

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

***Relazione per la prova finale  
«Effetto della forgiatura sulla microstruttura  
e proprietà dei metalli»***

Tutor universitario: Prof. Brunelli Katya

Laureando: *Rindler Andreas 2007919*

Padova, 13/11/2024

Obiettivo di questa relazione è analizzare come il processo di forgiatura condizioni la microstruttura e le proprietà di un metallo.

In dettaglio è stata realizzata una ricerca bibliografica inerente a:

- Analisi della microstruttura prima e dopo il processo di forgiatura
- Analisi di eventuali variazioni delle proprietà del metallo in seguito al processo di forgiatura

Come supporto a tale ricerca verranno analizzati tre esempi.

- 1 Omogenizzazione della microstruttura
- 2 Riduzione difetti (migliore resistenza a fatica) e passaggio da lamellare a globulare
- 3 Variazione a seconda dei parametri di lavorazione

La forgiatura è un processo di lavorazione meccanica che influenza in modo significativo la microstruttura e le proprietà dei metalli. Durante la forgiatura, un metallo viene deformato plasticamente sotto l'azione di forze esterne per ottenere le forme desiderate. Questo processo porta, talvolta, a una completa ricristallizzazione.



Classificazione:

- A Freddo:

Temperatura Omologa inferiore a 0,3  
Migliore finitura superficiale  
Incrudimento del materiale  
Alte forze di lavorazione

- A Caldo:

Temperatura Omologa superiore a 0,6  
Basse forze di lavorazione, materiale più duttile  
Chiusura pori e aumento omogeneità materiale  
Scarsa finitura superficiale  
Controllo dimensionale complicato

Temperatura Omologa

$$T_{om} = \frac{T}{T_m}$$



Alcuni tipi di forgiatura:

- Stampo Aperto (a)

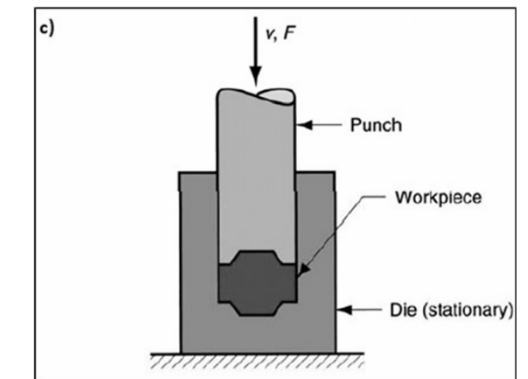
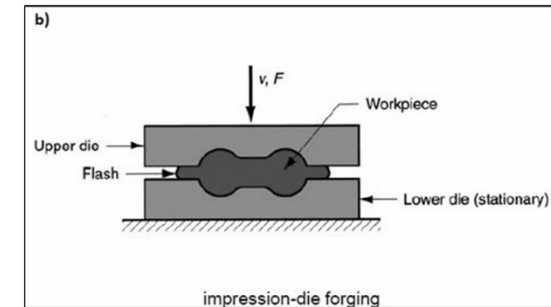
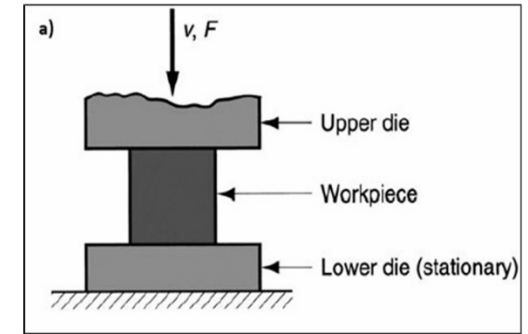
Materiale compresso tra due stamperie e il prodotto finale è di geometria semplice  
Non è un processo finale

- Stampo Chiuso con bava (b)

Lo stampo ha una cavità la cui geometria è quella del componente da ottenere  
Tenere conto dell'inevitabile formazione della bava

- Stampo Chiuso senza bava (c)

