

Testo della memoria
Rif. To N° 02

Influenza dell'ossidazione intergranulare sul comportamento a fatica di acciai cementati per ingranaggeria al Mn-Cr e Ni-Cr-Mo

E. Morgano - FIAT GROUP CRF Torino

SOMMARIO

I trattamenti termochimici di indurimento superficiale (cementazione / carbonitrurazione) influenzano il comportamento a fatica degli acciai per ingranaggeria, attraverso la microstruttura.

I fattori riguardano il contenuto di austenite residua, i carburi di ferro a bordo grano (cementite) e la presenza di zone ossidate; quest'ultima legata alla presenza indesiderata dell'ossigeno libero nell'atmosfera, all'interno del forno di trattamento.

Il miglioramento e l'ottimizzazione dello stesso ed in particolare dell'atmosfera all'interno del forno, determina una eliminazione di tale ossidazione.

La difettosità si presenta nella forma di un'ossidazione al bordo del grano austenitico; in alcuni casi, a seconda dello spessore, può essere asportata durante la successiva operazione di rettifica. In caso contrario la presenza dell'ossidazione intergranulare determina un rapido danneggiamento dello strato indurito con formazione di pitting iniziale (fatica sub-superficiale) e successiva propagazione con rottura per fatica meccanica alla radice del dente.

ATTIVITA'

1. Obiettivo
2. Tipologia di acciai / Trattamenti termici esaminati
3. Caratteristiche degli strati induriti
4. Parametri ed apparecchiature per prova di fatica
5. Risultati e conclusioni
6. Ringraziamenti

1. OBIETTIVO

L'impiego di motorizzazioni sempre più prestazionali presuppone un miglioramento continuo della resistenza meccanica del cambio di velocità, in termini di innalzamento del limite di fatica dell'ingranagieria.

Tale miglioramento può passare attraverso diverse soluzioni, le quali si possono riassumere:

- Maggiorazione del modulo del dente (in questo caso riprogettazione del cambio)
- Elaborazione di acciai ad elevato contenuto di elementi di lega
- Introduzione dell'operazione di shot peening
- **Miglioramento/ottimizzazione del trattamento termico**

Tale **miglioramento/ottimizzazione** ha come obiettivo quello di evitare la formazione di zone ossidate in prossimità della superficie tale "danneggiamento" deriva dalla presenza indesiderata di ossigeno libero nell'atmosfera all'interno del forno.

Il fenomeno si manifesta nella forma di un'ossidazione a bordo grano della microstruttura dell'acciaio (grano austenitico) e, se il suo spessore non è particolarmente accentuato, durante la successiva operazione di rettifica, laddove è prevista, viene completamente eliminato. In caso contrario la presenza dell'ossidazione intergranulare provoca un rapido danneggiamento dello strato cementato con formazione di pitting distruttivo.

2. TIPOLOGIA DI ACCIAI / TRATTAMENTI TERMICI ESAMINATI

Sono stati investigati gli acciai 19MnCr5 e 17NiCrMo7, con le seguenti variabili:

- Acciaio 19MnCr5 – Cementazione in bassa pressione
- Acciaio 17NiCrMo7 – Cementazione in bassa pressione
- Acciaio 19MnCr5 – Cementazione in atmosfera
- Acciaio 17NiCrMo7 – Cementazione in atmosfera

Tipologia di trattamento termico	Cementazione e diffusione	Tempra	Lavaggio	Distensione finale in forno
Cementazione in bassa pressione	120 min a 940°C	Olio da 850°C	--	120 min a 180°C
Cementazione in atmosfera	160 min a 940°C		10 min	

Fig. 1 – Parametri di trattamento termico.

Per tutte le soluzioni è stata eseguita la tempra in olio ed un distensione finale a 180°C x 2 h; quest'ultima allo scopo di ridurre parzialmente le tensioni indotte dalla drasticità della tempra.

Gli acciai 19MnCr5 e 17NiCrMo7 si possono considerare tra i più rappresentativi acciai da cementazione per impiego sui cambi di velocità. La presenza di elementi leganti garantisce una buona resistenza all'usura e fatica grazie alla elevata temprabilità del Mn-Cr ed una ottima tenacità nelle applicazioni con Ni-Mo.

