

# COGNE

NAZIONALE

SOCIETÀ P. A.

**MINIERE - IMPIANTI IDROELETTRICI - STABILIMENTI SIDERURGICI  
STABILIMENTO MECCANICO E STABILIMENTO PER I REFRATTARI**

CAPITALE SOCIALE L. 8 MILIARDI  
SEDE IN TORINO

## I DIFETTI DI RETTIFICA



COGNE PUBBLICITÀ

SID - ES.12 - NOVEMBRE 1958

## Premessa

Questo breve studio è nato dall'esperienza di chi, quotidianamente, si occupa dell'esame dei difetti nei manufatti d'acciaio e sa quale notevole incidenza abbiano le fessure superficiali prodotte dalla rettifica, nel determinare lo scarto di pezzi quasi finiti di lavorazione meccanica.

Lo scarto di un pezzo rettificato significa l'inevitabile perdita del materiale e di tutto il tempo e denaro necessari per la lavorazione precedente, spesso lunga e costosa, del metallo.

L'importanza economica di evitare la formazione di difetti sulle superfici rettificate è quindi evidente; noi ci proponiamo appunto, con questa pubblicazione, di aiutare il lettore ad eliminare gli inutili aumenti dei costi di produzione, derivanti da tale causa.

Per rendere più chiara l'esposizione suddivideremo i difetti di rettifica in tre categorie: incrinature, tensioni superficiali residue, bruciate. Per ognuna di esse verranno descritti gli aspetti e i caratteri che valgono a distinguere questi difetti da altri apparentemente simili, ma di altra natura ed origine.

Si indicheranno infine i sistemi più idonei a permettere la loro rivelazione e la loro identificazione.

## Le incrinature di rettifica

E' noto che la molatura produce, per il taglio di sottili trucioli di metallo e per la loro deformazione plastica, un intenso sviluppo di calore, che viene in parte assorbito dai trucioli e dalla mola ed in parte resta sulla superficie rettificata. Dalla differenza di dilatazioni termiche fra lo strato superficiale e lo strato sottostante del pezzo — conseguenza inevitabile del gradiente di temperatura che si stabilisce fra gli strati stessi — nascono delle tensioni superficiali, che possono superare il carico di rottura del materiale e determinare delle incrinature. In genere tali difetti sono causati da una condotta non corretta della rettifica (figg. 1, 2 e 3).

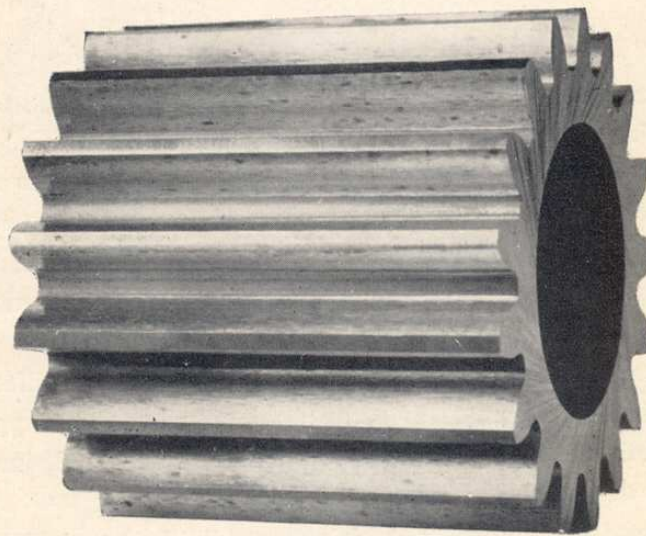


Fig. 1 — Incrinature di rettifica dovute a cattiva esecuzione.

Ingranaggio di acciaio al cromo-nichel cementato e temprato. Dove la mola ha più indugiato, la superficie si è poi velata di ossido, assumendo i colori di rinvenimento (vedere le macchioline scure); su tutta la superficie, il riscaldamento ha ridotto la durezza di circa 200 unità Vickers.

Occorre però ricordare che sovente, in un acciaio temprato, altre operazioni precedenti alla rettifica (trattamento termico, indurimento superficiale per mezzo di cementazione, nitrurazione ecc.) possono rendere il pezzo così sensibile, che perfino una moderata rettifica porterà ad una superficie incrinata (figg. 4, 5 e 6).

