

Università degli studi di Padova - Dipartimento di ingegneria industriale
Corso di laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale
***«Effetto delle condizioni di lubrorefrigerazione
e di trattamento termico sulla lavorabilità di
una lega in nitinol ottenuta per additive
manufacturing»***

Tutor universitario: Prof.ssa Bertolini Rachele

Laureando: Pellizzari Andrea

Padova, 27/02/2023



PRINCIPALI PROBLEMATICHE NELLA LAVORAZIONE DEL NITINOL:

- DUREZZA DEL MATERIALE
- ELEVATE FORZE DI TAGLIO
- ELEVATA USURA UTENSILE

COMPORTANO DIFFICOLTA' NELL'UTILIZZO DEI METODI
CONVENZIONALI DI LAVORO.



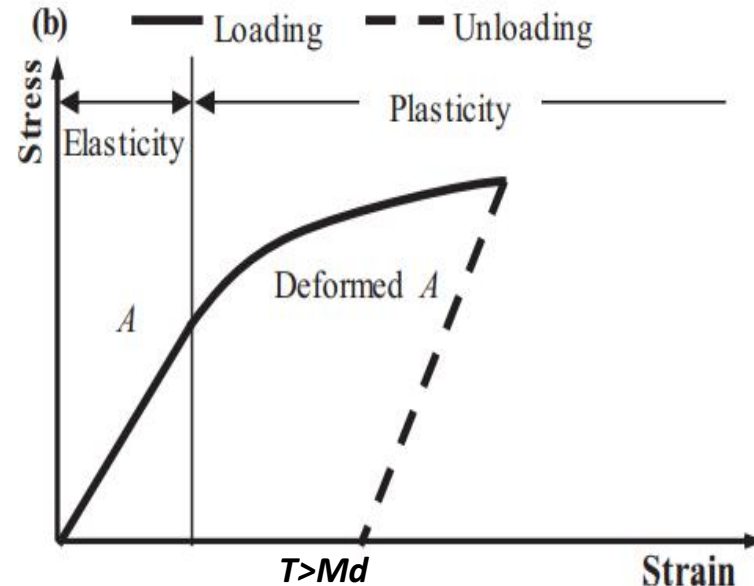
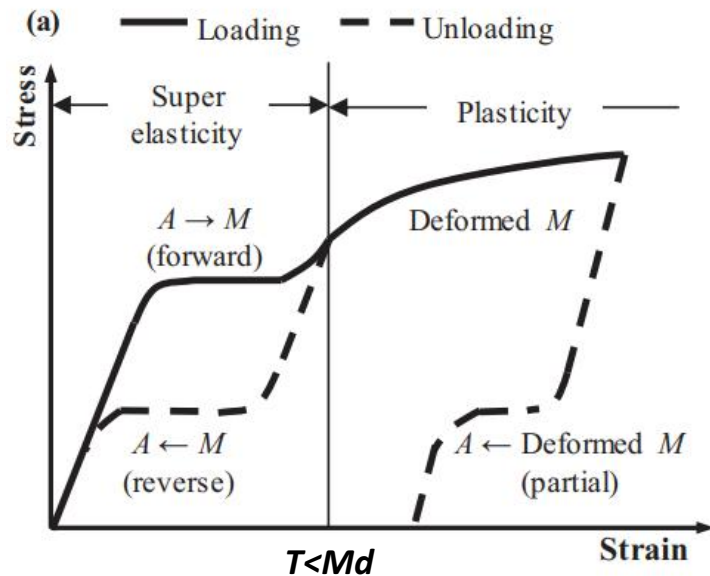
OBIETTIVI DELLO STUDIO:

- ANALIZZARE L'EFFETTO DELLE CONDIZIONI DI TAGLIO SUI PROVINI E SUGLI UTENSILI UTILIZZATI
- RICAIVARE LE MIGLIORI CONDIZIONI, IN TERMINI DI RUGOSITA' SUPERFICIALE, PER EFFETTUARE LA TORNITURA DEL NITINOL

NITINOL

Il nitinol studiato viene ottenuto per additive manufacturing e presenta principalmente il fenomeno della superelasticità. Quando il materiale è sottoposto a stress nell'intervallo di temperatura tra austenite finish e martensite desist (la temperatura oltre la quale la martensite indotta dallo stress non si forma più) avviene la trasformazione di fase da austenite a martensite.