NICHEL (Ni)

- Migliora la temprabilità
- Aumenta la resistenza meccanica e la tenacità dello strato indurito
- Diminuisce la tendenza al surriscaldamento
- In elevate quantità (max 25 % concorre alla formazione di acciai austenitici inossidabili resistenti al calore

CROMO (Cr)

- Migliora la temprabilità
- Aumenta la resistenza meccanica e la tenacità dello strato indurito
- Aumenta la durezza superficiale dopo Nitrurazione
- Aumenta la resistenza all'usura
- Migliora la resistenza meccanica alle alte temperature
- In acciai con bassa % di C ed alta di Cr determina un notevole aumento della resistenza alla corrosione

MOLIBDENO (Mo)

- Migliora la temprabilità
- Migliora la stabilità al rinvenimento
- Aumenta la resistenza meccanica, la tenacità e la resistenza all'usura.
- Migliora la resistenza allo scorrimento viscoso ed a caldo

MANGANESE (Mn)

- Utilizzato come disossidante (affina il grano)
- Presente nei minerali contenenti il ferro
- Aumenta la temprabilità e la durezza
- Favorisce il surriscaldamento

Fig. 2 – Caratteristiche degli elementi leganti.

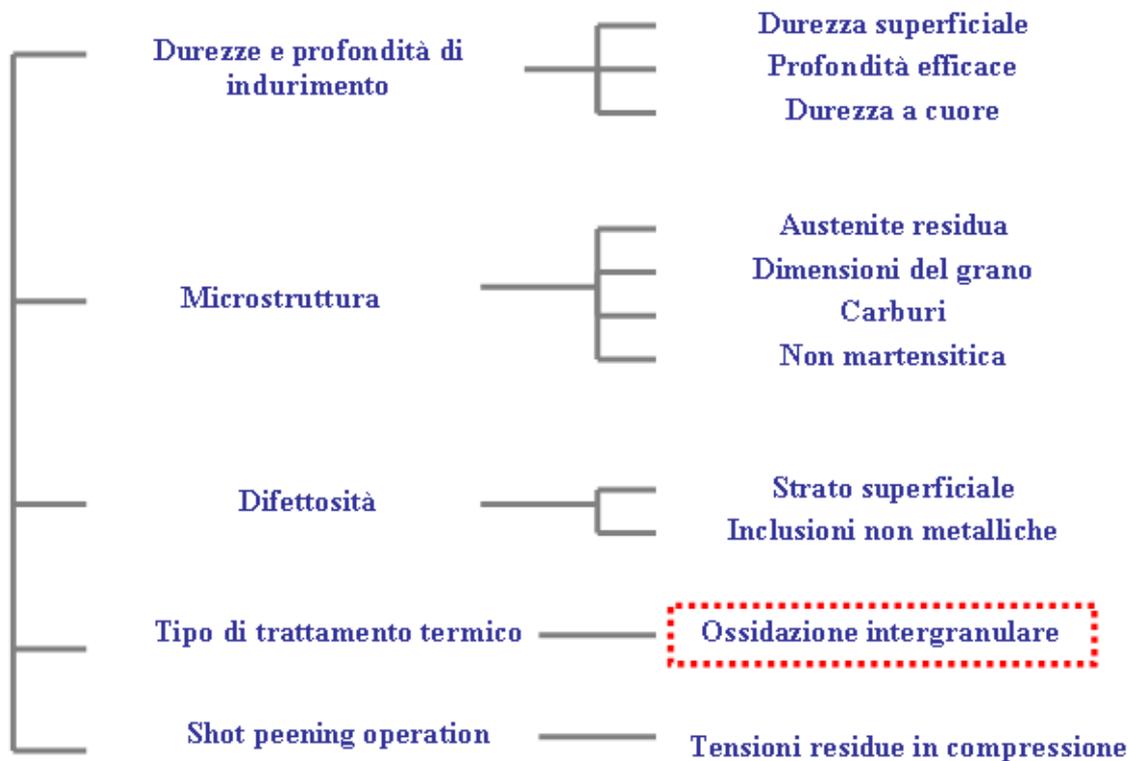


Fig. 3 – Principali fattori che influenzano la resistenza a fatica.

