soluzione del problema diretto dell'indentazione con penetratore cilindrico cioè il metodo di determinare la curva di indentazione per un penetratore cilindrico partendo dalle caratteristiche elasto-plastiche del materiale, costituisce la parte più originale del lavoro di simulazione. Tale lavoro ha permesso di sviluppare un modello per la soluzione del problema inverso dell'indentazione con penetratore cilindrico cioè il metodo di ricavare le proprietà elasto-plastiche di un materiale partendo dalla curva di indentazione ottenuta con un penetratore cilindrico.

Le prove sperimentali di indentazione a freddo sono state integrate con prove di indentazione a caldo grazie alla realizzazione di un apposito forno per il riscaldamento dei campioni, si sono inoltre eseguite prove di creep di indentazione confermando la possibilità che i parametri della prova di creep per trazione a carico costante possono essere determinati da una prova di creep di indentazione.

ABSTRACT

Recent technological advances have led to the general availability of depth sensing instrumented indentation, where the indenter penetration force can be continuously monitored as a function of the depth of penetration into a substrate during both loading and unloading. Indentation tests are often used for the investigation of elasto-plastic mechanical behaviour of materials. These tests are technically simpler than the tensile test, but the correct physical interpretation of the deformation process taking place during impression tests is very intricate, because the stress field under the indenter is multiaxial and inhomogeneous.

The present work constitutes a continuation of an activity that sees the department of Engineering of the materials of the University of studies in Rome "Tor Vergata" important maker and it deals the development of a portable indenter that allows to apply load up to 2000_N with sensitiveness of 4_N and to reach penetrations of 1_mm with sensitiveness of 1_μm. Such a machine is born how development of the device FIMEC (Flat-top cylinder Indenter for MEchanical Characterization) that uses a flat cylindrical indenter of the diameter of 1_mm with the purpose of generating load-penetration curves from which to extract the mechanical characteristics as the yield strength, the Young's modulus and the information about the plastic behaviour of the material.

Comprehensive theoretical and computational studies have emerged to elucidate the contact mechanics and the deformation mechanisms in order to systematically extract material properties from load-penetration curves obtained from instrumented indentation. The simplicity of the experimental machine allows its use also on fulfilled mechanical details, already mounted and in service.

The construction of a mathematical model for the solution of the forward analysis leads to prediction of the force-penetration response from known elasto-plastic properties. The development of this forward analysis algorithm constitutes the most original part of the work of simulation. Such work has let to develop a model for the solution of the reverse analysis of the indentation with cylindrical indenter. The reverse analysis implies estimation of the elasto-plastic properties from a complete (i.e., loading and full unloading) load-penetration curve. The experimental tests of indentation made at room temperature have been integrated with tests at high temperature using a special oven for heating the samples. Indentation creep testing were carried out in order to present an experimental validated method to determine the material creep parameters (usually get from the uniaxial tensile tests) from the indentation creep tests.