Quando il materiale viene rilasciato questo torna in fase completamente austenitica e recupera parte della deformazione (fino all'8%).



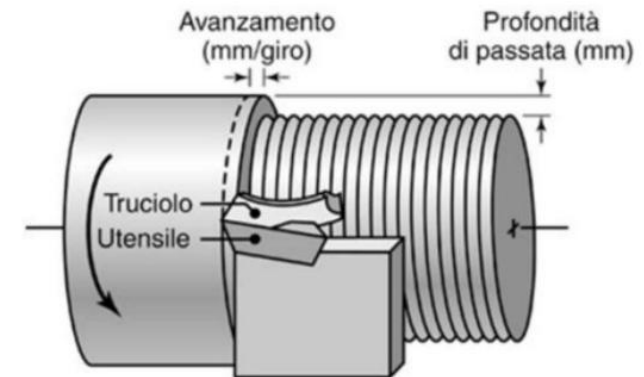
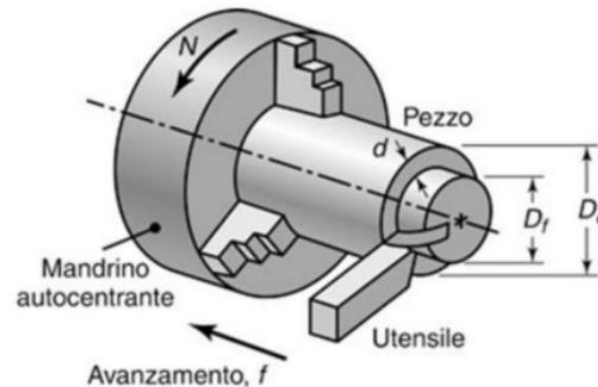
PROCESSO DI TORNITURA

È stata effettuata la tornitura di vari provini in nitinol ottenuti per additive manufacturing variando:

- Velocità di passata: 31, 62 e 93 m/min
- Profondità di passata: 0.1, 0.25 e 0.4 mm
- Tipo di provino: as built, invecchiato a 300°C e a 600°C
- Condizioni di lubrorefrigerazione: tornitura crio e flood

Utilizzando un profilometro si analizzano i seguenti parametri superficiali:

- Rugosità superficiale - S_a
- Asimmetria - S_{sk}
- Curtosi - S_{ku}
- Altezza media picchi - S_{pk}
- Altezza media valli - S_{vk}



ANALISI DELLA VARIANZA

Sa - Analisi della varianza (velocità costante)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	17	0,424066	0,024945	120,61	0,000
Linear	5	0,305754	0,061151	295,67	0,000
type	2	0,027322	0,013661	66,05	0,000
cooling	1	0,031843	0,031843	153,96	0,000
depth	2	0,246589	0,123294	596,14	0,000
2-Way Interactions	8	0,074640	0,009330	45,11	0,000
type*cooling	2	0,002200	0,001100	5,32	0,009
type*depth	4	0,053494	0,013373	64,66	0,000
cooling*depth	2	0,018947	0,009473	45,80	0,000
3-Way Interactions	4	0,043672	0,010918	52,79	0,000
type*cooling*depth	4	0,043672	0,010918	52,79	0,000
Error	36	0,007446	0,000207		
Total	53	0,431512			

I dati vengono sottoposti ad analisi della varianza per osservare l'influenza dei vari parametri.

I valori di interesse sono F-value e P-value. Più F-value è alto maggiore è l'influenza del parametro, mentre se P-value è maggiore della soglia di 0,05 il parametro indicato è trascurabile.

A velocità costante e profondità costante i parametri più influenti sono rispettivamente la profondità di passata e la velocità.

