



PRESENTARE I RISULTATI DI UN'INDAGINE SULLE LAVORAZIONI MECCANICHE AD ALTA VELOCITÀ NELLA SUGGERITIVA ATMOSFERA DI UN MUSEO, TRA LE PREZIOSITÀ DELL'ARTE DECORATIVA, È UN EVENTO CHE MERITA DAVVERO QUALCHE RIFLESSIONE. COME DIRE: ANCHE GLI ARTISTI SANNO ATTRIBUIRE UNA FORTE IMPORTANZA ALLA TECNOLOGIA. E SPESSO LA USANO

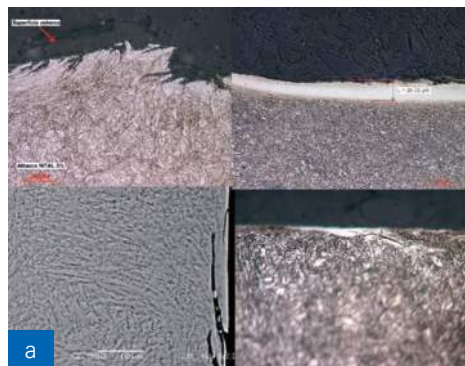
# I CAPRICCI DELL'ALTA VELOCITÀ

Il Museo Poldi Pezzoli nel centro di Milano è un ente non lucrativo fondato nel 1881 dal collezionista Gian Giacomo Poldi Pezzoli. È una delle più importanti case museo in Europa, esemplare del gusto di una tra le più raffinate collezioni artistiche del XIX secolo. Ebbene, questa dimora aristocratica - cornice di un'eccezionale raccolta di dipinti italiani del Rinascimento, di arti decorative, armi, porcellane, vetri, tessuti, orologi e orficerie e quant'altro - ha ospitato nel dicembre scorso la presentazione dei risultati di una ricerca concernente le conseguenze

delle lavorazioni meccaniche ad alta velocità sulla superficie degli stampi per pressocolata; l'indagine è stata promossa da T.A.G. s.r.l. in collaborazione con Böhler Uddeholm Italia, società appartenente alla voestalpine Edelstahl GmbH di Vienna, specializzata nella produzione e distribuzione di acciai speciali, e sviluppata dall'Istituto Fraunhofer (D). La società TAG di Dolzago (LC) opera nel settore del trattamento termico e dei processi speciali, offrendo una gamma completa di servizi che includono i trattamenti in vuoto, la nitrurazione ionica in plasma, trattamenti criogenici e la saldatura in vuoto. Chissà, forse perché il Museo svolge permanentemente ricerche sulle proprie collezioni, i cui risultati vengono

diffusi tramite pubblicazioni e mostre, forse perché è particolarmente attivo è il settore educativo, che pubblica annualmente nuovi percorsi didattici, forse perché la pittura e le diverse arti decorative spesso si avvalgono anche di mezzi tecnologici collegati alla realizzazione del risultato, l'evento TAG/Böhler Uddeholm Italia ambientato in uno scenario così evocativo ha riscontrato una sorta di successo più emozionante del solito, abbastanza inconsueto quando si parla di prodotti aridi come acciaio e truciolo. Ci è parso quasi che gli stampisti possano interagire in qualche modo con l'estro e i programmi degli artisti; insomma, un'opportunità per vivere con calore un'esperienza fredda come quella del "fa-

**In apertura: Analisi micrografica della zona danneggiata 200X**



re truciolo”, immersa nell’arte e nella storia. Lì, al Museo Poldi Pozzoli, comunicare inconvenienti, cause e rimedi della lavorazione meccanica ci è apparso un modo di diffondere informazione e dialogare sgan-ciati dalle solite ritualità sociali.

La macchina della produzione e le nuove tecnologie ribaltano i ruoli sia di chi fa truciolo sia di chi fa arte, gli uni consapevoli della propria responsabilità tecnica, gli altri del proprio impegno estetico.

### Oltre la fresatura veloce

È opinione comune che le lavorazioni meccaniche, al di là dell’elettroerosione, non possano influenzare negativamente le performance degli stampi da presso colata. Tuttavia, analisi effettuate da TAG Srl, Böhler Uddeholm Italia Spa e Istituto FRAUNHOFER insieme su stampi non performanti, al di fuori delle zone di figura, hanno spesso evidenziato danneggiamenti chiaramente ascrivibili alle lavorazioni meccaniche. L’efficienza dei processi di formatura e modellazione in stampo è grandemente influenzata dalla qualità della superficie dell’utensile o dello stampo. Le prestazioni di questi utensili sono dipendenti dal materiale impiegato, dalla precisione della geometria e dall’integrità dello strato sub-corticale. La lavorazione meccanica degli acciai per utensili a caldo nello stato temprato è una delle sfide più grandi per i processi di fresatura con macchine multi assi ad elevata velocità. L’attività promossa da TAG Srl e Böhler Uddeholm Italia Spa indaga le conseguenze sullo strato sub-corticale derivanti dalla lavorazione ad elevata

