

VII INTERNATIONAL MEETING ON TITANIUM

CONSIDERAZIONI SUL PROCESSO  
DI FORGIATURA SUPERPLASTICA

Ettore Alunni  
Fucine Umbre S.r.l. (Italia)

## CONSIDERAZIONI SUL PROCESSO DI FORGIATURA SUPERPLASTICA

La superplasticità è uno stato fisico caratteristico dei materiali metallici, intermetallici e ceramici; nello stato superplastico i suddetti materiali hanno la capacità di sopportare inusuali deformazioni plastiche senza la formazione di zone strizionate o di vuoti.

Questo fatto è di grandissima importanza in quanto l'aumento della duttilità, dovuto alla drastica caduta della resistenza allo scorrimento plastico del materiale durante il processo superplastico, permette di sviluppare nuove tecnologie per la produzione di componenti massicci, critici sotto diversi punti di vista, utilizzando leghe commerciali.

Solo i materiali caratterizzati da un'elevata sensibilità della resistenza allo scorrimento rispetto alle variazioni della velocità di deformazione possono presentare un comportamento superplastico.

La formula che lega i parametri di cui sopra è:

$$\sigma = K(\dot{\epsilon}')^m \quad (I)$$

dove:

$\sigma$  = resistenza allo scorrimento

K = costante caratteristica del materiale

$\dot{\epsilon}'$  = velocità di deformazione reale

m = sensibilità alla velocità di deformazione

PAGINA MANCANTE

deformazione torsionale sotto pressione e forgiatura multiassiale;

- 2) la compattazione di nanocristalli (polveri)
- 3) trattamenti termici in presenza di trasformazioni di fase.

I materiali aventi grani superfini ( $<10 \mu\text{m}$ ) acquistano elevate caratteristiche meccaniche come massima resistenza ed allungamento a rottura, plasticità, abbassamento della temperatura di transizione fragile-duttile ed il miglioramento delle caratteristiche è ancora più evidente riducendo ulteriormente la grandezza del grano.

Inoltre si è sperimentato che la riduzione del diametro del grano da 10 a  $0,3 \mu\text{m}$  migliora notevolmente le condizioni di forgiatura superplastica permettendo un abbassamento della temperatura di processo di  $200^\circ\text{C}$  circa ed un aumento della velocità di deformazione a  $0,01/\text{sec}$ .

La foto 1 è relativa ad una paletta del compressore di un turbo-propulsore realizzata in una lega di titanio per via superplastica (stampato di precisione).

Dalla macrografia (foto 3) e dalla composizione micrografica tridimensionale (foto 4) si evidenzia l'assenza di ogni tessitura ed il fatto che si è in presenza di una struttura uniforme a grano fine ( $<10 \mu\text{m}$ ) e ciò anche se il massello di partenza è stato sottoposto, lungo il volume da esso occupato, a livelli di deformazione molto diversi fra loro.

Il miglioramento delle caratteristiche meccaniche delle palette in superplastico è dovuto appunto alla specifica microstruttura ottenibile durante il processo superplastico.

I particolari prodotti per via SPD possono essere sottoposti a trattamenti termici di indurimento (invecchiamento) senza preliminari trattamenti di ricottura (solubilizzazione) in modo da ottenere proprietà meccaniche conformi alle richieste di progettazione.

Nell'ultimo decennio con il processo SPD sono state prodotte palette a geometria complessa e dischi per turbopropulsori e turbogeneratori, giranti per turbocompressori, corpi cilindrici cavi con notevoli variazioni di sezione lungo il profilo e protuberanze laterali orientate su piani diversi, cerchioni di ruote per carrelli d'atterraggio, componenti strutturali in genere per l'industria aeronautica ed elicotteristica, ecc. ecc.

Per dare un'idea sulle dimensioni delle palette prodotte possiamo citarne una lunga 350mm, larga 100mm con un angolo di svergolamento di 60°.

Da quanto detto risulta che la tecnologia SPD è un metodo molto flessibile candidato a produzioni industriali di componentistica avanzata con le seguenti caratteristiche migliorative rispetto alla tecnologia convenzionale:

- drastica riduzione del materiale occorrente per realizzare un dato particolare;
- componenti prodotti con una geometria vicina a quella finale di utilizzazione con conseguente riduzione delle lavorazioni meccaniche valutabile dal 40% al 60%;
- più elevate caratteristiche meccaniche e maggiore affidabilità dei componenti prodotti.