Per quanto riguarda gli altri parametri superficiali non si è trovata una correlazione tra i parametri della tornitura.

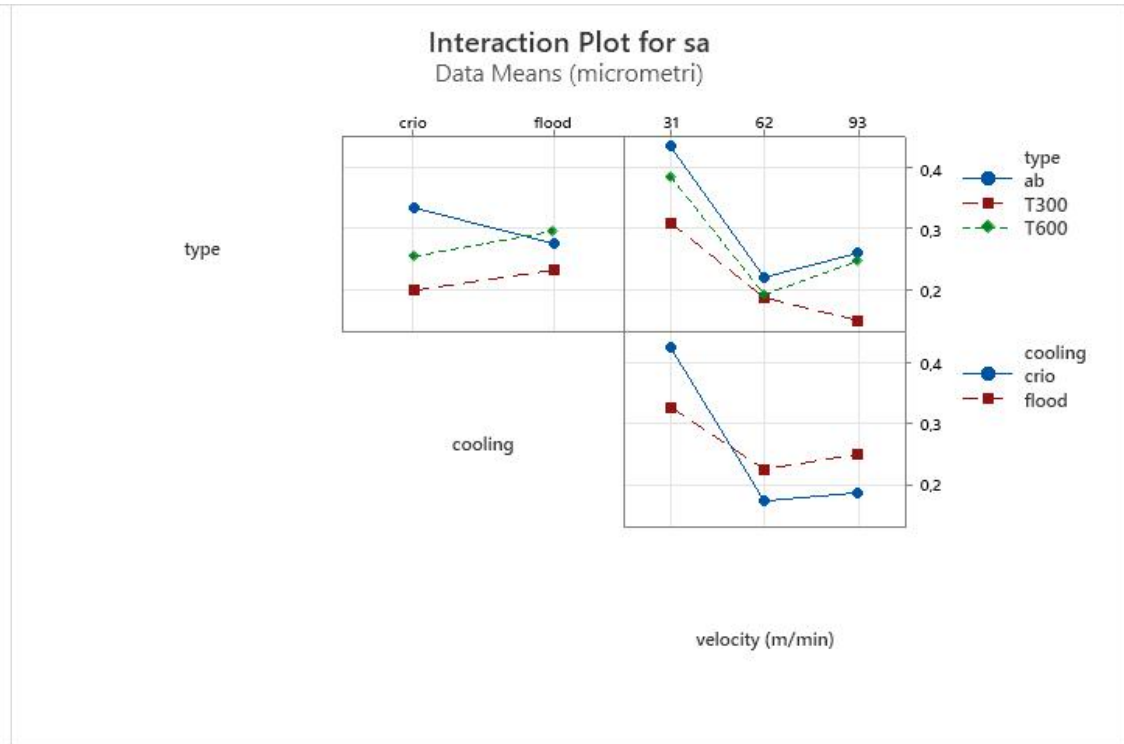
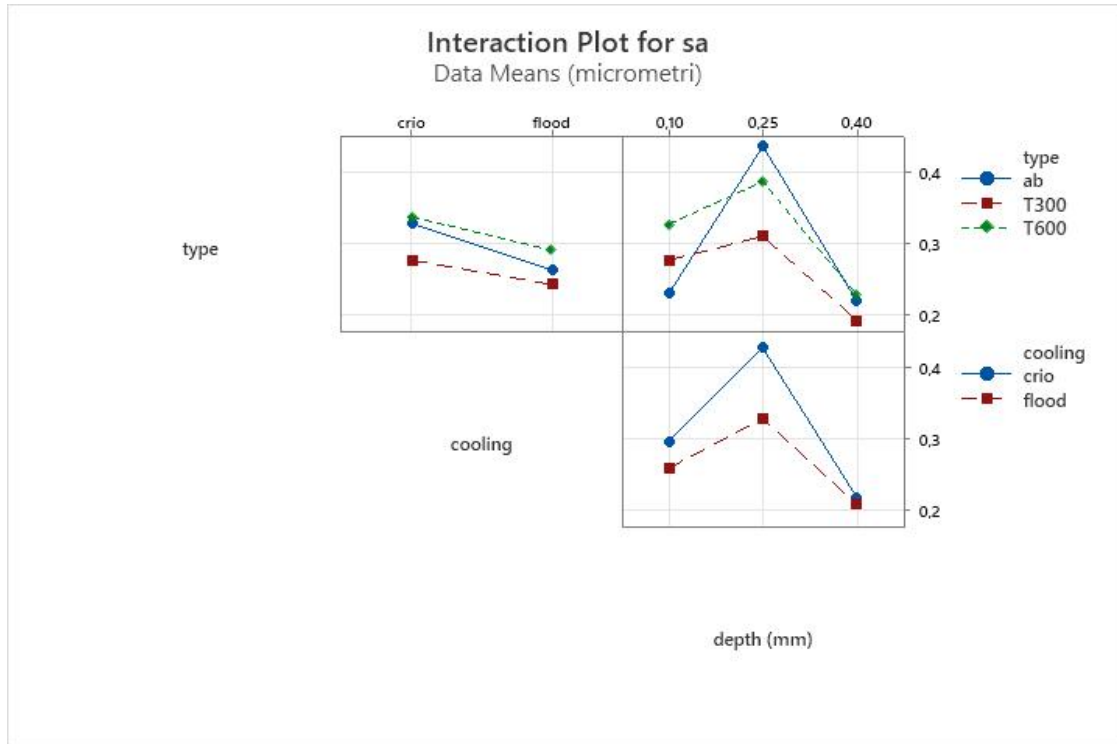
Sa - Analisi della varianza (profondità costante)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	17	0,555730	0,032690	42,88	0,000
Linear	5	0,420307	0,084061	110,25	0,000
type	2	0,075795	0,037897	49,71	0,000
cooling	1	0,000405	0,000405	0,53	0,471
velocity	2	0,344107	0,172053	225,66	0,000
2-Way Interactions	8	0,122737	0,015342	20,12	0,000
type*cooling	2	0,028055	0,014028	18,40	0,000
type*velocity	4	0,020766	0,005191	6,81	0,000
cooling*velocity	2	0,073916	0,036958	48,47	0,000
3-Way Interactions	4	0,012687	0,003172	4,16	0,007
type*cooling*velocity	4	0,012687	0,003172	4,16	0,007
Error	36	0,027448	0,000762		
Total	53	0,583178			

