

STAMPI - ROTTURE di TEMPRA e di RETTIFICA

Elio Gianotti. Trattamenti Termici Ferioli & Gianotti SpA Rivoli To

Quando si parla di difetti negli stampi la letteratura comune prende in considerazione normalmente le deformazioni o le rotture superficiali causate da shock termico negli stampi che lavorano materiale caldo come per esempio gli stampi da pressofusione delle leghe leggere o da stampaggio a caldo dell'acciaio.

In effetti si da per scontato che quando uno stampo viene montato sulla pressa sia integro ed esente da tensioni e difetti che possano originare durante l'esercizio deformazioni, cricche o addirittura rotture totali dello stesso, mentre si pensa che le anomalie che si evidenziano durante la produzione siano originate dalle tensioni di fatica, meccanica o termica, cui viene sottoposto lo stampo durante l'esercizio.

Questa constatazione sta alla base del fiorire di studi e memorie presentate nei vari convegni di metallurgia, mentre viene quasi sempre trascurato l'esame e l'approfondimento di altri fattori che possono ugualmente creare grossi guai negli stampi, fra questi le tensioni create nelle operazioni di tempra, di rettifica e di elettroerosione.

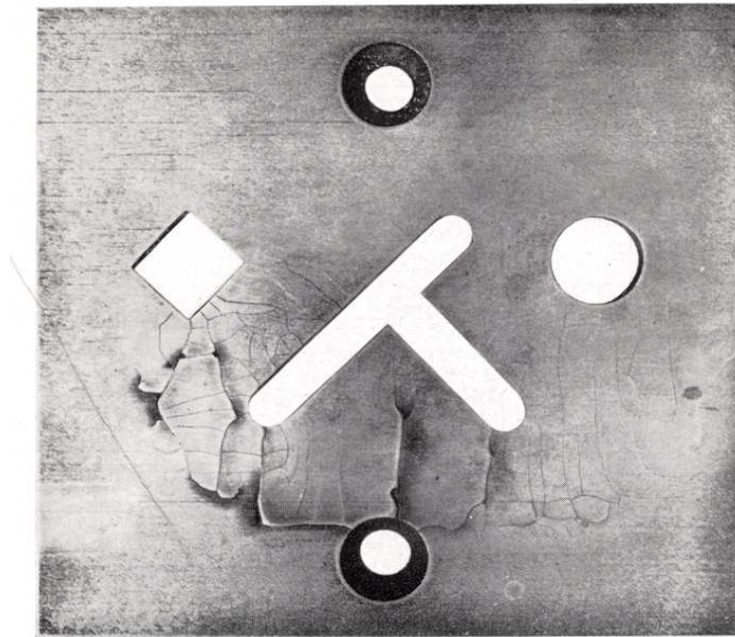


Fig.1 Stampo di trancia con rotture di rettifica dovute sia all'eccessiva durezza dello stampo che a cattiva esecuzione della rettifica

Prima di iniziare l'argomento occorre fare una premessa discriminante per chiarire un concetto che sta alla base di tutte le considerazioni e gli esempi che verranno fatti: l'operazione di rettifica è tanto più critica quanto più alto è il tensionamento, quindi la durezza, del materiale da rettificare. Un materiale ricotto ben difficilmente manifesterà delle cricche di rettifica perché è in grado di assorbire tutte le tensioni che anche la più spericolata delle rettifiche può provocare.

Quando la mola si avvicina al pezzo da rettificare è come se si avvicinassero qualche centinaio di utensili da taglio che asportano ognuno un piccolo truciolo di materiale. Se l'utensile è ben affilato il lavoro di asportazione è limitato allo stacco della superficie del truciolo del materiale e quindi il lavoro sviluppato sarà proporzionale alla resistenza del materiale per l'area interessata dal distacco.

Nel caso in cui l'utensile sia arrotondato al lavoro di distacco del truciolo si aggiunge il lavoro di deformazione plastica dovuto alla ricalcatura dello spessore "a" del materiale che è proporzionale alla resistenza a compressione per il volume di materiale schiacciato (vedi fig.3). Dal momento che il lavoro si trasforma quasi completamente in calore è chiaro che nel secondo caso la produzione di calore è molto più elevata e tanto più elevata quanto maggiore è l'arrotondamento dello spigolo di taglio e della durezza del materiale.