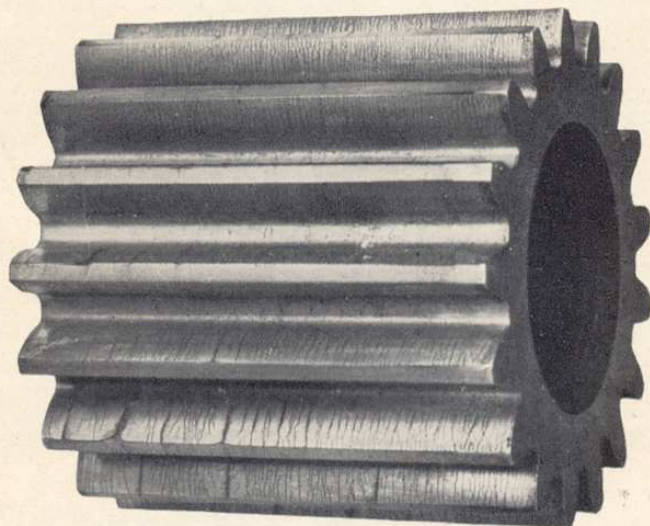


Fig. 2 — Incrinature di rettifica dovute a cattiva esecuzione.

Le incrinature sono visibili ad occhio nudo, ma appaiono evidentiissime, parallele fra loro e normali alla direzione d'avanzamento della mola, sottoponendo il pezzo ad un esame magnetoscopico.

In questo caso non vi è nulla nell'aspetto esteriore delle incrinature, che permetta di distinguerle da quelle che si formano solo per colpa di una rettifica mal eseguita; sarà compito del tecnico intelligente individuare, caso per caso, dove siano gli errori: se nel solo trattamento termico, nella sola rettifica o in entrambe le operazioni.

Ha molta importanza, ai fini pratici, il poter distinguere le fessure di rettifica dalle spaccature di tempra. Le prime sono superficiali, di piccole dimensioni, disposte normalmente alla direzione di rettifica, oppure estese fino a formare il caratteristico reticolo, e simili alle impronte del grano abrasivo lasciato dalla mola; solo in casi particolarmente gravi, esse possono determinare il distacco di vere e proprie squame di materiale (« spalling »).

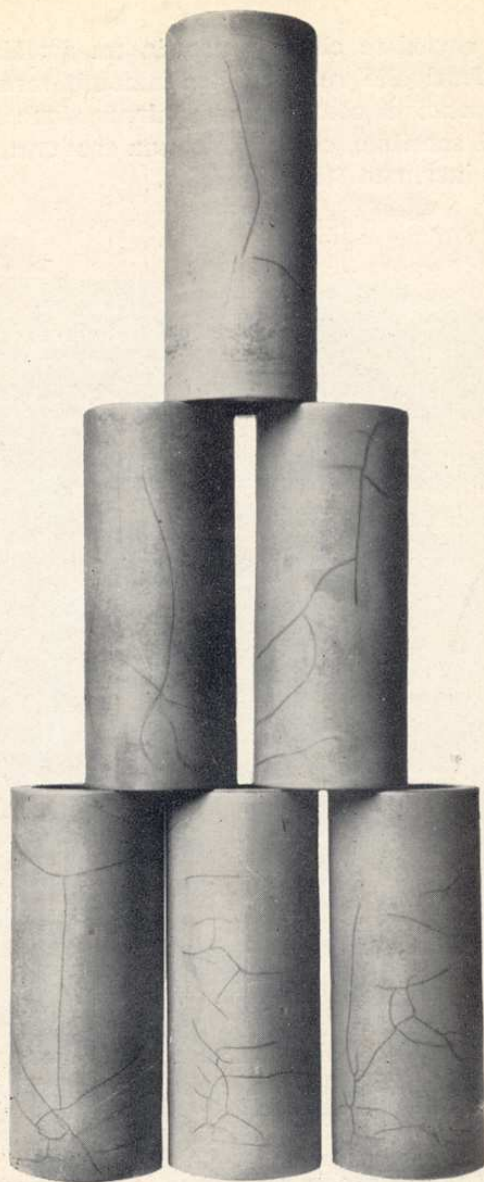


Fig. 3 — Altre incrinature di rettifica dovute a cattiva esecuzione.