ANALISI INTERAZIONE DEI FATTORI

Velocità costante

Profondità costante

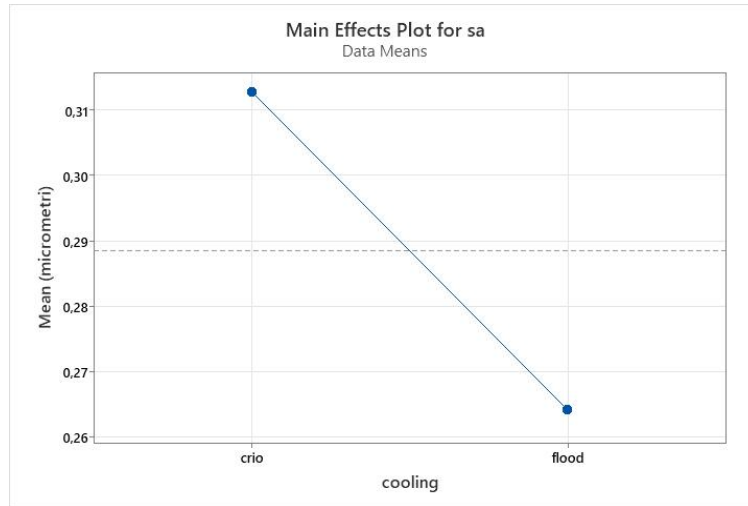


I grafici dell'interazione dei parametri vengono riportati nel caso di analisi a velocità costante e analisi a profondità di passata costante.