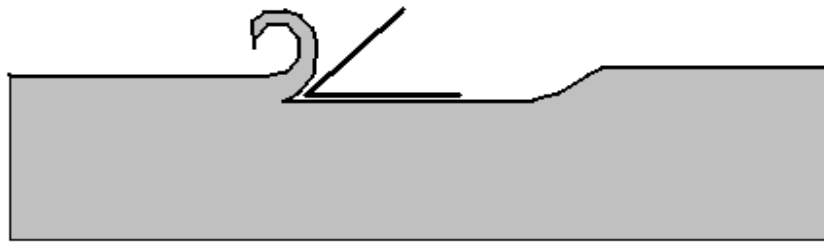


FIG.2

Fig.2 Mola con grani ben affilati, il lavoro di distacco è determinato dalla resistenza a trazione R del materiale per l'area della zona interessata dal distacco corrispondente all'area di distacco del truciolo.



FIG.3

Fig.3 Mola con grani arrotondati. Il lavoro determinato dal distacco del truciolo è sempre analogo quello della fig.2, ma in questo caso al lavoro di distacco del truciolo si aggiunge il lavoro di deformazione plastica dovuto alla ricalcatura dello spessore "a" del materiale, che è proporzionale alla resistenza a compressione per il volume di materiale schiacciato.

Non è l'utensile che produce il tensionamento superficiale del pezzo che può arrivare fino alla rottura, ma il calore localizzato che produce nell'operazione di taglio e compressione durante la lavorazione meccanica. Se il calore è tale da provocare una dilatazione che supera il valore dell'allungamento del materiale si arriva alla rottura dello stesso. Naturalmente più il materiale è duro e minore è il suo limite di allungamento per cui è più probabile la rottura. Nel caso in cui la mola genera calore sulla superficie del pezzo, in quel punto il materiale dilata e va in compressione, mentre gli strati freddi sottostanti vanno in trazione. Se la resistenza a trazione viene superata si forma una cricca sotto la superficie del pezzo. Siccome la mola avanza lentamente si formeranno sequenze di cricche sottopelle che possono portare alla formazione di squame che tendono a staccarsi (vedi fig.1 e fig.4).

Le squame o scaglie saranno tanto più spesse quanto maggiore è la penetrazione del calore. Il fenomeno dello scagliamento è legato al riscaldamento della superficie rispetto al substrato, ma un secondo danno può avvenire nel raffreddamento della stessa superficie riscaldata perché normalmente l'operazione di rettifica avviene in presenza di un grosso getto di acqua miscelata con olio emulsivo. In questo caso l'acqua arriva sulla superficie riscaldata dalla mola e provoca una tempra molto drastica con conseguente rottura della superficie.

L'acqua, contrariamente a quanto si è portati a pensare, gioca un ruolo negativo nella formazione delle cricche perché nella zona di contatto fra mola e pezzo non riesce ad entrare, mentre comincia a raffreddare non appena il pezzo esce dalla zona di contatto con la mola.

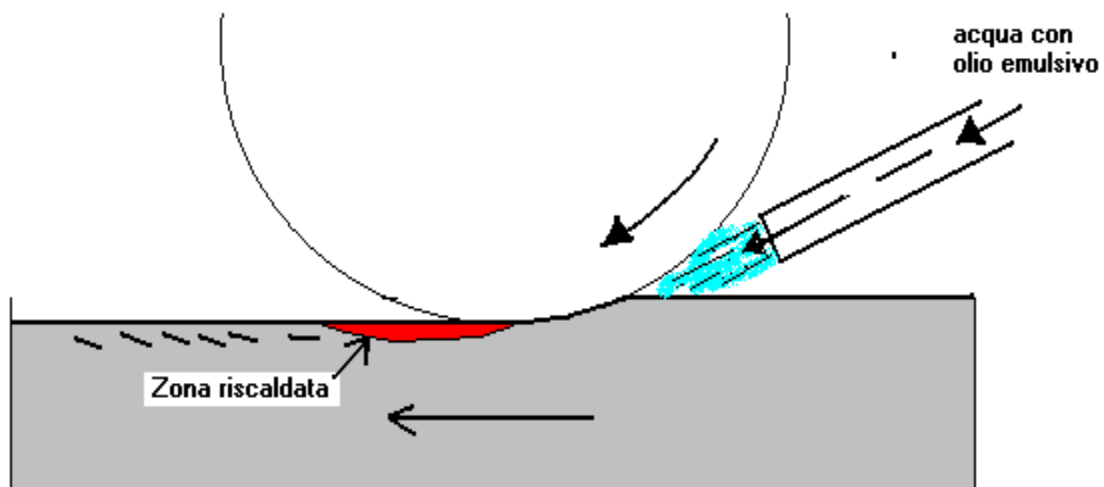


FIG. 4

Fig.4 Formazione di cricche sottopelle dovute al riscaldamento della superficie del pezzo da parte della mola.