Spinotti di acciaio autotemprante al cromo-nichel-molibdeno temprati, rinvenuti a  $200^{\circ}$  e aventi durezza di oltre 600 Vickers. Durante le operazioni di rettifica, l'asse di rotazione dei pezzi non coincideva 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.

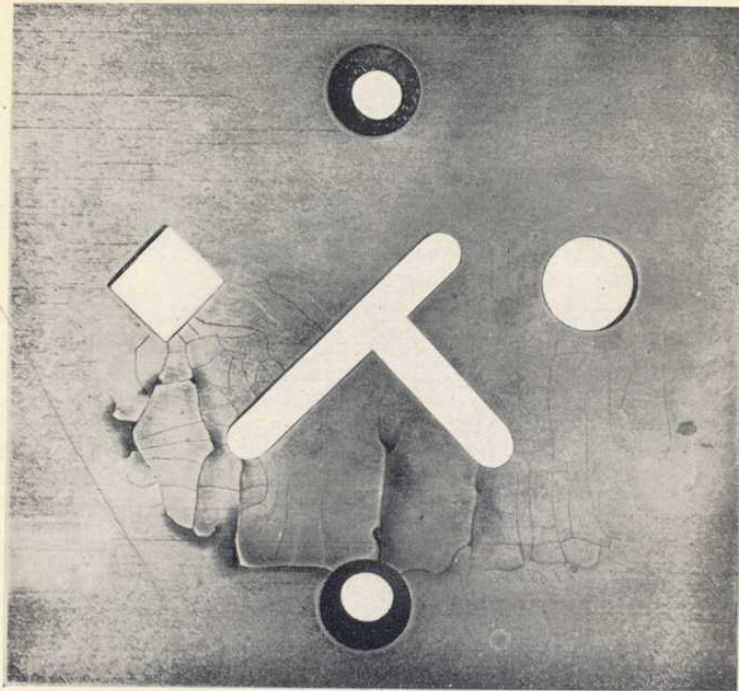


Fig. 4 — Incrinature di rettifica dovute, in parte a cattiva esecuzione e in parte alla fragilità dell'acciaio.

Stampo di acciaio al cromo-tungsteno temprato, non rinvenuto, avente durezza superiori a 900 Vickers, e quindi molta fragilità. Le zone molate presentano colori di rinvenimento, incrinature, squame sollevate e durezza di sole 600 Vickers. La molatura è stata eseguita con pressioni eccessive, come appare evidente dalla profondità dei solchi.

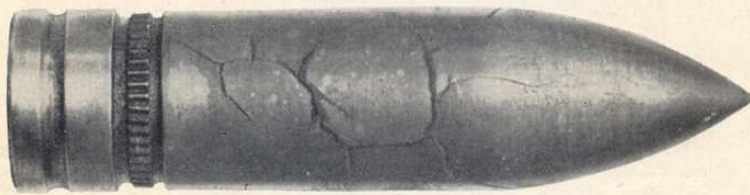


Fig. 5 — Incrinature di rettifica dovute a tensioni interne preesistenti.

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, anche in questo caso, le operazioni di rettifica non sono state ben condotte, poichè la durezza superficiale è scesa di oltre 300 Vickers.

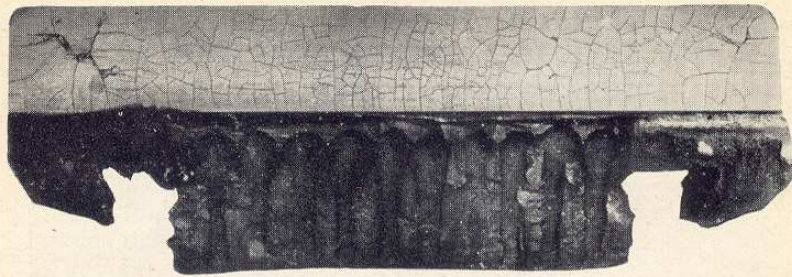


Fig. 6 — Incrinature di rettifica dovute ad eccessiva fragilità della superficie.

Dente di ingranaggio cementato per 30 ore a  $900^{\circ}$ , ricotto, temprato in olio e 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.