3. CARATTERISTICHE DEGLI STRATI INDURITI

Oggetto di tale indagine è una caratterizzazione metallografica completa mediante microscopio elettronico a scansione, microscopio ottico metallografico, microdurometro Vickers e diffrattometro a raggi X di alcuni campioni (elenco al paragrafo 2) dopo test di flessine a 3 punti realizzati con i due differenti acciai e due differenti trattamenti termochimici di indurimento superficiale.

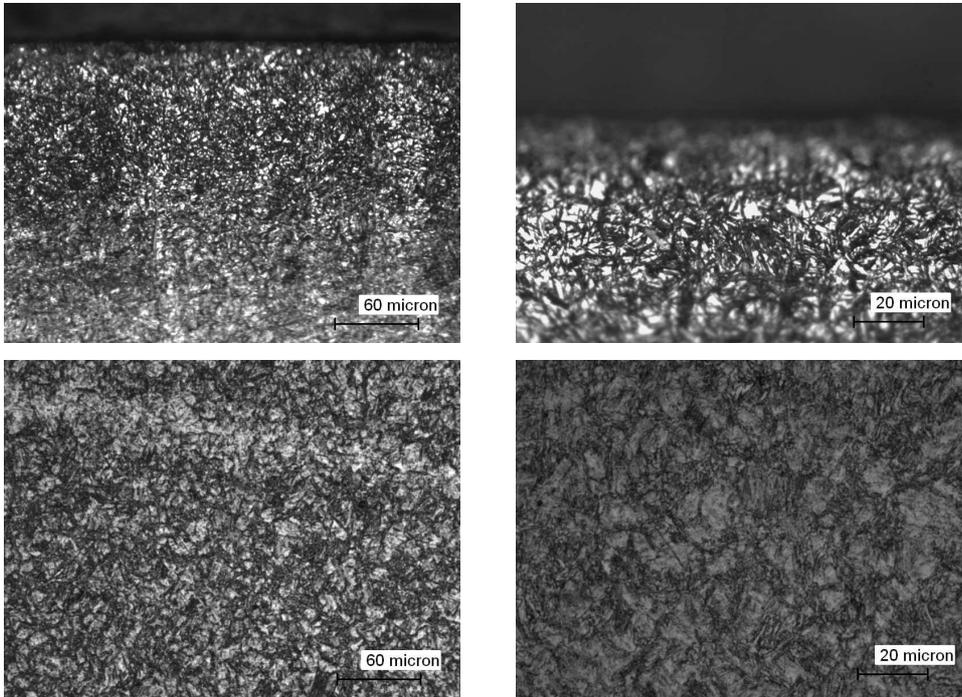


Fig. 4 – Analisi micrografica dello strato indurito per i campioni cementati in atmosfera- endogas. Microstruttura di martensite da tempra e austenite residua in superficie (durezza 62 HRC) e bainite e ferrite a cuore (durezza 35-40 HRC).