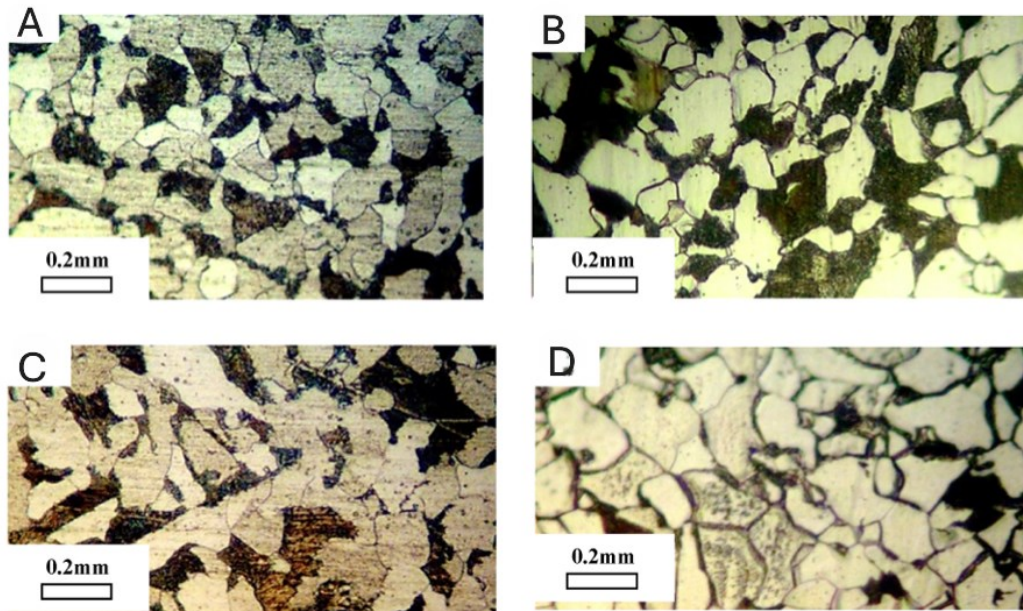
Non prevede la fuoriuscita di materiale  
Sforzi minori e precisione finale maggiore



## Esempio 1

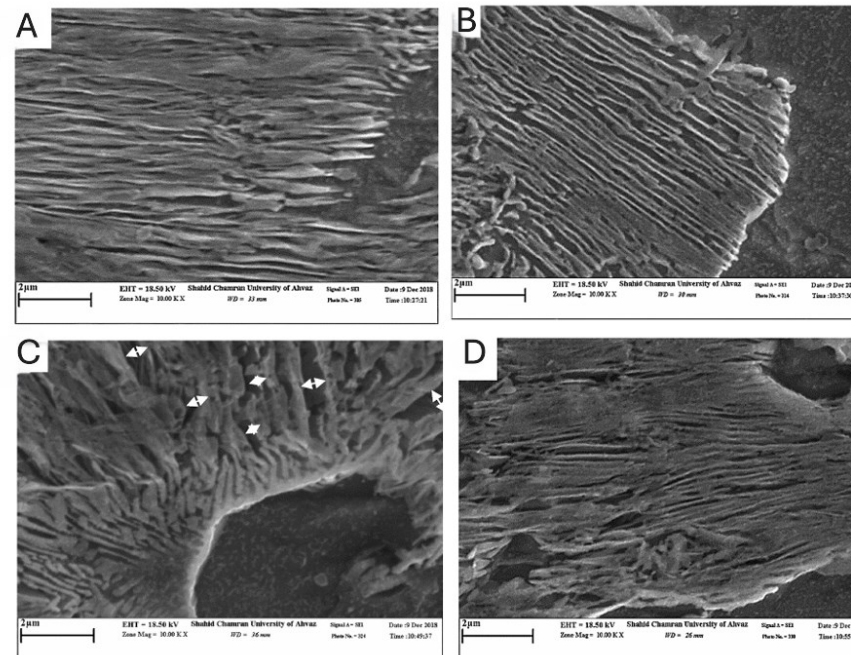
### *Effetto della forgiatura a freddo sui comportamenti meccanici di una piastra in acciaio al carbonio*

Lamiere per recipienti a pressione (A516 GR70)