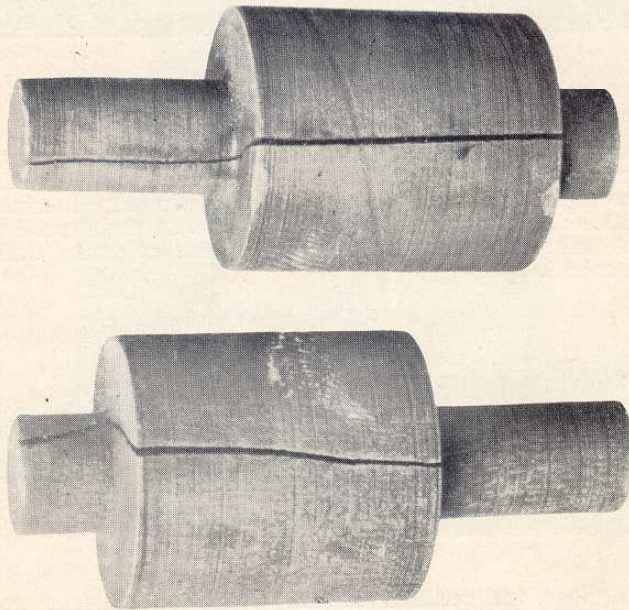


Fig. 7 — Esempio di spaccature di tempra.

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

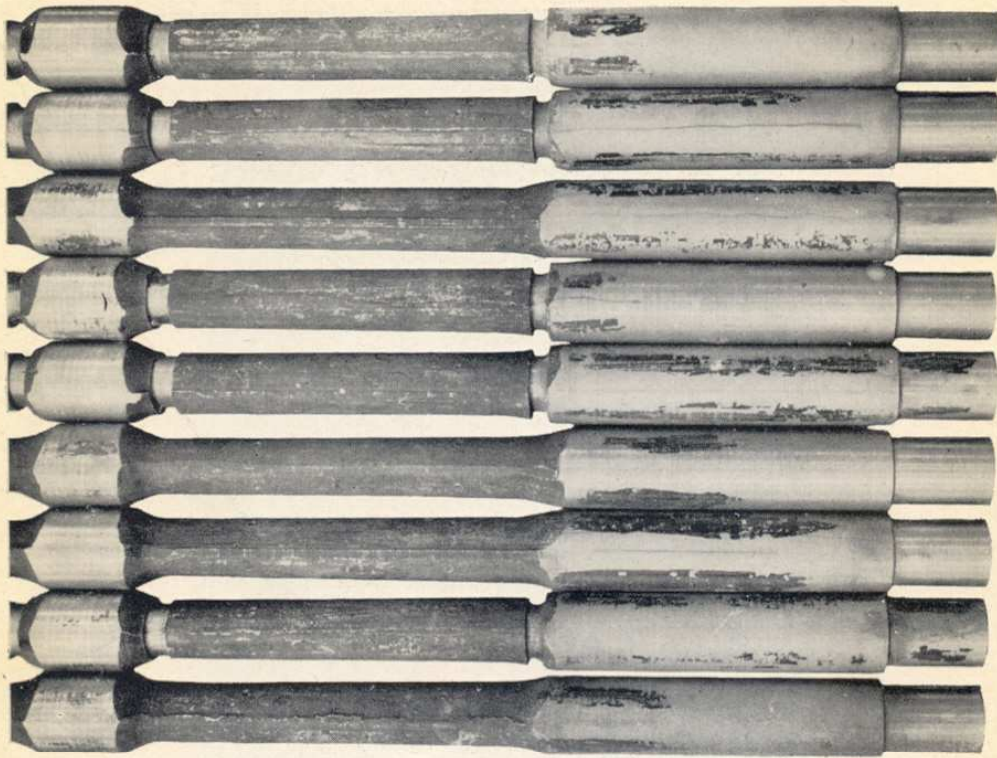


Fig. 8 — Altro esempio di spaccature di tempra.

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

Le spaccature di tempra sono invece sempre larghe, profonde, diritte, poco numerose, in evidente relazione con la forma dei pezzi e la distribuzione delle tensioni, cioè lungo le generatrici dei pezzi cilindrici, lungo le bavature, lungo gli spigoli vivi, attraverso i fori, ecc. (figg. 7 e 8).

Meno facile è distinguere le incrinature di rettifica dai cretti che si formano nei pezzi introdotti freddi in forni eccessivamente caldi (mancato preriscaldamento), in quanto entrambe queste spaccature hanno la stessa origine, essendo le une e le altre dovute a tensioni causate da eccessiva differenza di temperatura tra superficie e interno del pezzo.