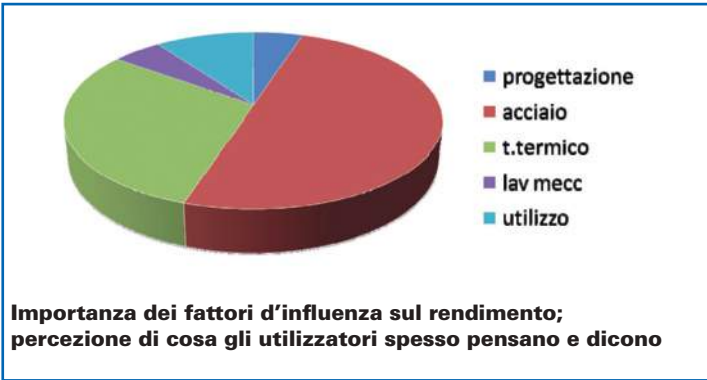
velocità. Lo studio è stato sviluppato utilizzando campioni degli acciai a caldo più largamente utilizzati. Le lavorazioni meccaniche ad elevata velocità, oggi largamente diffuse ed impiegate, sono il risultato degli sforzi dei costruttori di macchine utensili, da una parte, e dei produttori di utensili in metallo duro, dall’altra. In particolare, nel settore degli utensili ed in quello specifico degli stampi per pressocolata si è assistito, negli ultimi anni, ad una continua riduzione dei tempi di fornitura, che inevitabilmente hanno portato gli stampisti a preferire le lavorazioni meccaniche con la più elevata velocità dell’utensile. L’obiettivo di ridurre i tempi di preparazione è certamente stato raggiunto non senza qualche conseguenza negativa rispetto le prestazioni ottenute dagli stampi, spesso inferiori a quelle attese. Sono numerosi i casi di scarsa durata degli stampi per pressocolata apparentemente non spiegabili o difficilmente attribuibili ad un particolare attore della filiera: il produttore dell’acciaio, lo stampista, il trattamento termico e non ultimo, l’utilizzatore dello stampo e le condizioni di impiego. In tale contesto, la società TAG Srl è stata la promotrice di un lavoro di ricerca ed indagine, commissionato all’Istituto Fraunhofer di Aachen (D), volto ad indagare quali siano, se ce ne sono, le conseguenze sulle superfici lavorate con macchine utensili operanti ad alta velocità abbinate agli specifici utensili e quali quelle sulla matrice sottostante. Böhler Uddeholm Italia Spa ha fornito i necessari campioni di acciai per utensili per lavorazione a caldo ed ha anche contribuito alla copertura dei costi.

**Fig. A - L’analisi ha evidenziato la formazione di micro-cricche e di danneggiamenti plastici della superficie con durezza superiori ai valori normali**

**Fig. B - Danneggiamenti chiaramente ascrivibili alle lavorazioni meccaniche**

All’Istituto di ricerca tedesco sono stati forniti campioni di acciai per lavorazione a caldo tra i più prestazionali disponibili, scelti tra quelli prodotti in Austria dall’acciaieria Böhler Edelsthal ed in Svezia dall’acciaieria Uddeholm. TAG Srl ha eseguito il trattamento termico nelle condizioni metallurgiche e di durezza maggiormente utilizzate dai costruttori di stampi. Il lavoro svolto dall’Istituto Fraunhofer ha dimostrato, attraverso l’analisi, con metodologie diverse precedentemente definite, di campioni realizzati con un processo controllato ed in condizioni definite, che la lavorazione ad alta velocità può, se non eseguita nelle condizioni identificate come quelle ottimali, facilmente causare danni alla superficie lavorata. Tali danni compromettono la durata dello stampo. I danni rilevati includono la formazione di “coltre bianca” martensitica, le micro cricche superficiali, danni alla matrice del materiale sottostante la superficie e durezza anomale dovute anche alla deformazione plastica del materiale. In particolare l’indagine ha consentito di evidenziare che:

🔵 la lavorazione ad elevata velocità produce danni sotto la superficie lavorata con deformazione plastica, cricche e coltre bianca indipendentemente dal materiale lavorato



e i danni sono maggiori nel caso di utensili da taglio usurati;

☑ sono state inoltre rilevate, a prescindere dal materiale, variazioni nella durezza fino a 15 HRC in aumento e danni sotto la superficie fino a 25 µm;

☑ la lavorazione con utensile verticale produce tensioni residue sub-corticali.