I SURRISCALDI o BRUCIATURE di RETTIFICA

Il fenomeno di riscaldamento della superficie del pezzo durante la rettifica oltre che provocare cricche superficiali che possono essere visibili ad occhio nudo o che possono essere evidenziate con esami magnetoscopici o con liquidi penetranti, può anche manifestarsi con l'apparire di una colorazione blu scura causata da una superficie di ossido estremamente fine, formatasi durante l'esposizione istantanea ad alta temperatura. La stessa pellicola di ossido può formarsi con il rinvenimento dell'acciaio a temperature molto più basse, ed in questo caso si forma il colore di rinvenimento. La differenza essenziale fra bruciatura e colore di rinvenimento è dovuta alla temperatura alla quale arriva la superficie del pezzo a contatto con la mola.

Mentre un colore blu fiordaliso si forma a 250°C dopo circa 6 ore di permanenza a tale temperatura, per ottenere lo stesso colore a 300°C occorre circa 1 ora di permanenza, mentre a 500°C bastano circa 20". La colorazione determinata dal rinvenimento è in relazione allo spessore dello strato di ossido di ferro che si è formato e che in questo caso corrisponde alla formula Fe_3O_4 (magnetite).

Per avere la correlazione matematica fra spessore dello strato di ossido di ferro, che determina il suo colore e il tempo e la temperatura occorre rifarsi alla equazione elaborata da Svante Arrhenius, sviluppata per l'acciaio da Hollomen e Jaffe.

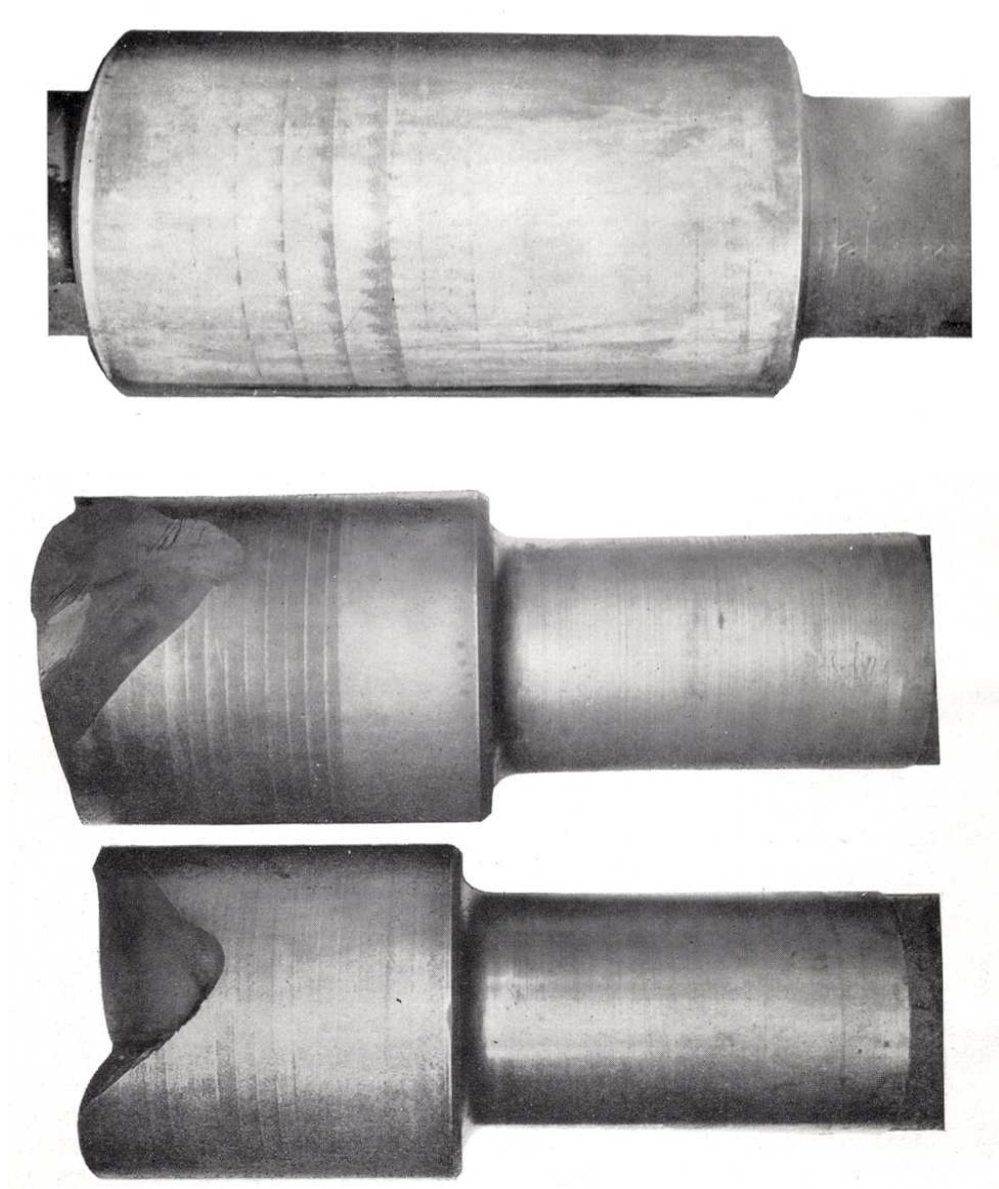


Fig.5 Fasce di rinvenimento dovute a riscaldamento localizzato durante l'operazione di rettifica. Passate troppo profonde, mola troppo dura, ravvivatura della mola poco frequente.