Le spaccature per mancato preriscaldamento si distinguono tuttavia dalle altre non solo perchè la loro distribuzione è in relazione alla giacitura dei pezzi nel forno, ma specialmente perchè, in genere, i loro bordi sono orlati da un alone decarburato ed ossidato durante la permanenza nel forno (fig. 9).





Fig. 9 — **Incrinature dovute a mancato preriscaldamento.**

I cretti sono localizzati nelle parti che furono esposte all'irradiazione del forno; hanno andamento particolare alla superficie, e sono ossidati e decarburati.

Non sempre le incrinature presenti su di una superficie rettificata sono così pronunciate da essere visibili ad occhio nudo o con una lente di ingrandimento; in tal caso esse devono essere rivelate con altri metodi, il più soddisfacente dei quali è l'esame con polveri magnetiche, sparse sulla superficie del pezzo preventivamente magnetizzato. I bordi della fessura, per effetto del campo magnetico, si polarizzano ed attraggono le particelle che si addensano sulle incrinature mettendole così chiaramente in evidenza. L'apparecchio che applica il procedimento indicato è il *magnetoscopio*.

E' necessario por mente, ad evitare errate interpretazioni dell'esame con polveri magnetiche, che inclusioni non metalliche (per esempio inclusioni di solfo negli acciai automatici) possono, non essendo magnetiche, comportarsi come le fessure e causare l'addensamento delle particelle.

Altro metodo indicato per la rivelazione delle incrinature, è l'*attacco con acido nitrico* a temperatura ambiente; sono stati usati con successo il Nital (5% di  $\text{HNO}_3$  concentrato in alcole metilico o etilico) e la soluzione al 2% di  $\text{HNO}_3$  concentrato in acqua. Non è in genere consigliabile, per la rivelazione di questi difetti, l'uso di acido cloridrico o solforico, perchè questi acidi — oltre ad allargare le incrinature realmente presenti, rendendole così facilmente visibili — sono capaci di originare nuove fessure (le fessure di attacco) se la superficie rettificata ha notevoli tensioni superficiali.

## 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 senz'altro che pezzi rettificati esenti da incrinature siano privi di difetti e possano di conseguenza essere posti in opera senza preoccupazioni; spesso infatti la rettifica mal eseguita produce delle tensioni superficiali notevoli, che sono 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 soggetti in esercizio a sollecitazioni di notevole entità, specialmente se alternate. In tal caso infatti le tensioni di rettifica possono causare delle incrinature, le quali costituiranno inneschi alle rotture per fatica dei pezzi.

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

Nella fig. 10 è riprodotta la fotografia di uno spezzone di nastro, rettificato energicamente in modo da ottenere una freccia di  $\sim 1$  mm.

Per mettere in evidenza il rapporto di causa ed effetto fra tensioni superficiali ed incurvamenti, il nastro della fig. 10 venne rettificato, con le medesime modalità, anche sull'altra faccia. Ne risultarono tensioni uguali ed opposte a quelle prodotte dalla prima rettifica, per cui il nastro ritornò press'a poco piano (fig. 11).

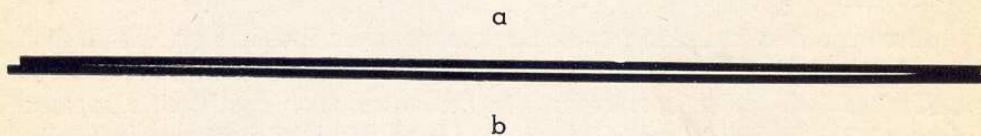


Fig. 10 — Tensioni superficiali prodotte da rettifica non corretta, su di un nastro di acciaio dello spessore di 3 mm. La curvatura del nastro (a) è stata messa in evidenza appoggiandolo su di un regolo piano (b).

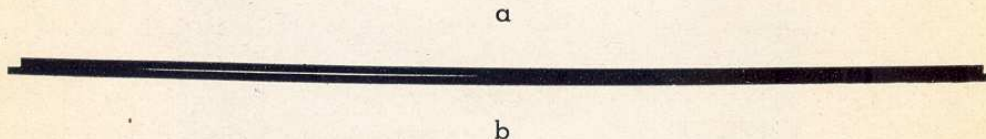


Fig. 11 — Il nastro della figura precedente venne rettificato energicamente sull'altra faccia. Le tensioni opposte a quelle generate dalla prima rettifica eliminarono quasi totalmente la freccia.