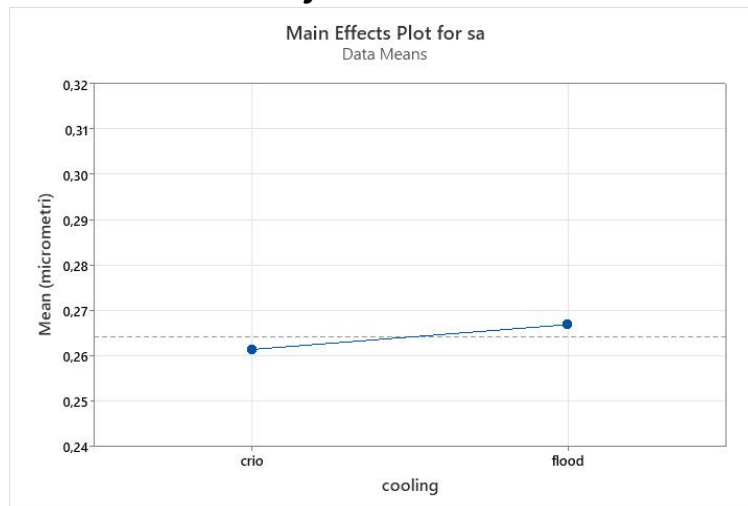
Ogni parametro viene studiato singolarmente.

ANALISI INFLUENZA LUBROREFRIGERAZIONE

Velocità costante



Profondità costante

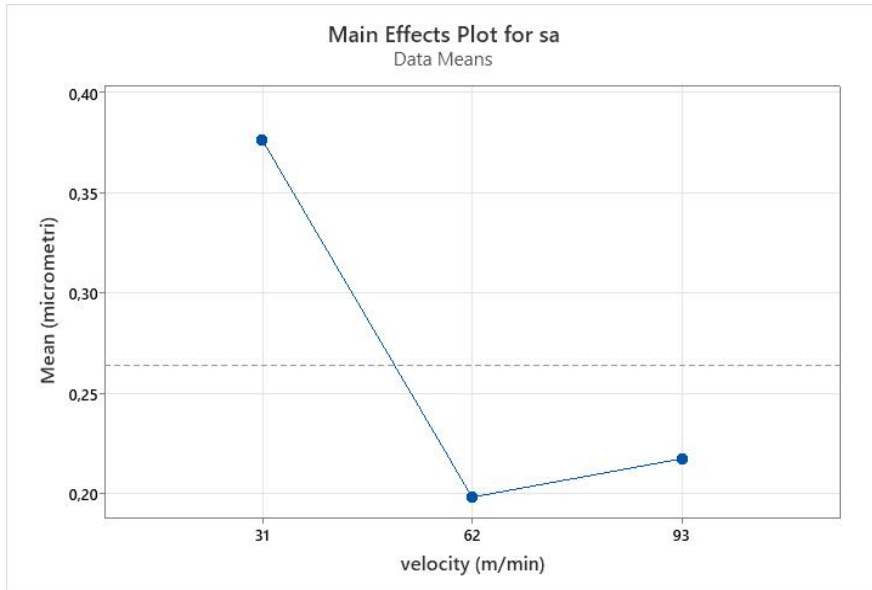


La causa che porta, in generale, la condizione crio a una maggiore è rugosità superficiale è la formazione della martensite indotta dallo stress.

Se il provino si trova ad una temperatura minore di M_d (martensite desist) si forma la martensite indotta dallo stress. Quando il materiale viene scaricato torna in fase completamente austenitica e recupera parte della deformazione quindi la rugosità aumenta.

La temperatura M_d del materiale è circa 100°C mentre la temperatura A_f è tra 9°C e 21°C .