Legge di Arrhenius

1) Influenza della temperatura sulla velocità di reazione.

Nel 1889 Svante Arrhenius studiando la inversione del saccarosio notò che il tempo richiesto per l'inversione (velocità di reazione) era dipendente dalla temperatura ed aumentava con questa in ragione esponenziale.

L'equazione di Arrhenius o della velocità di reazione è:

$$t = \frac{1}{a} e^{\frac{A}{RT}}$$

t = tempo di reazione, diminuisce se aumenta T
a = fattore di frequenza (o preesponenziale) degli urti fra le molecole reagenti. E' una costante per ogni sostanza e processo
e = base dei logaritmi naturali

$$\frac{1}{t} = a \cdot e^{\frac{-A}{RT}}$$

A = energia di attivazione è l'energia che devono avere le molecole perché nello scontro la reazione avvenga; è una costante per ogni sostanza e processo.
R = costante dei gas = 1,987 cal/mole . K
T = temperatura assoluta della reazione

2) Influenza delle temperature sui tempi di ossidazione

L'equazione di Arrhenius può anche essere applicata per calcolare i tempi di ossidazione degli acciai in funzione della temperatura e dei tempi. A questo proposito l'equazione viene sviluppata nel seguente modo da Hollomen e Jaffe :

$$\ln \frac{1}{t} = \ln a \cdot e^{\frac{-A}{RT}} ; \quad \ln \frac{1}{t} = \ln a + \ln e^{\frac{-A}{RT}} ; \quad \ln \frac{1}{t} = \ln a - \frac{A}{RT} ;$$

$$-\ln t - \ln a = - \frac{A}{RT} ; \quad T (\ln t + \ln a) = \frac{A}{R} ; \quad T (\ln t + C) = \frac{A}{R}$$

La costante C (ln a) può essere valutata 20 quando il tempo viene espresso in ore e la temperatura in gradi Kelvin.

Utilizzando questo algoritmo, conoscendo che il colore blu del rinvenimento si forma con permanenza di 6 ore a 250°C è facile calcolare a quale temperatura arriva la superficie di un pezzo che dopo l'operazione di rettifica presenta la superficie blu. Ponendo che il tempo di passaggio della mola sull'area di contatto sia stato rispettivamente di 1"; 0.5"; 0.1" significa che durante questo passaggio la superficie del pezzo è arrivata a 690°C; 750°C; 924°C.

Tempo 1" : $x (\ln 0.00028 + 20) = 523K (\ln 6 + 20)$ per cui $x = 964K$ pari a 691°C
Tempo 0,5": $x (\ln 0.00014 + 20) = 523K (\ln 6 + 20)$ per cui $x = 1023K$ pari a 750°C
Tempo 0,1": $x (\ln 0.000028 + 20) = 523K (\ln 6 + 20)$ per cui $x = 1197K$ pari a 924°C

Per quanto lo strato superficiale di ossido possa venire agevolmente asportato nelle successive passate di mola, le bruciature sono indice di trasformazioni metallurgiche avvenute nell'acciaio durante la rettifica, che possono compromettere le caratteristiche del pezzo.

A seconda dei valori di temperatura raggiunti nella rettifica, le bruciature possono causare un rinvenimento, e quindi un addolcimento dello strato superficiale, oppure possono ritemperare la superficie del pezzo. E' chiaro come l'addolcimento provochi seri inconvenienti specialmente per i taglienti degli utensili, mentre un acciaio che venga nuovamente temprato, per effetto della rettifica, può risultare eccessivamente fragile, perché le aree temprate non sono state rinvenute.

Gli effetti delle bruciature possono essere valutati mediante misure di microdurezza su di una sezione trasversale del pezzo rettificato come si può osservare nel diagramma di fig.6.

La profondità di addolcimento aumenta con l'aumentare della profondità di passata, che è data vicina ad ogni curva in millesimi di pollice. Con la maggiore profondità (tre millesimi di pollice pari a 0.075 mm) la temperatura superficiale dell'acciaio supera la temperatura di tempra e si forma uno strato di acciaio ritemperato per una profondità di circa un decimillesimo di pollice pari a 0.0025mm.