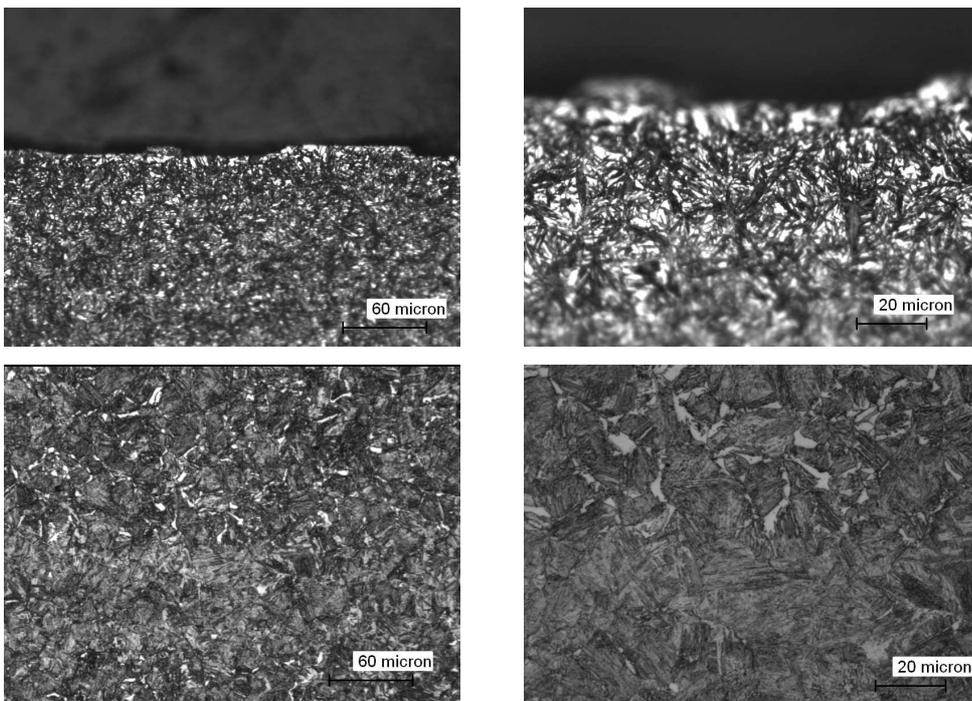


Fig. 5 – Analisi micrografica dello strato indurito per i campioni cementati in bassa pressione. Microstruttura di martensite da tempra e austenite residua in superficie (durezza 62-63 HRC) e bainite e ferrite a cuore (durezza 35-40 HRC)

Dalle analisi sopra (figure 4 e 5) non si osservano differenze di microstruttura per i due differenti trattamenti termochimici di indurimento superficiale.

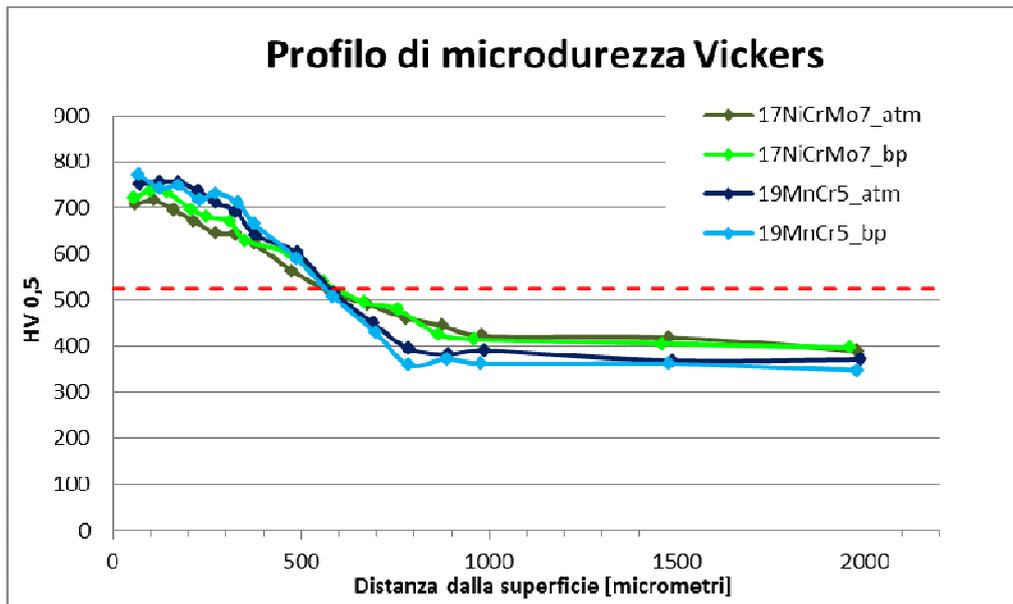


Fig. 6 – Profili di microdurezza Vickers eseguiti sui differenti acciai e tipologie di trattamenti di indurimento superficiale.