Tra le cause dei danni citati, identificate dalla ricerca, sono state menzionate l'utilizzo di utensili perpendicolarmente alla superficie lavorata, la fresatura ascendente oltre l'impiego di utensili con tagliente usurato. Combinazioni di queste singole cause comportano ovviamente danni maggiori.

La ricerca ha poi confermato che, con le dovute cautele ed operando in condizioni controllate, è possibile minimizzare i danni citati. Occorre prevedere di utilizzare utensili con buon tagliente, inclinati rispetto al materiale da lavorare, evitando di fresare in discordanza, possibilmente presidiando le lavorazioni meccaniche per non rischiare di

operare in condizioni non ottimali.

Al fine di ridurre i danni sub-corticali menzionati, risulta importante che nelle lavorazioni di finitura ad alta velocità dopo trattamento termico, il percorso dell'utensile sia definito in modo da mantenere l'utensile sempre inclinato, fresando in concordanza e sostituendo l'utensile quando usurato. Quanto proposto potrebbe comportare tempi di preparazione degli stampi per pressocolata forse un po' più lunghi, che certamente saranno compensati dalle migliori prestazioni in termini di produzione realizzabile ed, in definitiva, da un costo per unità prodotta inferiore.

**Analisi dell'influenza della lavorazione ad alta velocità sull'integrità degli stampi per pressocolata**

La ricerca si proponeva di identificare eventuali correlazioni esistenti tra la lavorazione ad alta velocità dei materiali e l'insorgere

di difetti superficiali e non nei materiali, al fine di evitare i problemi identificati, tra gli altri, nei seguenti: -micro-fratture e micro-scheggiature superficiali;

☑ entità e profondità dell'incrudimento superficiale;

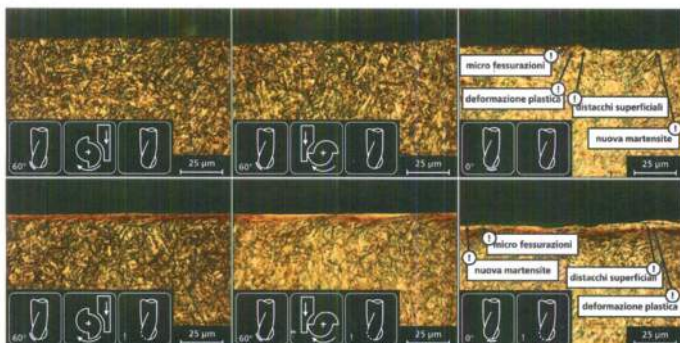
☑ entità e profondità della deformazione plastica del materiale lavorato; al fine di ottenere:

- ☑ una maggiore sicurezza di performance degli stampi;
- ☑ un aumento dell'efficienza produttiva;
- ☑ la riduzione degli scarti di produzione.

I parametri di lavorazione scelti per la preparazione dei campioni sono tipici della fase di finitura a contorno delle figure degli stampi dopo il trattamento termico. Le operazioni di fresatura sono state eseguite con utensile a 4 denti con raggio di 6 mm in carburi, secondo i seguenti parametri:

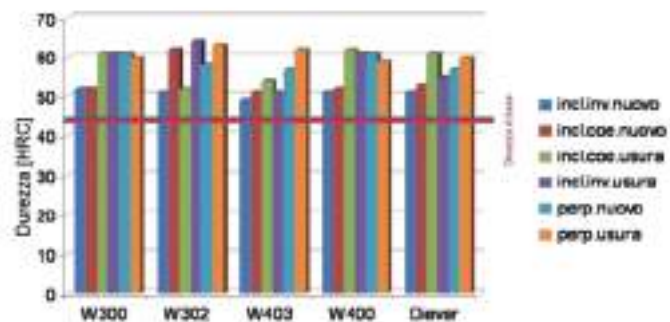
- ☑ velocità di lavoro 100 m/minuto;
- ☑ velocità di rotazione mandrino 17.000rpm;

ORVAR



**Per tutti i materiali e tutte le condizioni di prova la durezza di base (45/47 HRC) viene significativamente aumentata a seguito delle lavorazioni meccaniche cui i provini sono stati sottoposti**

Misurazione durezza HRC perpendicolare alla superficie



- ↙ inclinazione 0°, 60°;
- ↙ profondità di lavoro 0,1 mm;
- ↙ larghezza del taglio 0,05 mm;
- ↙ alimentazione del dente 0,05 mm;
- ↙ fresatura in concordanza ed in discordanza.