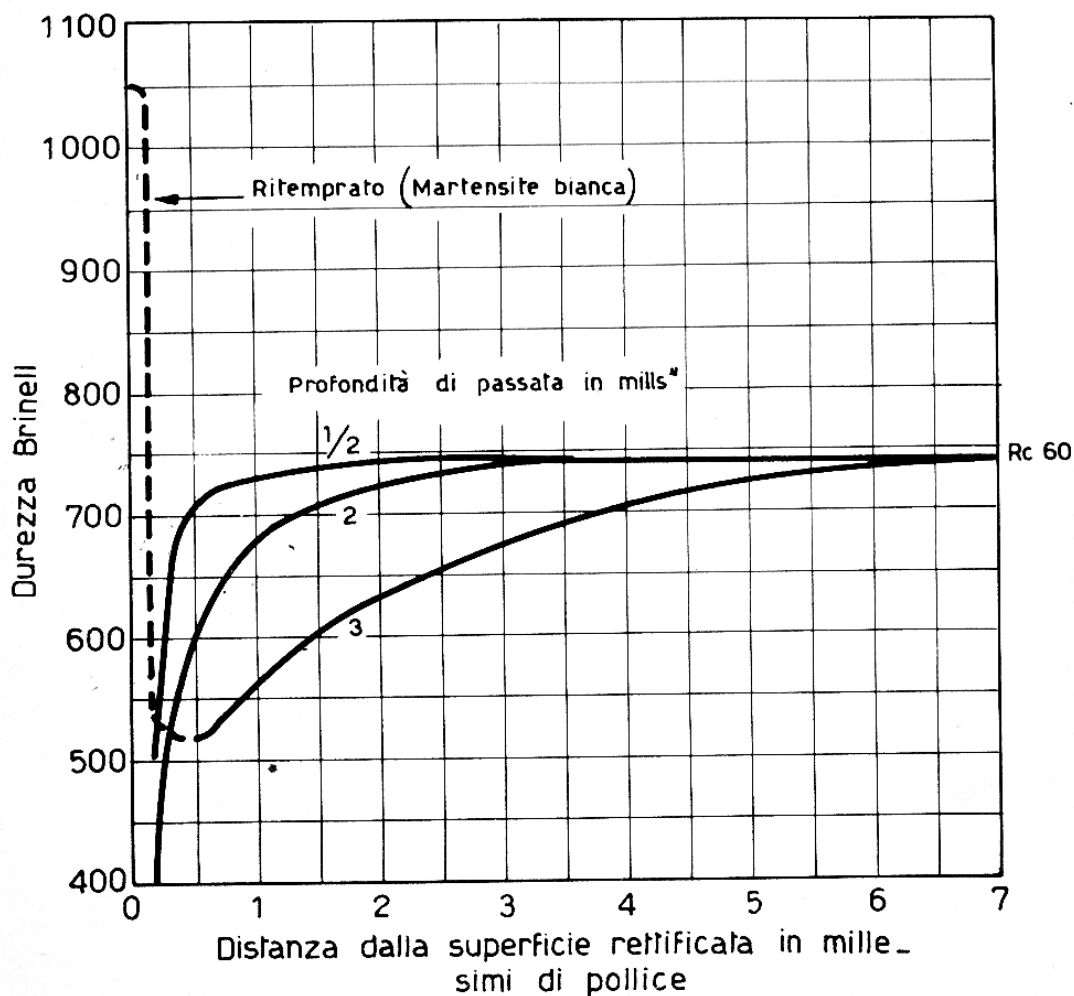


Fig.6 Curve di durezza ottenute su campioni appositamente bruciati con una mola troppo dura.

- 1/2 millesimo di " = 0.012 mm
- 1 millesimo di " = 0.025 mm
- 2 millesimo di " = 0.05 mm
- 3 millesimo di " = 0.075 mm
- 4 millesimo di " = 0.1 mm
- 5 millesimo di " = 0.125 mm
- 6 millesimo di " = 0.15 mm

La rivelazione delle bruciature e delle conseguenti modificazioni metallurgiche dell'acciaio può venire agevolmente effettuata mediante una conveniente tecnica di attacco chimico, anche se lo strato ossidato, o comunque colorato, è stato asportato.

In questo caso l'impiego del Nital (al 5 o 10%) può dare buoni risultati; le zone rinvenute dalla rettifica assumono dopo l'attacco una colorazione grigio scura che spicca sul fondo più chiaro di materiale non rinvenuto. Se la rettifica è stata tale da ritemprare alcune regioni della superficie queste appaiono, dopo l'attacco, più chiare.