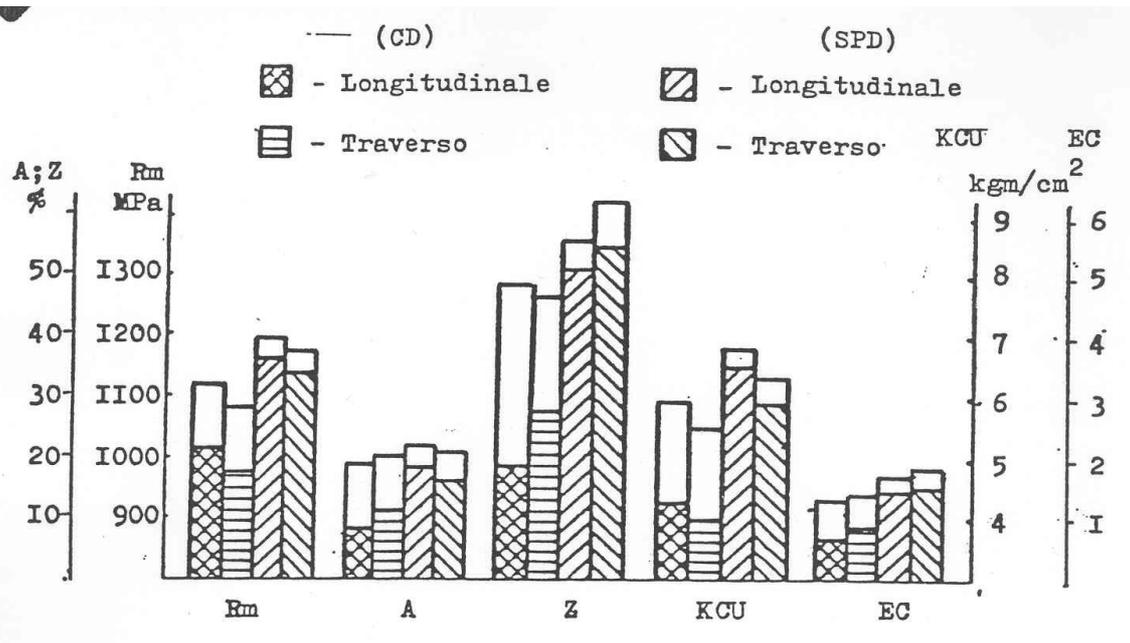


Fig. 1 - Confronto delle caratteristiche meccaniche di palette fabbricate con una lega Ti,Al,Mo,Cr,Si,Fe per via convenzionale (CD) e per via superplastica (SPD).

- A: Allungamento
- EC: Resistenza preintagliata
- Rm: Resistenza a rottura
- KCU: Resistenza charpy U
- Z: Strizione