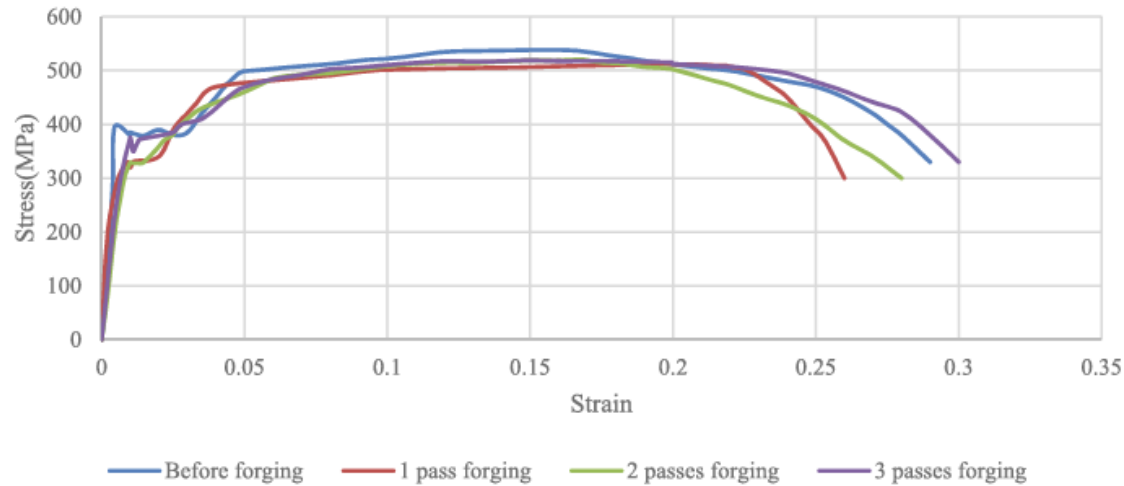
Immagini OM di A516 GR70 A) Solo laminato, B) dopo la prima passata, C) dopo la seconda passata, D) dopo la terza passata

Presenza di perlite e ferrite, rispettivamente di colore nero e bianco.



Immagini SEM di A516 GR70 A) Solo laminato, B) dopo la prima passata, C) dopo la seconda passata, D) dopo la terza passata

## Esempio 1



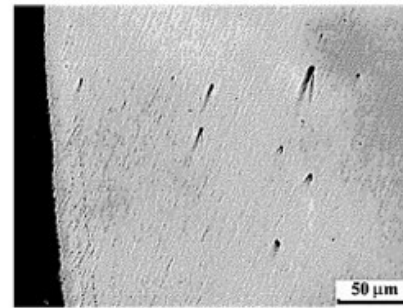
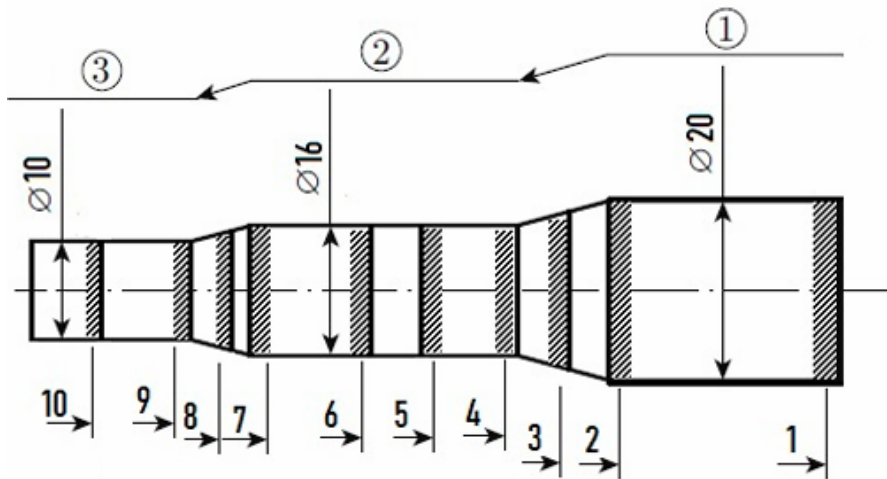
Sample Name	Yield stress (MPa)	Tensile strength (MPa)	Failure Strain%	Impact Energy (J)	Hardness (HB)
Initial Plate (As rolled condition)	396 ± 2	539 ± 2	30 ± 1	95 ± 3	163 ± 1
After first forging Pass	331 ± 2	506 ± 2	26 ± 1	40 ± 3	155 ± 1
After second forging Pass	335 ± 2	520 ± 2	28 ± 1	63 ± 3	159 ± 1
After third forging pass	354 ± 2	528 ± 2	29 ± 1	73 ± 3	161 ± 1