Per rendere più evidente il contrasto fra zone bruciate e non, è bene far seguire all'attacco con Nital un attacco in soluzione al 10% di acido cloridrico concentrato in alcol. La durata dell'attacco dipende dal tipo dell'acciaio e varia generalmente da uno a qualche minuto per ogni tipo di attacco.

LE TENSIONI SUPERFICIALI RESIDUE

Non sempre un'operazione di rettifica condotta con modalità non corrette produce effetti così spinti come quelli precedentemente descritti. Non si può quindi affermare che pezzi rettificati esenti da incrinature siano privi di difetti e possano di conseguenza essere posti in opera senza preoccupazioni; spesso la rettifica male eseguita produce delle tensioni superficiali notevoli che sono la diretta conseguenza del surriscaldamento localizzato, operato dalla mola.

E' evidente che pezzi in queste condizioni avranno pregiudicate la loro durata e le loro buone prestazioni se saranno sottoposti in esercizio a notevoli sollecitazioni specialmente se alternate.

In questo caso le tensioni di rettifica possono causare incrinature le quali costituiranno inneschi alle rotture per fatica dei pezzi.

In pezzi di piccolo spessore (Es: nastri, lamiere) le tensioni superficiali possono provocare degli incurvamenti tanto più accentuati quanto più severe sono state le condizioni di rettifica.

Nella fig.7 è riprodotta la fotografia di uno spezzone di nastro rettificato energicamente in modo da ottenere una freccia di circa 1 mm.

Per mettere in evidenza il rapporto di causa effetto fra tensioni superficiali ed incurvamenti, il nastro della fig.7 viene rettificato con le medesime modalità anche sull'altra faccia: ne risultano tensioni uguali ed opposte a quelle prodotte dalla prima rettifica per cui il nastro ritorna press'a poco piano (fig.8).

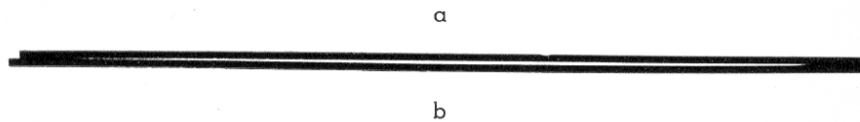


Fig.7 Tensioni superficiali prodotte da rettifica non corretta su di un nastro di acciaio dello spessore di 3 mm a. La curvatura del nastro è stata messa in evidenza appoggiandolo su di un regolo piano b.

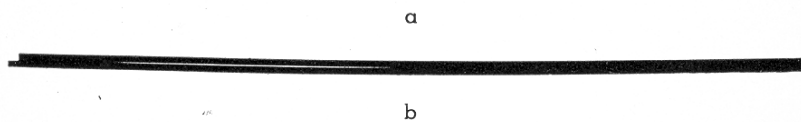


Fig.8 Il nastro della figura precedente viene rettificato energicamente sull'altra faccia. Le tensioni opposte a quelle generate dalla prima rettifica eliminano quasi totalmente la freccia.

La rivelazione delle tensioni superficiali viene effettuata con mezzi che fragilizzando l'acciaio in superficie provochino la formazione di fessure, là dove le tensioni sono più elevate.

Vengono usate a questo scopo soluzioni di acido solforico e di acido cloridrico a freddo ed a caldo; un reattivo che ha dato buoni risultati, è quello costituito da una parte di acido solforico concentrato in cinque parti di acqua. Il tempo di attacco dipende dal tipo di acciaio e ovviamente dall'entità delle tensioni superficiali che si vogliono rivelare.