ANALISI INFLUENZA VELOCITA'



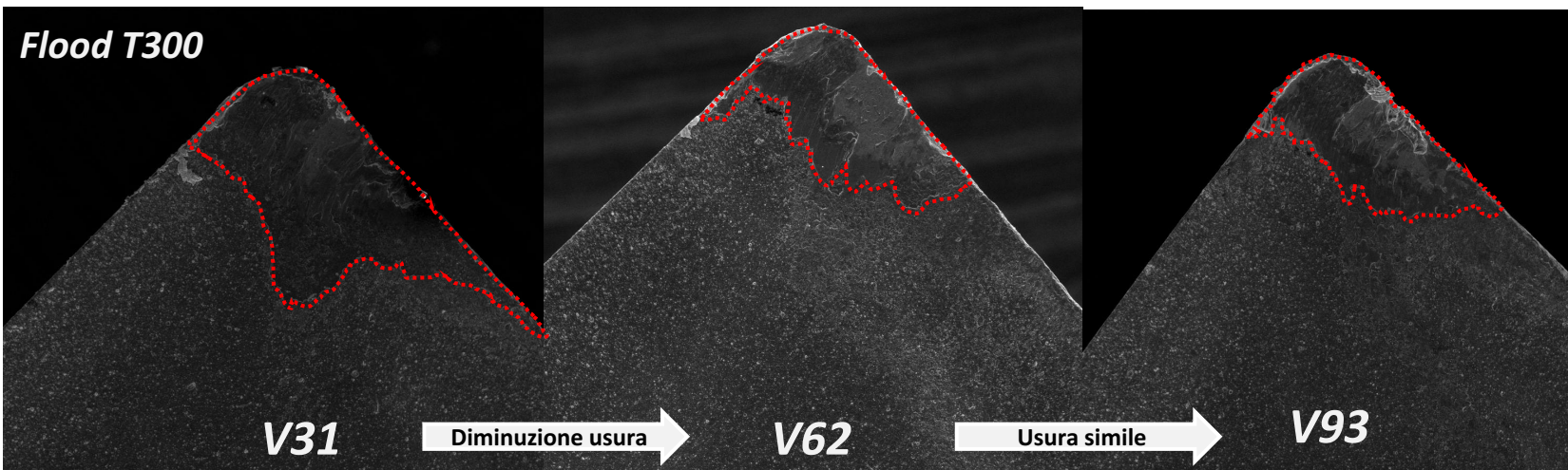
Per velocità elevate la rugosità è minore.

Le cause sono:

- Aumento temperatura
- Diminuzione forze di taglio
- Diminuzione usura utensile

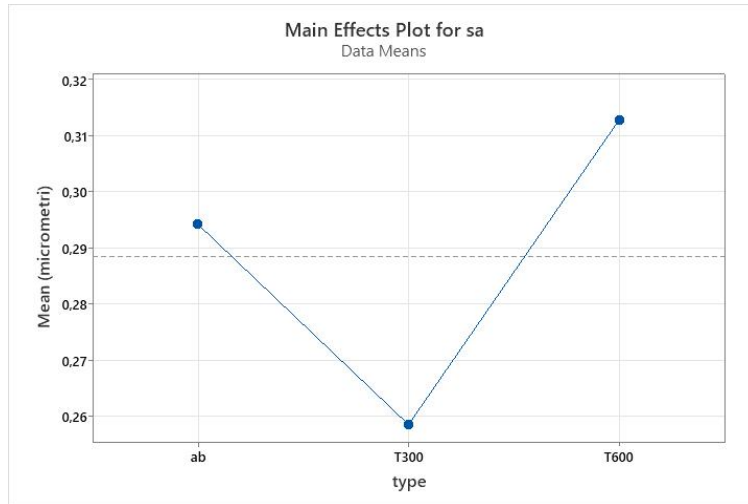
La minima rugosità per 62 m/min può essere ricondotta alle vibrazioni che aumentano all'aumentare della velocità e che portano maggiore rugosità per la velocità di 93 m/min.

Un andamento simile si osserva studiando l'usura sul petto degli utensili.