La rivelazione delle tensioni superficiali viene effettuata con mezzi che, fragilizzando l'acciaio in superficie, provocano 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, in pratica, buoni risultati è quello costituito da una parte di acido solforico concentrato, in cinque parti d'acqua. Il tempo d'attacco dipende dal tipo di acciaio e, ovviamente, dall'entità delle tensioni superficiali che si vogliono rivelare.

## Le bruciature di rettifica

Questo difetto è caratterizzato da una colorazione 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 in cui si formano. (Vedere le figg. 12 e 13).

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, perchè 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.

La fig. 14, tratta da una pubblicazione di L.P. Tarasov della Norton Company, mostra alcune curve di durezza ottenute su campioni appositamente bruciati con una mola troppo dura.

La profondità di addolcimento aumenta con l'aumentare della profondità di passata, che è data vicino ad ogni curva in millesimi di pollice. Con la maggiore profondità (tre millesimi di pollice) la temperatura superficiale dell'acciaio superò la temperatura di tempra e si formò uno strato di acciaio ritemperato, per una profondità di circa un decimillesimo di pollice, indicato dalla parte tratteggiata della curva.

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.

Anche in questo caso, l'impiego del Nital (al 5 ÷ 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 così severa da ritemperare alcune regioni della superficie, queste appaiono, dopo l'attacco, più chiare.

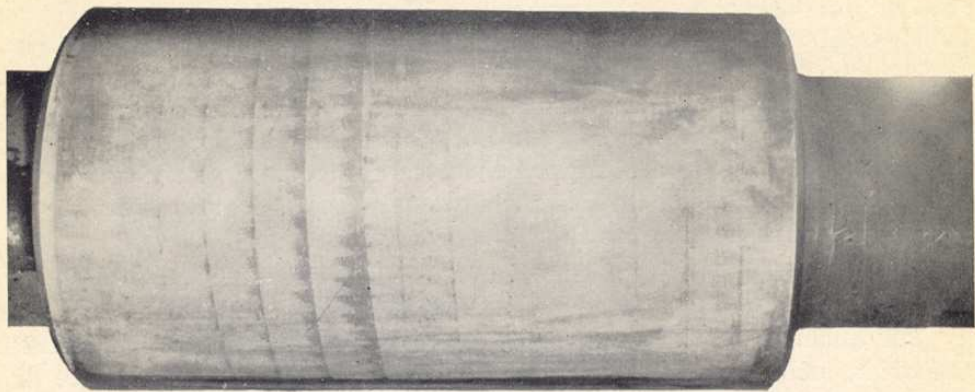


Fig. 12 — Un esempio di fasce di rinvenimento e di martellature della mola.