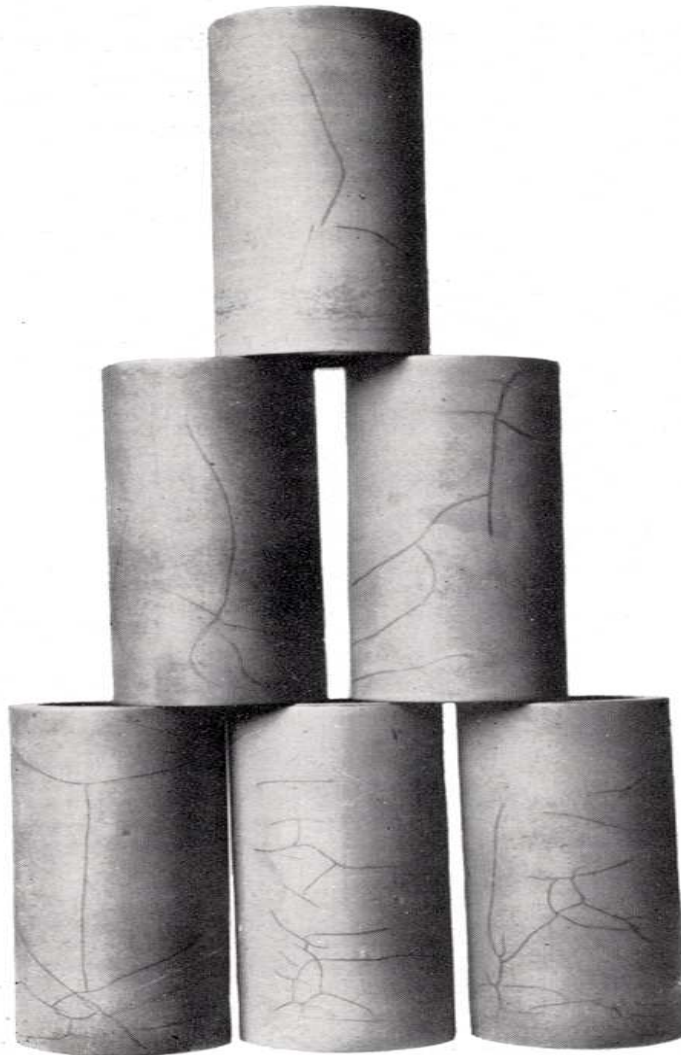


Fig.9 Altre incrinature di rettifica dovute a cattiva esecuzione.

Spinotti di acciaio autotemprante al cromo-nichel-molibdeno, temprati, rinvenuti a 200°C e aventi durezza di oltre 600 Vickers: Durante le operazioni di rettifica l'asse di rotazione dei pezzi non coincide con quello geometrico. L'eccessiva pressione della mola sulle pareti sporgenti ha provocato un principio di riscaldamento che ha abbassato la durezza di circa 30 Vickers e causato una rete di incrinature tipicamente localizzate su una sola metà della superficie esterna.

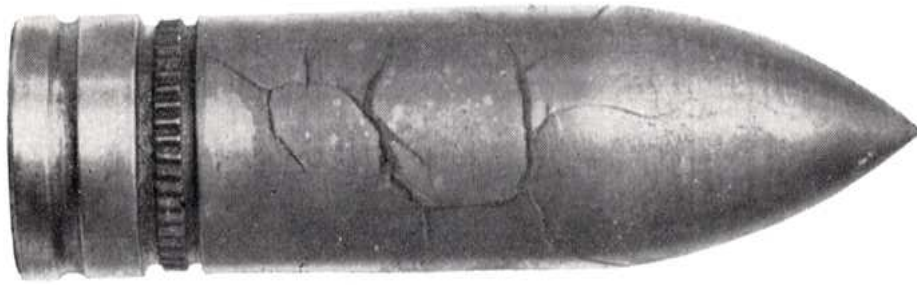


Fig.10 Incrinature di rettifica dovute a tensioni interne preesistenti.

Proiettile temprato energicamente in acqua salata dopo un riscaldamento eccessivo. Le tensioni dovute alla molatura sommate a quelle di tempra hanno provocato incrinature già visibili ad occhio nudo e più ancora ad un esame metalloscopico. Però in questo caso le operazioni di rettifica non sono state ben condotte, poiché la durezza superficiale è scesa di oltre 300 Vickers.

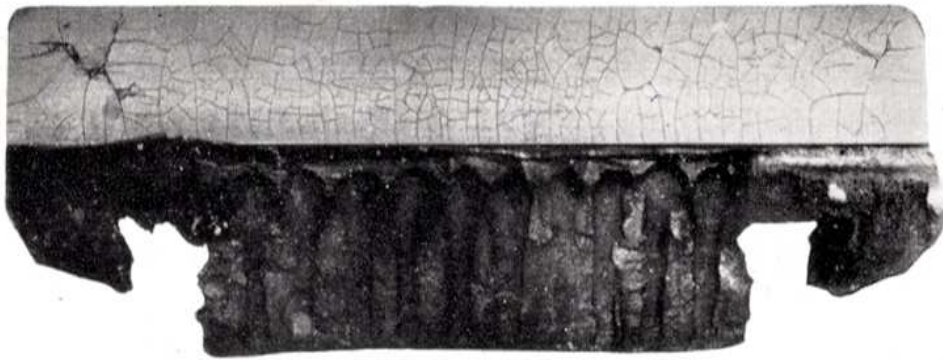


Fig.11 Incrinature di rettifica dovute ad eccessiva fragilità della superficie.

Dente di ingranaggio cementato per 30 ore a 900°C , ricotto, temprato in olio ed infine rettificato. La cementazione eccessiva (carburi ipereutectoidi ai bordi dei grani, notevole profondità di penetrazione) e la successiva tempra non seguita da rinvenimento, hanno reso la crosta superficiale fragilissima. Tuttavia alcuni denti dello stesso ingranaggio sono rimasti sani dimostrando che anche in casi simili, la rettifica può essere eseguita senza inconvenienti.