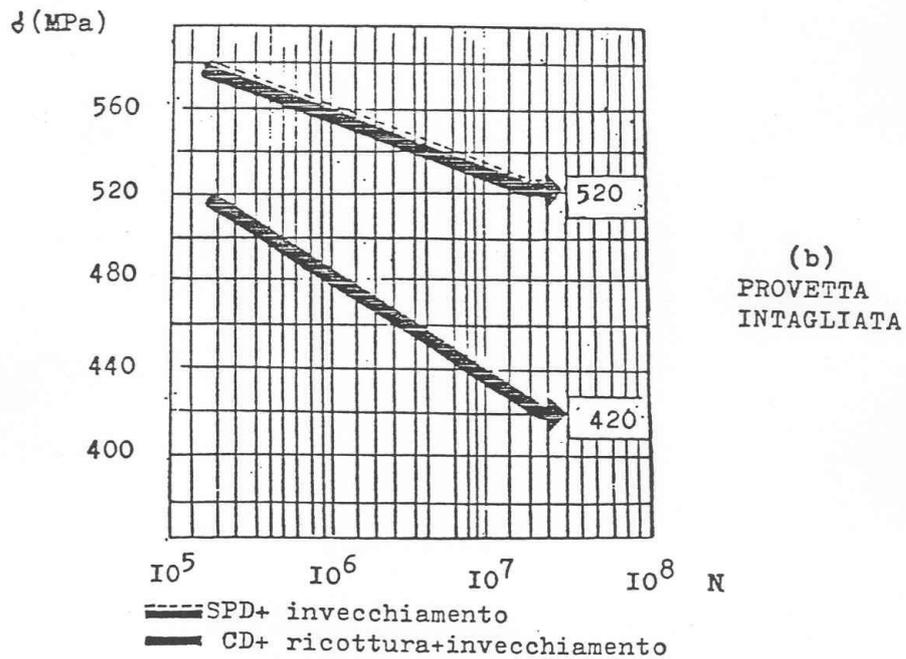
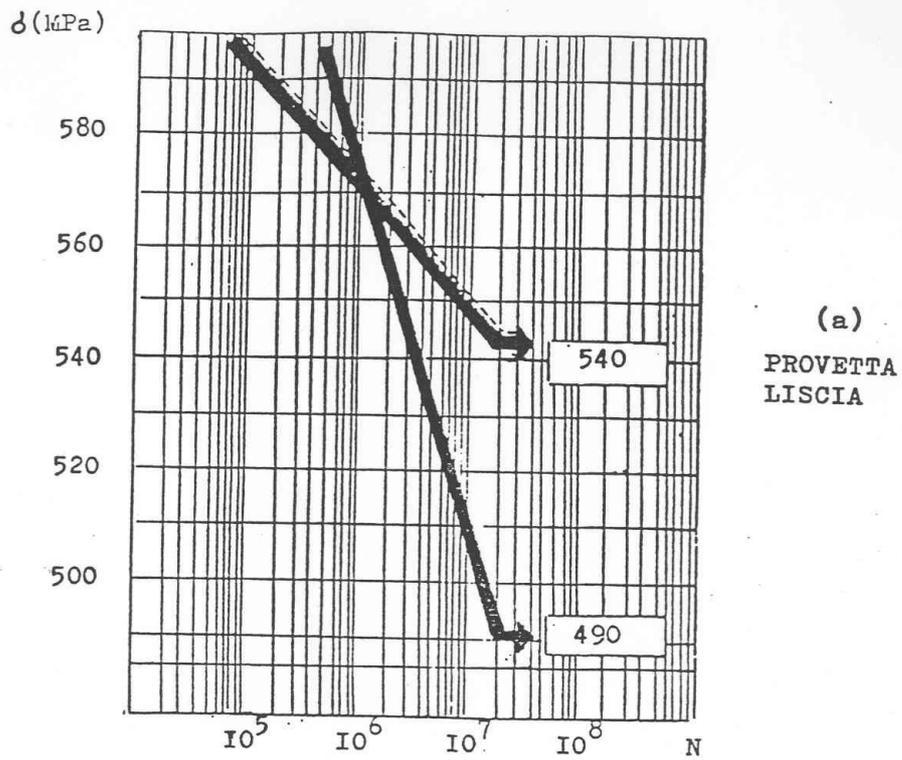


Fig. 2 - Confronto delle prestazioni alla fatica classica ed oligociclica di palette fabbricate in una lega di Titanio Ti,Al,Mo,Cr,Si,Fe, per via convenzionale (CD) e per via super plastica.

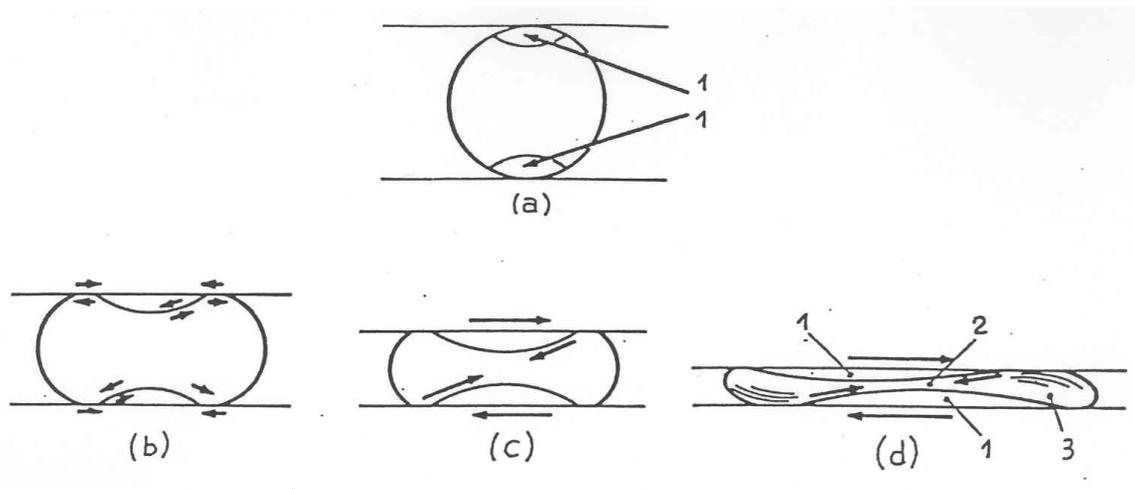


Fig. 3 - Schematizzazione della formazione della banda di taglio su uno sbazzato in titanio ottenuto con il processo convenzionale.