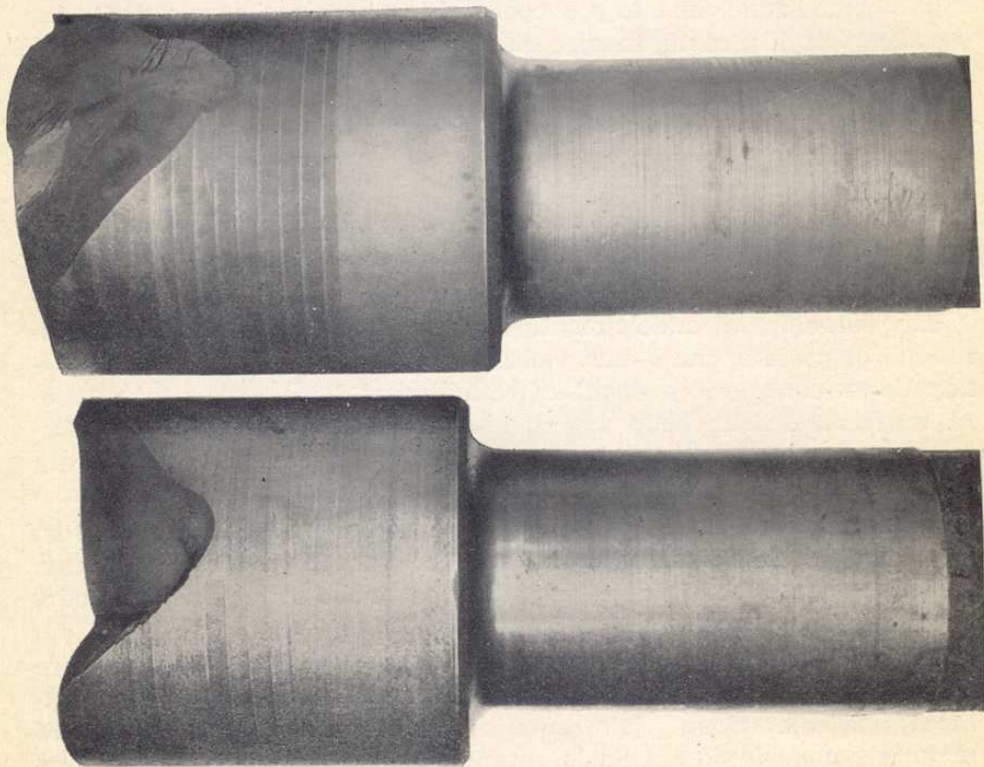


Fig. 13 — Altre fasce di rinvenimento dovute a riscaldamento localizzato.

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

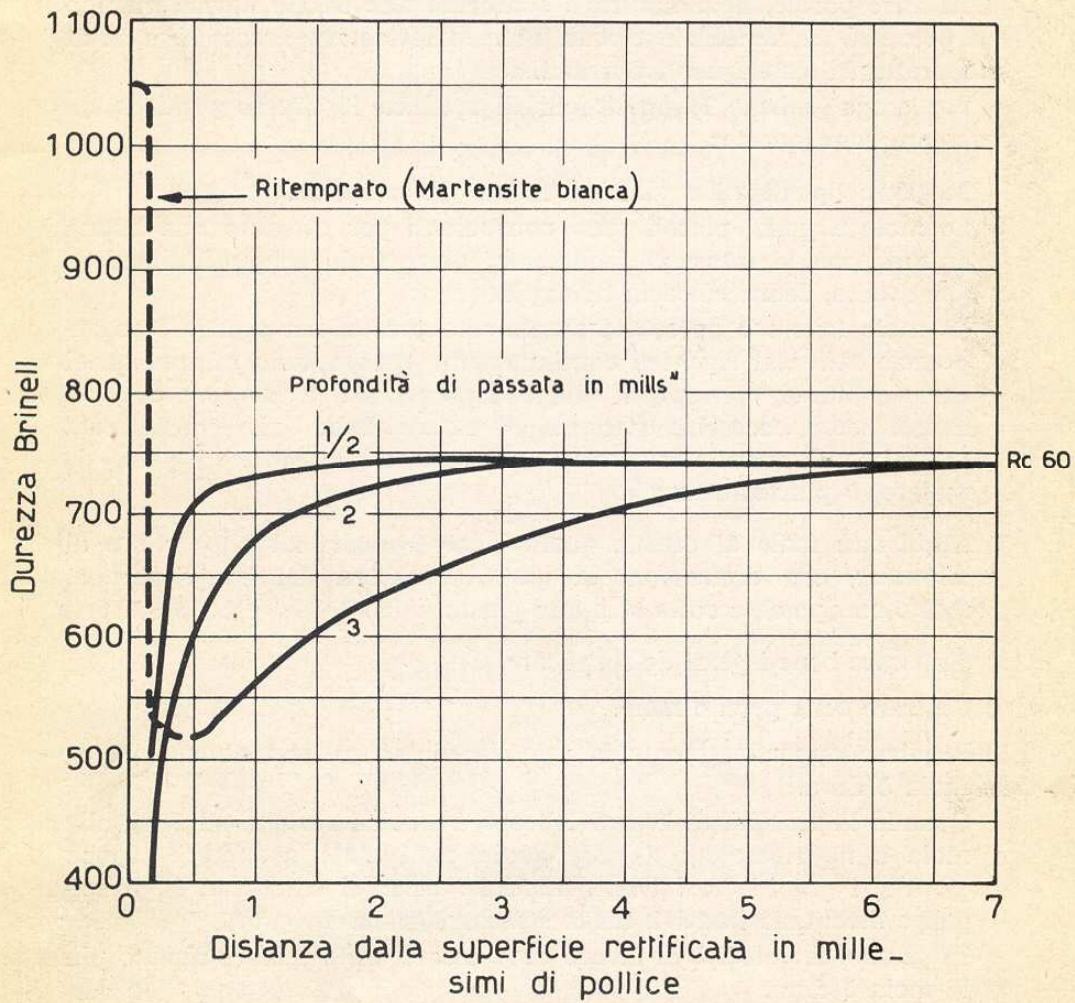


Fig. 14 — Curve di durezza ottenute su campioni appositamente bruciati con una mola troppo dura.  
(Da L. P. Tarasov, della Norton Company).