ANALISI INFLUENZA TIPO DI PROVINO

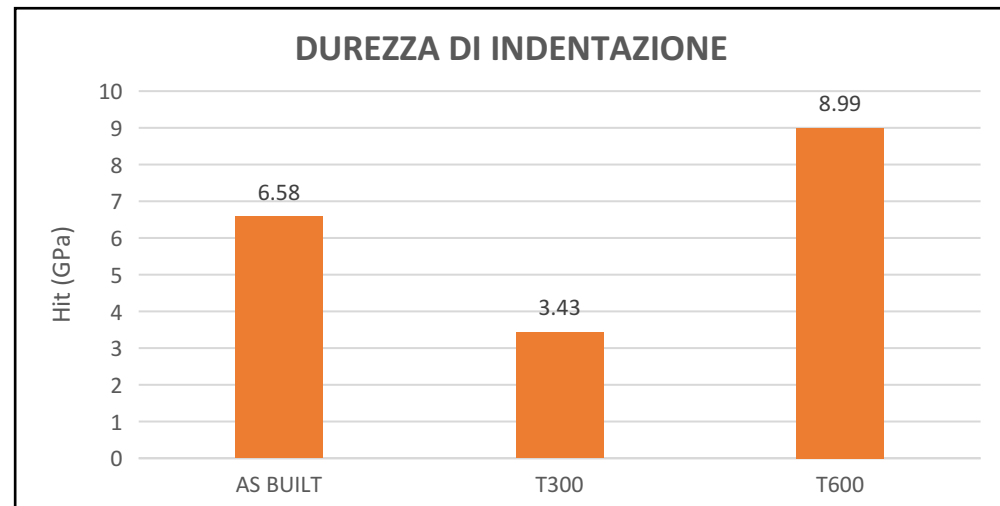
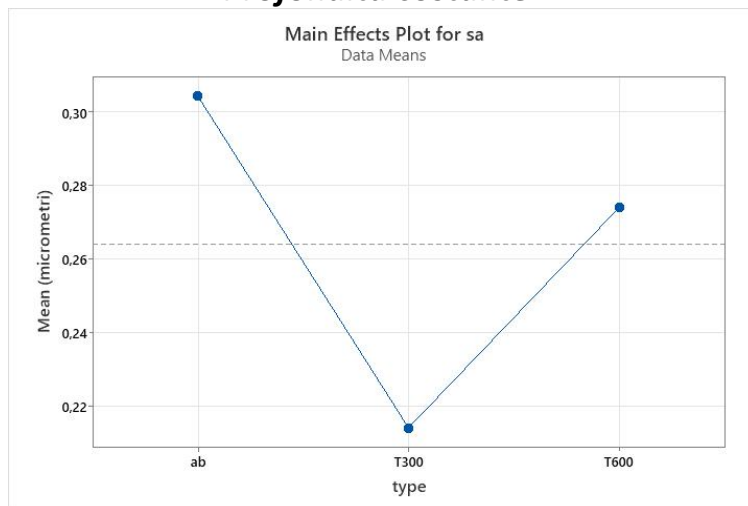
Velocità costante



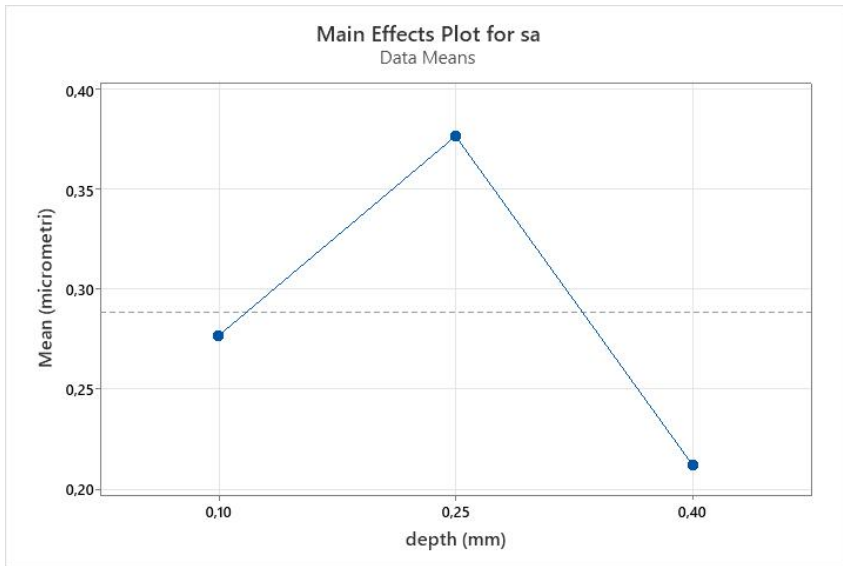
In entrambi i casi il provino T300 mostra minore rugosità.

