

Percussion Drilling

Onofrio Davide Caputo
Giuseppe Giorgio
Francesco Pio Merafina

Data esperimento: 6 Maggio 2022

Data relazione: 10 Maggio 2022

Abstract

L'esperienza realizzata consiste nell'utilizzo della tecnica del percussion drilling nella sue due varianti: mediante un treno di impulsi o mediante treni di burst di impulsi. L'obiettivo è capire quale dei due metodi è il più adatto ad una foratura, in base all'analisi dei risultati ottenuti.

Indice

1	Introduzione	2
2	Descrizione dell'apparato sperimentale	2
3	Descrizione dell'esperimento	2
4	Analisi dei dati	3
5	Conclusioni	5

1 Introduzione

Tra le tante lavorazioni laser, la foratura è certamente una delle più diffuse. Nell'esperienza si è fatto uso della tecnica del multi-pulse percussion, cioè una lamina di acciaio è stata perforata con un treno di impulsi.

La particolarità dell'esperimento risiede nell'utilizzo di un generatore di burst, cioè uno strumento ottico che permette di creare da un singolo impulso un treno di sotto-impulsi. Tali sotto impulsi hanno la particolarità di essere distanziati pochissimo temporalmente. Per dare un ordine di grandezza, mentre gli impulsi iniziali distano temporalmente qualche μs , gli impulsi del burst distano solo qualche ps , ossia ben 6 ordini di grandezza in meno. È importante notare che il laser non è stato utilizzato per vaporizzare il materiale, ma per scioglierlo strato dopo strato. A causa di questo, si ottiene che il foro di entrata è diverso da quello di uscita. Infatti più il fascio laser entra in profondità, più materiale fuso viene espulso usando getti di vapore, compromettendo la qualità del foro e mettendo a rischio l'ottica del laser. Si osserva anche il fenomeno del taper, ossia la riduzione della potenza del laser man mano che il fascio va in profondità. Questo a causa delle riflessioni interne sulle pareti del foro, che riducono la potenza del fascio. Il taper si può valutare mediante la seguente equazione:

$$\theta = \arctan\left(\frac{2h}{D_{in} - D_{out}}\right) \quad (1)$$

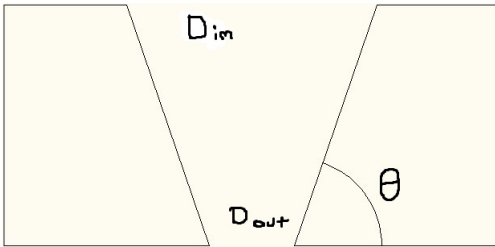


Figura 1: Schematizzazione del taper

Lo scopo del nostro esperimento, è dunque osservare le differenze di tempo della foratura nelle diverse configurazioni e la diversa qualità dei fori ottenuti.

2 Descrizione dell'apparato sperimentale

La strumentazione usata consiste in una sorgente laser di $\lambda = 1030nm$ con una frequenza di ripetizione di $200kHz$ ed un tempo d'impulso di $200fs$. La sorgente laser è stata utilizzata insieme ad una catena ottica lungo la quale abbiamo inserito il nostro generatore di burst. Esso consiste in 5 cristalli birifrangenti posti nel loro supporto ottico. Il fascio viene deviato su un portacampione munito di vite micrometrica. Tale vite è utile a muovere il campione, ossia una lamina di acciaio. Per poter misurare il tempo di foratura usiamo due fotocellule. La prima è posta di fianco al fascio, mentre la seconda è sotto il campione. Si misura la differenza temporale tra i segnali provenienti dai due fotodiodi osservando il segnale sullo schermo dell'oscilloscopio. In realtà l'oscilloscopio riceve un terzo segnale, proveniente direttamente dal laser. Questo viene chiamato TRIGGER e di fatto è indistinguibile da quello del primo fotodiodo a causa di un'insufficiente risoluzione dell'elettronica.

Infine per poter osservare e misurare i fori abbiamo usato un microscopio elettronico insieme ad un software.

3 Descrizione dell'esperimento

Per poter realizzare la configurazione "a burst" è necessario aggiustare la strumentazione ottica consistente di cinque lamine birifrangenti in calcite. Il principio di fondo è che se un fascio polarizzato verticalmente incide su un cristallo birifrangente con asse ottico a 45°

rispetto alla sua polarizzazione, vengono creati due impulsi. Il primo è polarizzato nella direzione dell'asse ordinario e il secondo è polarizzato ortogonalmente ad esso. Tra i due fasci ci sarà uno sfasamento temporale. Aggiustando l'orientazione dei cristalli si sono create tre (più una) configurazioni che sono elencate e spiegate di seguito.

Prima configurazione:

Contiene 32 burst ritardati l'uno dall'altro di $1.5ps$, realizzata disponendo gli assi ottici dei cristalli a 45° l'uno rispetto all'altro.

Seconda configurazione:

Contiene 2 burst ritardati l'uno dall'altro di $1.5ps$, realizzata disponendo gli assi ottici dei primi 4 cristalli paralleli all'impulso iniziale e l'ultimo a 45° .

Terza configurazione:

Contiene 2 burst ritardati l'uno dall'altro di $46.5ps$, realizzata mettendo il primo cristallo a 45° rispetto al fascio iniziale e tutti gli altri ad esso paralleli.

Quarta configurazione:

È la configurazione no burst.

Per ogni configurazione si è esplorato mediante 5 potenze nominali diverse, rispettivamente di $170mW$, $220mW$, $270mW$, $370mW$ e $520mW$. Per ogni potenza sono stati realizzati 5 fori e i tempi di foratura sono stati collezionati mediante una misura con l'oscilloscopio, come spiegato in precedenza.