Dall'analisi dei profili di microdurezza Vickers eseguiti sulle sezioni metallografiche trasversali in prossimità del raccordo del provino Brugger (figura 6) si osserva che entrambi gli acciai, presentano le stesse durezze superficiali e le stesse profondità efficaci di indurimento (oltre 0,55 mm a 525 HV) per entrambe le tipologie di trattamento termochimico di indurimento.

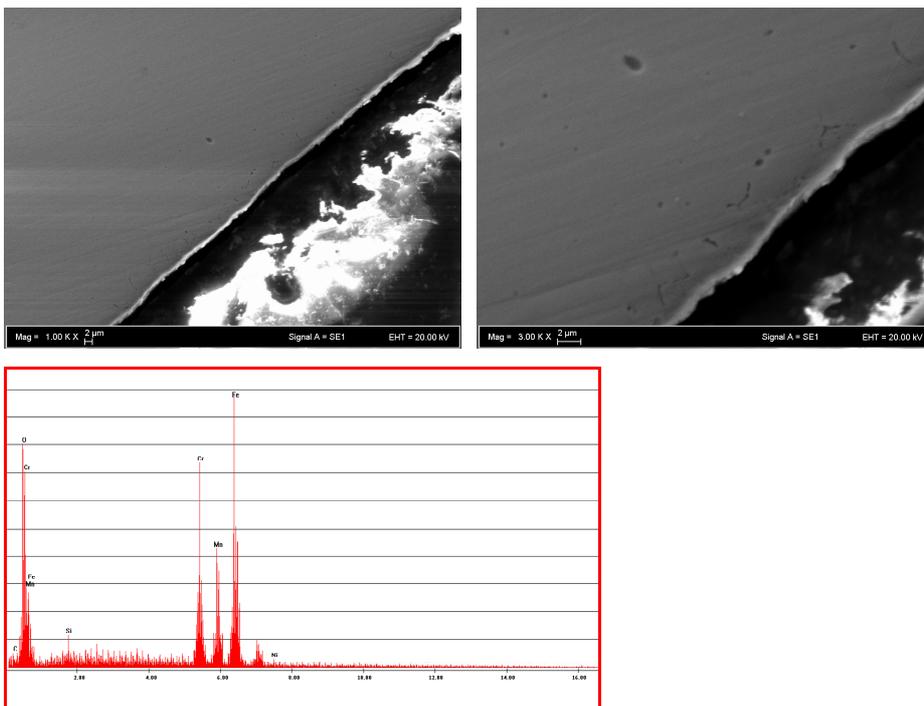


Fig. 7 – micrografia SEM EDS della zona superficiale con ossidazione intergranulare rilevata nell'acciaio 17NiCrMo7 sottoposto al trattamento termochimico di indurimento superficiale mediante cementazione in atmosfera - endogas.