- 1) Zone "bloccate" causa di raffreddamento per conduzione provocato dal contatto con i piani di lavoro.
- 2) Banda di taglio.
- 3) Zona deformata.



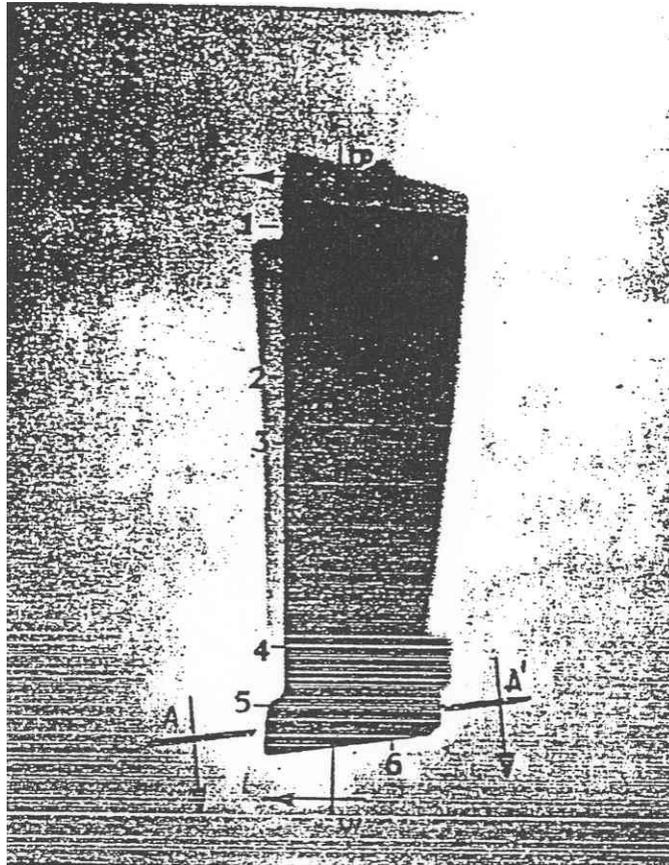
NEG. 0030

FOTO 1 - Prospetto della paletta.

Lunghezza totale	205 mm
Corda	70 mm
Spessore foglia	1,5 mm
Svergolamento	45°
Peso	0,300 kg

COMPOSIZIONE CHIMICA

Al 5,5-7%; Mo 2,0-3,0%; Cr 0,8-2,3%  
Si 0,15-0,40%; Fe 0,20-0,70%; Ti Resto



NEG. 0031

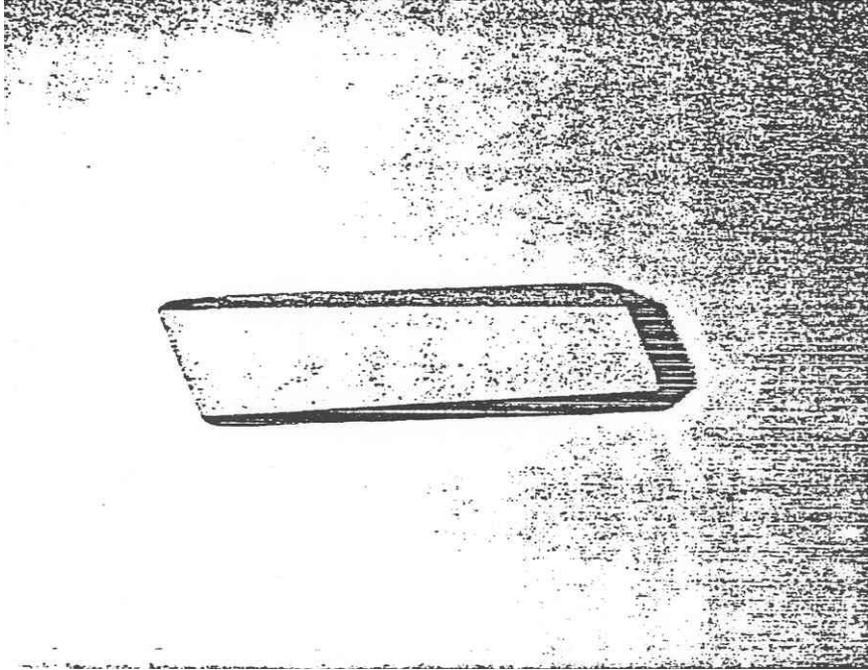
X 1/3

FOTO 2 - Schema di sezionatura della paletta per esami macro e micro.