### Le lavorazioni meccaniche

Per tutti i materiali oggetto dell'indagine sono stati realizzati i campioni necessari, successivamente lavorati secondo le casistiche previste.

I campioni lavorati sono stati in seguito analizzati con le metodiche previste e, per ciascuno, sono state realizzate delle analisi sulla stratigrafia verticale al fine di poter analizzare le condizioni dei materiali sotto la superficie lavorata.

La necessità di verificare le condizioni dei materiali al di sotto della superficie lavorata deriva dallo stato di sforzo, derivante a sua volta dalle tensioni residue, conseguenti le lavorazioni meccaniche cui i campioni sono inevitabilmente sottoposti, così come avviene nella realtà per ogni lavorazione meccanica. In particolare, durante le lavorazioni meccaniche ad asportazione di truciolo, l'utensile sottopone ad un'elevata sollecitazione di deformazione plastica e termica la superficie dei materiali, tanto maggiore quanto maggiori sono la durezza del materiale da lavorare, la velocità dell'utensile in rapporto con le profondità di passata, la pressione applicata anche in funzione della direzione della lavorazione. Queste tensioni sono dipendenti dalle proprietà stesse dei materiali, dai rispettivi processi tecnologici, dai parametri di lavorazione utilizzati e, non ultimi, dagli utensili impiegati.

La superficie del materiale è pertanto sottoposta ad un'azione termo-meccanica.

In particolare, nello strato superficiale più esterno del materiale, l'effetto termico, dipendente dal calore che si sviluppa localmente dà origine alla formazione degli strati bianchi "white layer" (trasformazioni strutturali per esempio con formazione di nuova martensite da attrito). Mentre l'incremento della durezza superficiale dovuto all'effetto meccanico con deformazione plastica cau-



sa una riduzione delle tenacità delle stesse. I citati fenomeni innescano rispettivamente micro cricche e micro distacchi nel materiale lavorato con conseguenti rotture. Nello strato sottostante sub-corticale prevale la sollecitazione meccanica di compressione, che determina la deformazione plastica con riduzione della resistenza e tenacità. In conclusione, l'indagine ha confermato che la lavorazione meccanica ad alta velocità comporta un danneggiamento della struttura superficiale del materiale, con spessori interessati compresi tra 2 e 24  $\mu\text{m}$ , dipendenti dalle modalità di lavorazione, dalle condizioni dell'utensile e dal materiale in esame.

L'analisi ha evidenziato la formazione di micro-cricche e di danneggiamenti plastici della superficie con durezza superiori ai valori normali oltre alla presenza, in taluni casi, di "coltre bianca", martensitica, e conseguenti rotture fragili superficiali. I fenomeni citati sono risultati più marcati nelle seguenti condizioni di lavoro dell'utensile, indipendentemente dal materiale lavorato: utensile usurato, applicazione dell'utensile con inclinazione 0° (verticale rispetto alla superficie lavorata), fresando in discordanza. L'eventuale combinazione delle condizioni sopra menzionate comporta un peggioramento delle condizioni della superficie lavorata.

In relazione alle modalità di lavorazione sono poi state mappate, con misurazioni Vickers, le durezza nella zona sotto superficie lavorata nelle profondità comprese tra

0,1 e 0,9 mm, rilevando, per i diversi materiali, durezza fino a 59-61 HRC a 0,1 mm che si riducono con il procedere in profondità fino a 49-51 HRC a 0,9 mm.

Dunque, lo studio rappresenta una solida base per riconsiderare le modalità di produzione degli stampi per presso colata, e non soltanto quelli, così da evitare danni alle superfici conseguenti le modalità di esecuzione delle lavorazioni meccaniche necessarie.

Gli elementi cui porre attenzione nella definizione dei cicli di lavoro richiesti possono essere così riassunti:

- ↙ danni sotto la superficie lavorata con deformazione plastica del materiale, cricche e coltre bianca sono sempre stati riscontrati con lavorazioni eseguite con center tool tip (0°);
- ↙ con una strategia di lavorazione "errata", quale quella oggi comune, che privilegia la velocità di lavorazione ed i tempi brevi di realizzazione degli stampi, sono state riscontrate differenze di durezza fino a 10 HRC e danni sotto la superficie lavorata fino alla profondità di 25  $\mu\text{m}$ ;
- ↙ nel caso di fresatura con utensile verticale sono state riscontrate tensioni residue sotto la superficie lavorata;
- ↙ per minimizzare i danni superficiali sulla superficie lavorata la migliore strategia di fresatura è risultata essere quella che prevede l'impiego di un utensile nuovo sempre inclinato e fresatura sempre in concordanza.