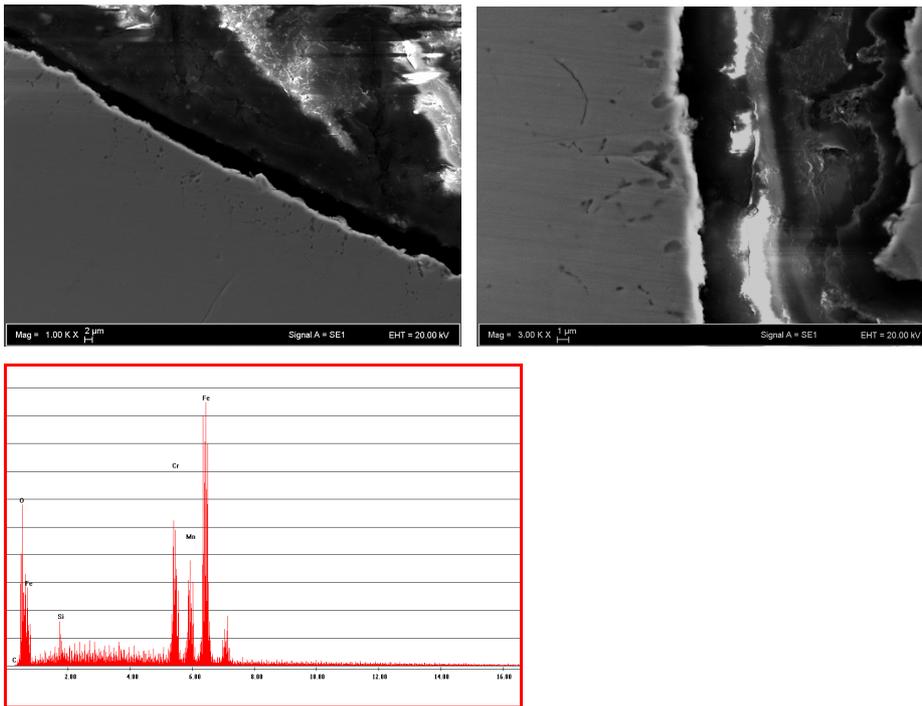


Fig. 8 – micrografia SEM EDS della zona superficiale con ossidazione intergranulare rilevata nell'acciaio 19MnCr5 sottoposto al trattamento termochimico di indurimento superficiale mediante cementazione in atmosfera-endogas.

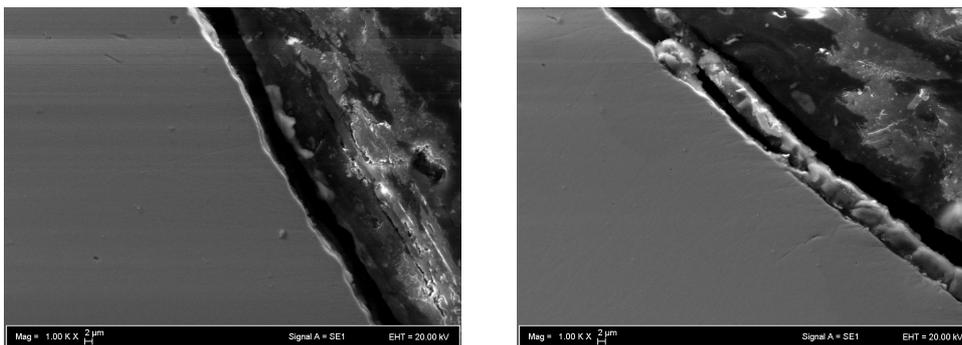


Fig. 9 – micrografia SEM EDS della zona superficiale priva di ossidazione intergranulare degli acciai 17NiCrMo7 (a sinistra) e 19MnCr5 (a destra) sottoposto al trattamento termochimico di indurimento superficiale mediante cementazione in bassa pressione.

Dalle immagini SEM-EDS riportate nelle figure 7 e 8, e per confronto le immagini SEM riportate in figura 9, si osserva che i campioni sottoposto al trattamento termochimico di indurimento superficiale mediante cementazione in atmosfera-endogas presentano il fenomeno di ossidazione intergranulare (a bordo dei grani austenitici) per uno spessore di 5 micrometri circa rispetto a quelli cementati in bassa pressione che non sembrano presentare tale fenomeno.