4 Analisi dei dati

Raccolti i dati, questi sono stati successivamente analizzati sfruttando le funzionalità del software *Microsoft Excel*. Da un'analisi preliminare del grafico ottenuto, è facile notare le seguenti caratteristiche dell'andamento del tempo di foratura:

- Il tempo di foratura diminuisce all'aumentare della potenza incidente;
- Il tempo di foratura diminuisce al diminuire del numero di sottoimpulsi;

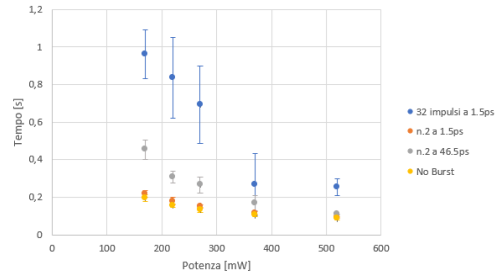


Figura 2: Grafico dei tempi di foratura in funzione della potenza fornita e del tipo di configurazione utilizzata

- A parità del numero di sottoimpulsi il tempo di foratura è minore quando tra i primi intercorre un tempo minore;

Ulteriore caratteristica del fenomeno in questione potrebbe essere derivata prestando attenzione alle differenze temporali relative per configurazioni differenti alla stessa potenza. In particolare è possibile notare che all'aumentare della potenza, i tempi di foratura di tutte le configurazioni tendono a compattarsi entro un determinato intervallo di tempo, vale a dire:

- Per una potenza di $170mW$ tutte le configurazioni agiscono entro un intervallo temporale di $0.77ms$;
- Per una potenza di $270mW$ tutte le configurazioni agiscono entro un intervallo temporale di $0.59ms$;
- Per una potenza di $520mW$ tutte le configurazioni agiscono entro un intervallo temporale di $0.17ms$;

Questo comportamento osservato potrebbe indurre a pensare che per determinati valori di potenza fornita non ci sia più alcuna differenza apprezzabile tra le varie configurazioni. Purtroppo questa conclusione è solo preliminare e avrebbe bisogno di ulteriori analisi per poter essere corroborata.

In un processo di lavorazione laser, come quello analizzato in questa esperienza, un altro fattore importante è la riproducibilità della lavorazione eseguita. Abbiamo associato questo parametro alla valutazione della deviazione standard associata ai tempi di foratura misurati, in particolare se la deviazione standard dovesse risultare contenuta, questa verrebbe associata ad una migliore riproducibilità della lavorazione, viceversa se la deviazione standard dovesse assumere valori troppo elevati, la lavorazione eseguita verrebbe ritenuta poco riproducibile. Dall'analisi della figura ri-

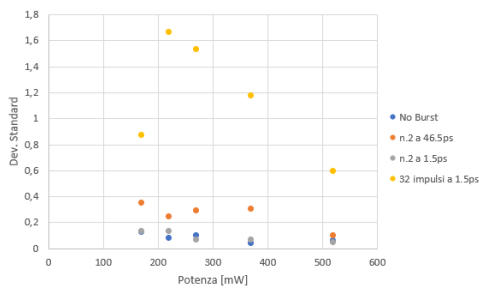


Figura 3: Grafico della deviazione standard sui tempi misurati in funzione delle potenze fornite

portata di sopra è possibile effettuare delle considerazioni riguardanti la riproducibilità delle lavorazioni effettuate, in particolare:

- La riproducibilità è funzione del numero d'impulsi
 - A basse potenze la riproducibilità aumenta al diminuire del numero di sottoimpulsi, in particolare la configurazione "No Burst" sarà la più riproducibile;
 - Il maggior ritardo temporale implica una minore riproducibilità associata alle diverse configurazioni;
- A potenze maggiori l'andamento varia, ad esempio nel caso di potenza a $520mW$ osserviamo che:

- la configurazione a 32 impulsi risulta essere ancora la meno riproducibile;
- il ritardo temporale tra i sottoimpulsi causa ancora una diminuzione della riproducibilità della lavorazione;
- la configurazione "No Burst" e la configurazione a 2 impulsi con ritardo temporale di $1,5ps$ sono le più riproducibili, ed in particolare la seconda risulta essere di poco la più riproducibile.

Infine un ultimo parametro da tenere in considerazione al fine di valutare la qualità della lavorazione di foratura laser è l'angolo del taper, associato all'analogo fenomeno. I dati riguardanti quest'ultima valutazione sono stati raccolti al microscopio elettronico, valutando il diametro d'ingresso e di uscita per i fori creati alla potenza di $520mW$.

n=32 a 1,5ps	n=2 a 1,5ps	n=2 a 46,5ps	No burst
70,97°	72,52°	79,52°	81,47°

Tabella 1: Tabella rappresentativa degli angoli del taper alla potenza di $520mW$

In particolare questa tabella ci mostra in che modo al variare delle differenti configurazioni abbiamo una conseguente variazione dell'angolo di taper e quindi della qualità della foratura. In particolare al crescere dell'angolo di taper, la foratura avrà una qualità maggiore, ed è quello che accade al diminuire del numero di sottoimpulsi nella configurazione, rendendo la "No Burst" la più adatta ad effettuare operazioni di foratura con maggiore qualità di realizzazione.

5 Conclusioni

In conclusione, i risultati dell'esperimento mostrano chiaramente come la maggior riproducibilità del foro non si ottiene solo aumentando la potenza, ma anche diminuendo il numero di sottoimpulsi, il che ci porta ad affermare che la configurazione No burst sia la più indicata.