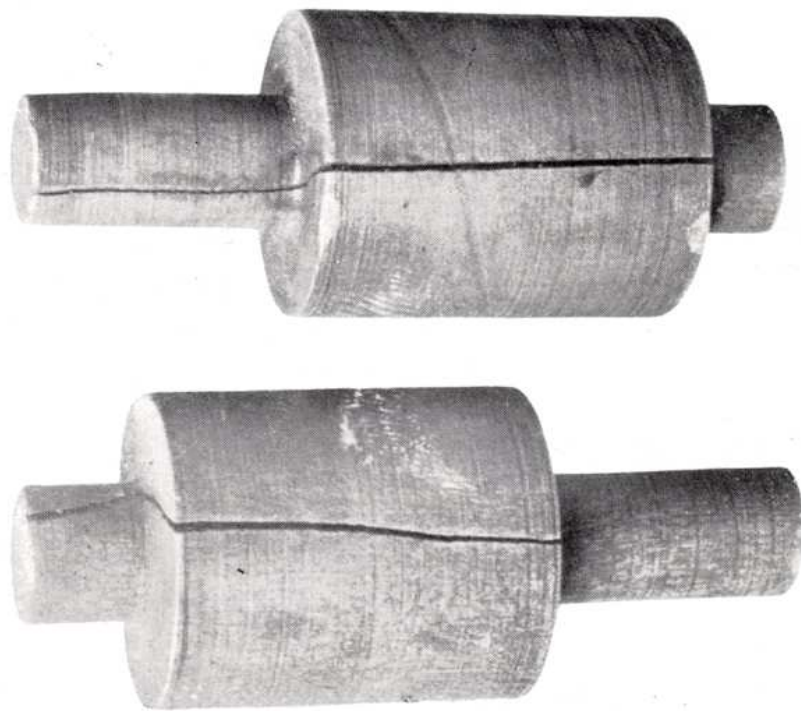


Fig.12 Esempio di spaccature di tempra.

Le rotture sono profonde allargate verso la superficie e con andamento approssimativamente parallelo all'asse del pezzo.

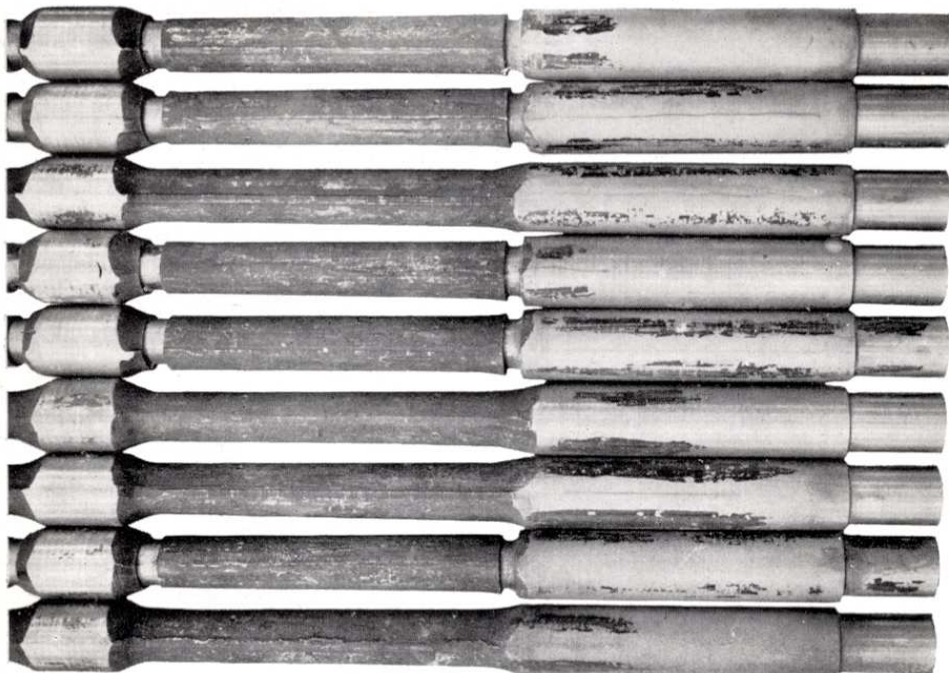


Fig.13 Altro esempio di spaccatura di tempra.

Tutti i cretti sono in corrispondenza della bava di stampaggio ossia dove l'acciaio ha subito il maggior tormento di fucinatura.



Fig.14 Incrinature dovute a mancato preriscaldamento.

I cretti sono localizzati nelle parti che furono esposte all'irradiazione del forno. Hanno andamento perpendicolare alla superficie e sono ossidati e decarburati.