Si può notare che il punto di snervamento cambia dopo il processo di forgiatura e torna ai valori iniziali del campione dopo laminazione.

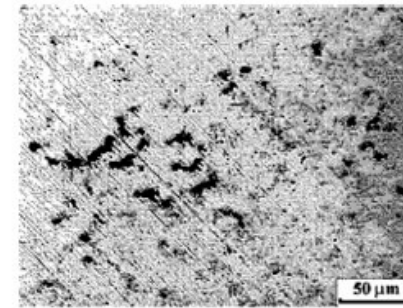
## Esempio 2

### *Effetto della forgiatura radiale sulla microstruttura di una lega a base di Titanio*

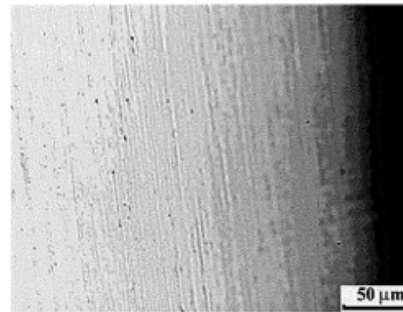
Forgiatura radiale della lega Ti-3.3Al-5Mo-5V



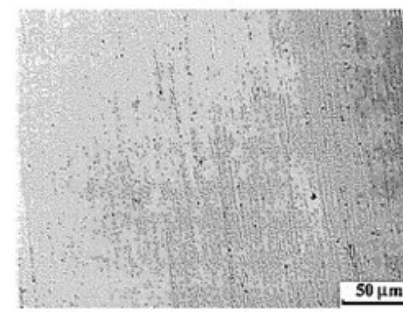
(a)



(b)



(c)

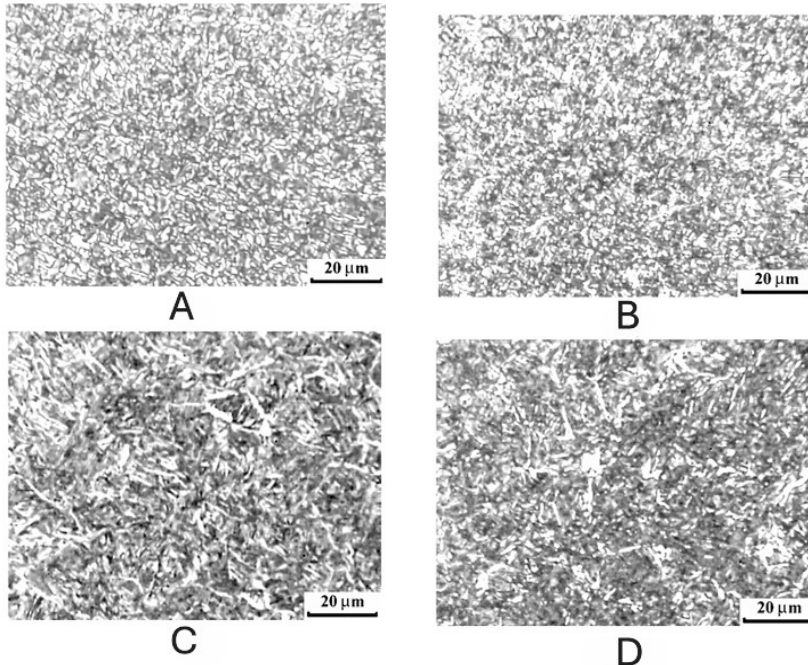


(d)