## Come evitare i difetti di rettifica

La molatura è bene eseguita quando, all'inevitabile sviluppo di calore per il taglio dei trucioli, non si aggiunge altro sviluppo di calore per attrito della mola contro la superficie da molare e quando il raffreddamento è efficace e costante.

In altre parole, la molatura è conforme alle buone norme quando non provoca, tra superficie molata e strato sottostante, eccessivi salti di temperatura e conseguenti tensioni.

Per eseguire bene le operazioni di rettifica le norme pratiche da osservare sono queste:

1) Scegliere tipi di mole adatti al lavoro da compiere.

Le mole a grani piccoli sono convenienti per ottenere una buona finitura, ma si intasano facilmente, diventando sorgenti di calore per attrito, senza efficacia di taglio.

Le mole tenere e porose si consumano presto, ma così la loro superficie attiva si rigenera continuamente presentando sempre grani abrasivi nuovi, con spigoli vivi e taglienti, atti a lavorare efficacemente senza eccessivo sviluppo di calore. Esse sono consigliabili specialmente quando la fascia di contatto, tra la mola e il pezzo da molare, è piuttosto ampia.

2) Acquistare mole di ottima qualità, con abrasivi ad alto tenore di allumina, con dimensioni di grano e natura del conglomerante molto omogenei, e cotte al punto giusto.

3) Sgrassare bene i pezzi da rettificare.

4) Centrare bene pezzi e mola.

5) Regolare opportunamente la velocità di lavoro, specialmente se la mola è dura.

Quando la velocità di lavoro è bassa, i trucioli restano aderenti alla mola e ne riempiono i pori (mola costipata); quando è troppo elevata, i grani abrasivi non mordono bene, si smussano sugli spigoli e diventano inattivi, senza staccarsi (mola levigata).

In genere, la velocità di lavoro deve essere tanto minore quanto più la mola è dura.

6) Premere la mola con pressione moderata e costante, facendo passate rapide e leggere.

Pressioni elevate provocano eccessivo sviluppo di calore e, in breve, rendono la mola liscia e inattiva.

- 7) Rinnovare col diamante la superficie di lavoro, quando è costipata o levigata.
- 8) Possibilmente refrigerare, con getto abbondante e ben diretto, la zona di contatto tra mola e pezzo, ricordando che un raffreddamento irregolare o scarso è peggio di niente, perchè se la superficie di lavoro ha modo di raggiungere temperature elevate, il successivo raffreddamento è pericoloso come una tempra mal eseguita.

Nei casi in cui l'osservanza delle norme ora esposte non fosse sufficiente per evitare la formazione di incrinature di rettifica, l'attenzione dovrà essere rivolta allo stato in cui si trovano i pezzi da rettificare.

Si scoprirà allora che essi sono eccessivamente fragili o perchè cementati male, o perchè energicamente temprati e non rinvenuti o perchè appena usciti da un bagno acido di decapaggio.

## BIBLIOGRAFIA

- R. GIANASSO e C. SAPEGNO - Le incrinature di rettifica, 1946.
- F. RAPATZ - Die Edelstahle - 1934 - pagg. 83, 234, 350 e 371.
- E. HOUDREMONT - Sonderstahlkunde - 1935 - pagg. 68 e 77.
- A. M. STEEVER - Grinding Cracks - Metal Progress - 1935 - pagg. 52, 53 e 68.
- W. DE V. HNUT - The surface grinding of hardened steels  
Heat Treating and Forging - 1939 - pagg. 79, 83, 133 e 138.
- O. PATTERMANN - Werkzeugstahle - 1937 - pagg. 336, 338, 346, 377, 391, 399, 400, 402, 405, 406, 407 e 411.