Osservando i risultati della nanoindentazione si osserva come il provino T300 sia il meno duro. Di conseguenza saranno minori l'usura utensile e la rugosità superficiale.

Profondità costante



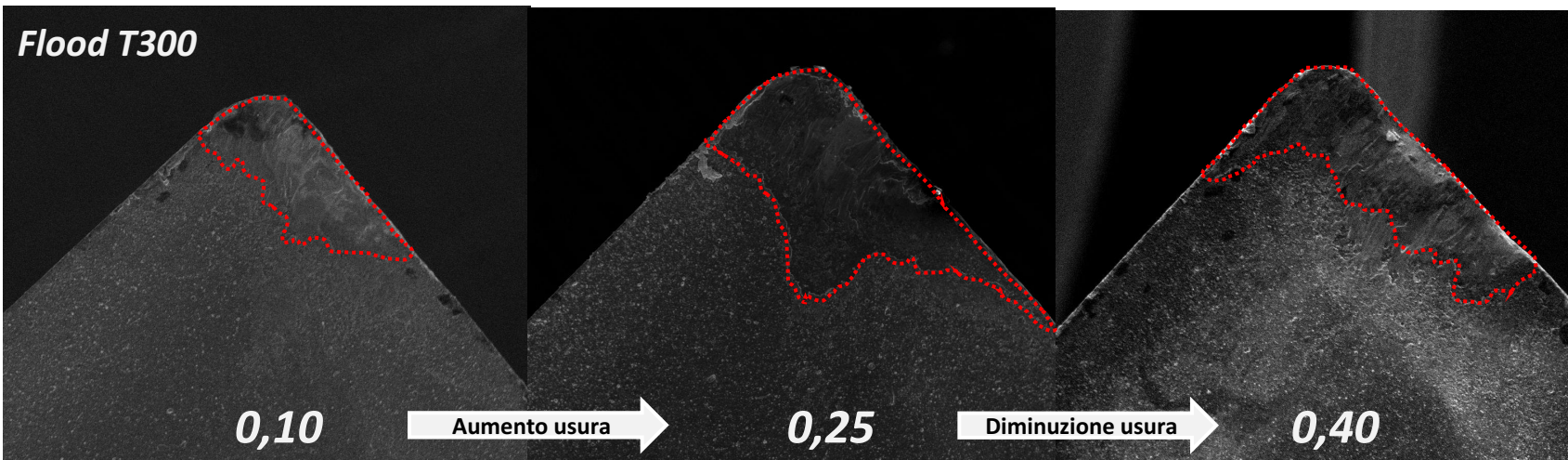
ANALISI INFLUENZA PROFONDITA' DI PASSATA



La rugosità minore si ottiene per la profondità di passata di 0.4 mm.

La diminuzione della rugosità dopo il suo iniziale aumento può essere spiegata dalla minore lunghezza di contatto tra l'utensile e il truciolo che viene a crearsi all'aumentare della profondità di passata ("Machining of NiTi based shape memory alloys" Weinert K., Petzoldt V.).

L'usura utensile sarà minore e di conseguenza migliorerà la rugosità superficiale.



Si conclude che:

- il provino che garantisce minore rugosità superficiale è quello invecchiato a 300°C
- Conviene utilizzare una velocità di passata di 62 m/min
- In generale la tornitura in condizioni flood comporta minore rugosità superficiale
- La profondità di passata più indicata è 0.4 mm