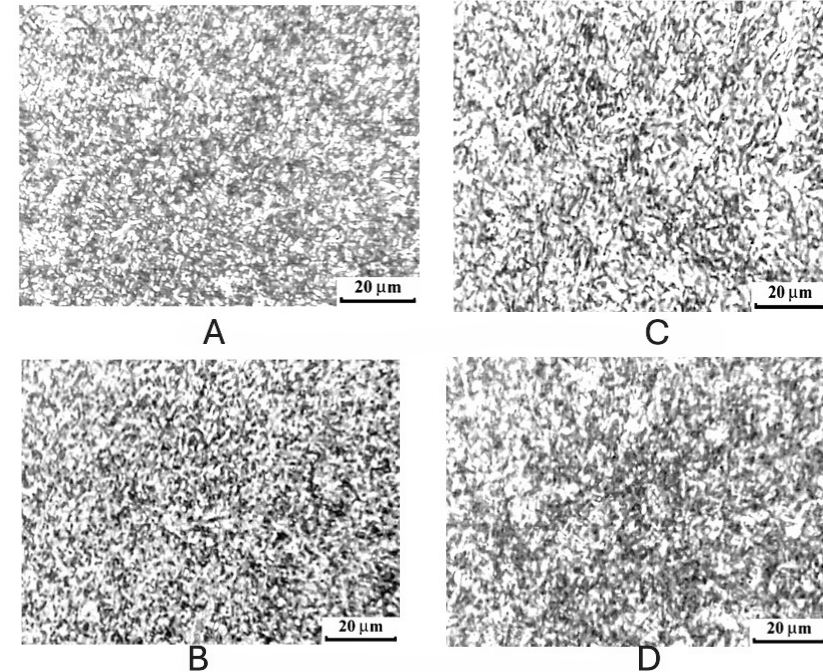
Le caratteristiche della struttura sono state analizzate in diverse sezioni delle barre aventi diametri differenti per vedere le differenze in base alla riduzione di diametro.



## Esempio 2



Microstruttura durante la riduzione 20-16. A, B superficie. C, D interno.  
A, C a 20, B, D a 16



Microstruttura durante la riduzione 16-10. A, B superficie. C, D interno.  
A, C a 16, B, D a 10

Da 20 a 16 mm: affinamento dei grani vicino alla superficie, 80% globulare

Da 16 a 10 mm: affinamento anche interno, passato da lamellare-globulare a soltanto globulare

## Esempio 3

### *Influenza dei parametri della forgiatura a caldo sulla microstruttura di un acciaio bainitico a basso contenuto di carbonio*