Sez. B-B' per esami micrografici, e precisamente:

- parte 1: sez. trasv.
- " 2: " long. sul ringrosso
- " 3: " long.
- " 4: " superficiale
- " 5: " raccordo piede

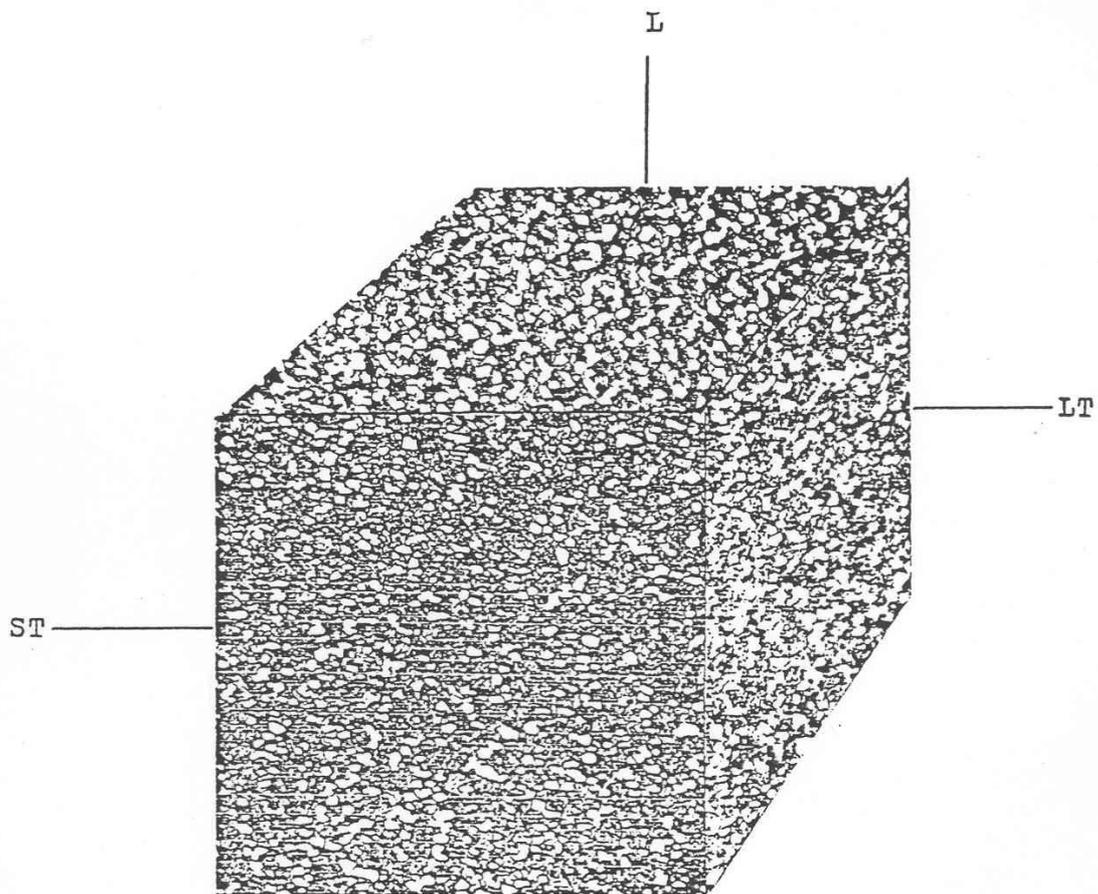
Sez. A-A' per esame macrografico, parte 6



NEG. 0032

X 1

FOTO 3 - Macrografia parte 6.



NEG. 0033; 0034; 0036

X 500

FOTO 4 - Rilevamento della struttura nelle tre  
direzioni: Long. parte 4; Trasv. parte 1 e  
superficiale parte 4.