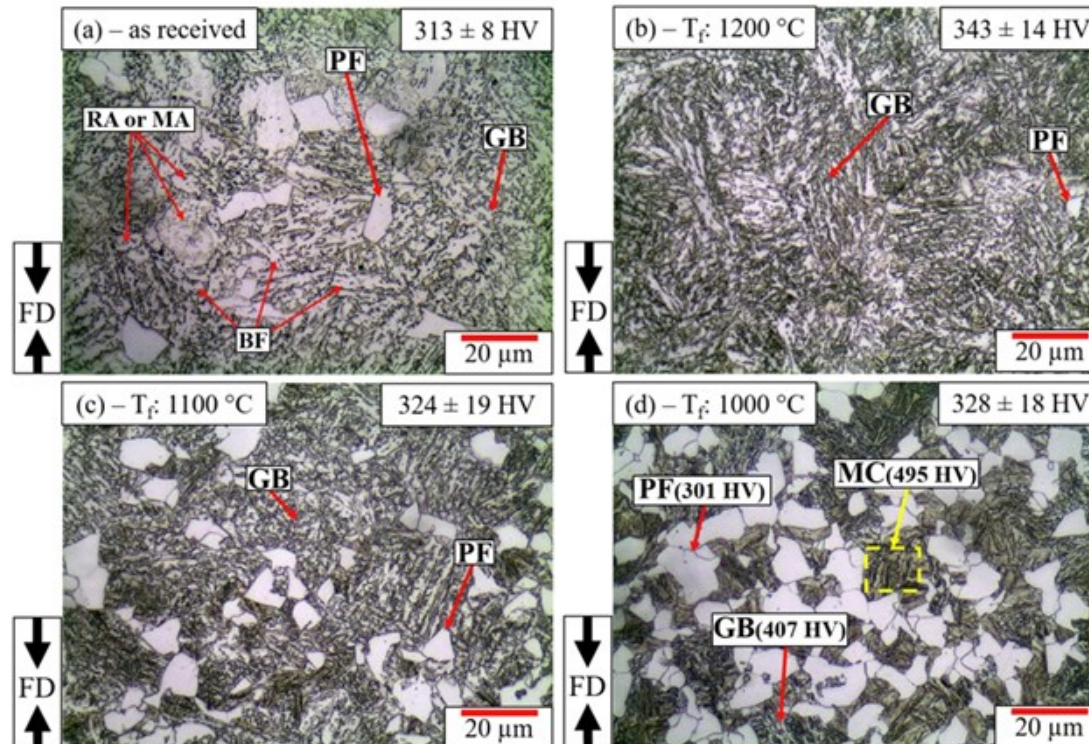
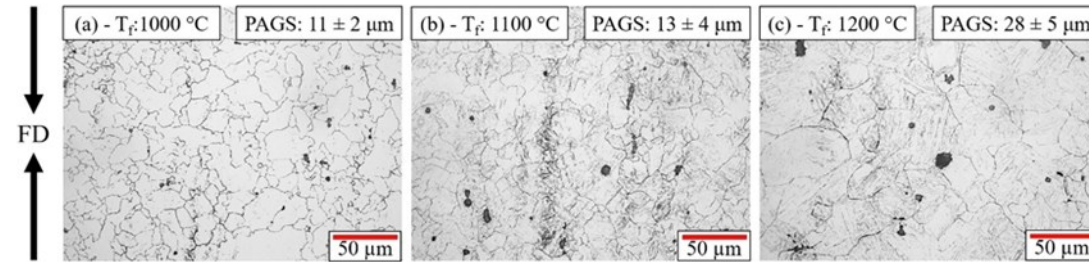
Barre di DIN 18MnCrSiMo6-4 laminate a caldo.



Microstruttura della barre semplicemente laminate a caldo

Gli esperimenti consistevano in una fase di austenitizzazione e un processo di forgiatura. Il trattamento termico è stato effettuato a 1000, 1100, 1200 °C. Sono state lavorate billette con diametro di 38 mm e altezza di 54 mm. Ogni provino è stato sottoposto a una riduzione dell'altezza del 60%.

### Esempio 3



Un trattamento tra i 1000°C e i 1100°C fa sì che la grana venga raffinata di un 50% rispetto all'inizio. A 1200°C i grani si ingrossano molto rischiando dunque una crescita eccessiva.

Dallo studio della microdurezza MC può essere martensite.

La temperatura favorisce la trasformazione della Ferrite aumentando Bainite Granulare e Austenite residua.

Forging Temperature	PAGS (μm)	Microstructure	PF Fraction (vol. %)	RA (vol. %)	C <sub>RA</sub> Content (ma. %)	Overall Hardness (HV 1)
As received	24 ± 3.2	GB + PF	3.5 ± 1.8	10.5	0.8	313 ± 8
1000 °C	11 ± 1.7	PF + MC + GB	30.0 ± 5.8	6.3	1.2	328 ± 18
1100 °C	13 ± 3.0	GB + PF	20.0 ± 5.4	8.8	1.0	324 ± 19
1200 °C	28 ± 5.3	GB + PF	1.3 ± 0.8	10.1	0.8	343 ± 14

Granular Bainite (GB); Bainitic Ferrite (BF); martensite/austenite (MA); Polygonal Ferrite (PF); Microstruttura addizionale (MC); Retained Austenite (RA)

Sono stati riportati alcuni esempi degli effetti della forgiatura sulla microstruttura e sulle proprietà dei materiali.

I principali effetti della forgiatura sono risultati essere:

- Raffinamento della microstruttura
- Miglioramento delle proprietà meccaniche dopo successive passate di forgiatura (carico di snervamento, resistenza a trazione, tenacità)
- Rimozione dei difetti