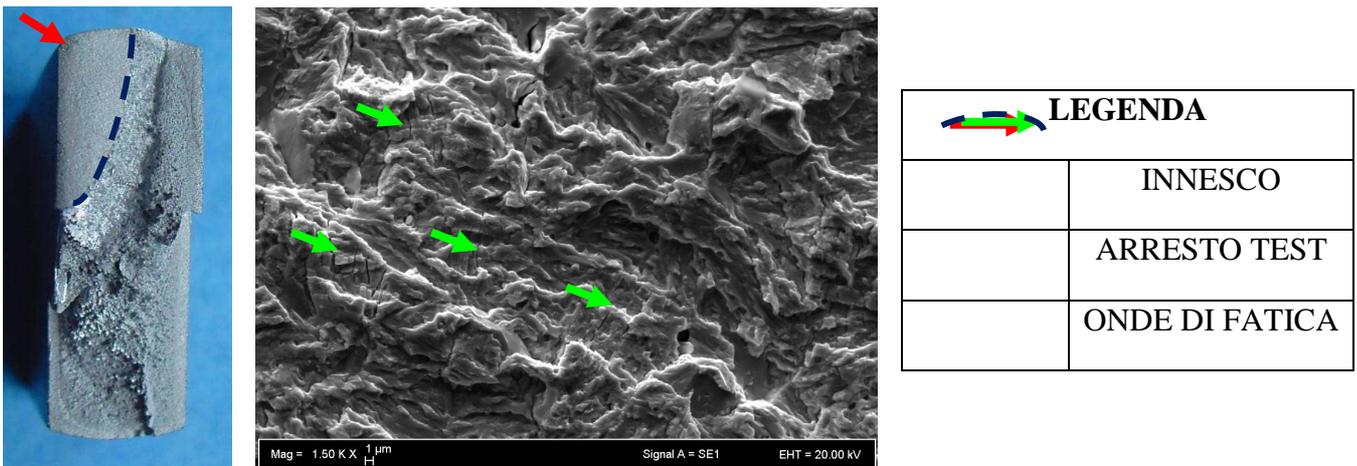


Figura 10 – macrografia digitale e micrografia SEM della superficie di frattura di una campione dopo trattamento termochimico di indurimento superficiale mediante cementazione in atmosfera.

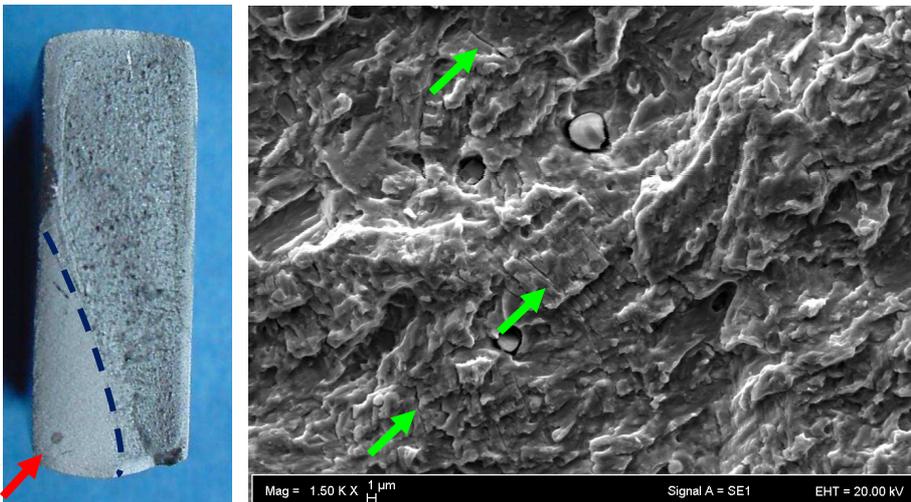


Figura 11 – macrografia digitale e micrografia SEM della superficie di frattura di una campione dopo trattamento termochimico di indurimento superficiale mediante cementazione in bassa pressione.

I campioni ricevuti dal laboratorio metallurgico del Centro Ricerche FIAT non presentavano una rottura completa delle alette del provino: la macchina di fatica infatti interrompe il suo ciclo di carico quando sente una variazione della frequenza dovuta ad esempio all'innescò di una cricca. Pertanto per poter analizzare la superficie di frattura del provino si è dovuto portare a rottura il provino mediante un carico di urto ad alta velocità (martello) effettuato dal lato sottoposto a trazione durante la prova e identificabile per il segno del coltello della macchina di fatica sulla superficie stessa delle alette di ciascun provino.

4. PARAMETRI ED APPARECCHIATURA PER PROVE DI FATICA

La provetta di fatica e l'apparecchiatura utilizzata per i test sono rappresentate nelle figure sotto; il raggio di raccordo riproduce il fondo gola delle dentature degli ingranaggi del cambio.

Si tratta di una prova di flessione a 3 punti eseguita con il vibroforo, sviluppato per prove comparative e non assolute rispetto allo standard attuale.

I parametri di prova sono i seguenti:

- Frequenza di prova 100 MHz
- $R = 0.05$ compressione / trazione sul medesimo lato
- N° cicli 2×10^6
- Acquisizione con metodo stair case (UNI 3964)
- Diagramma di Wohler

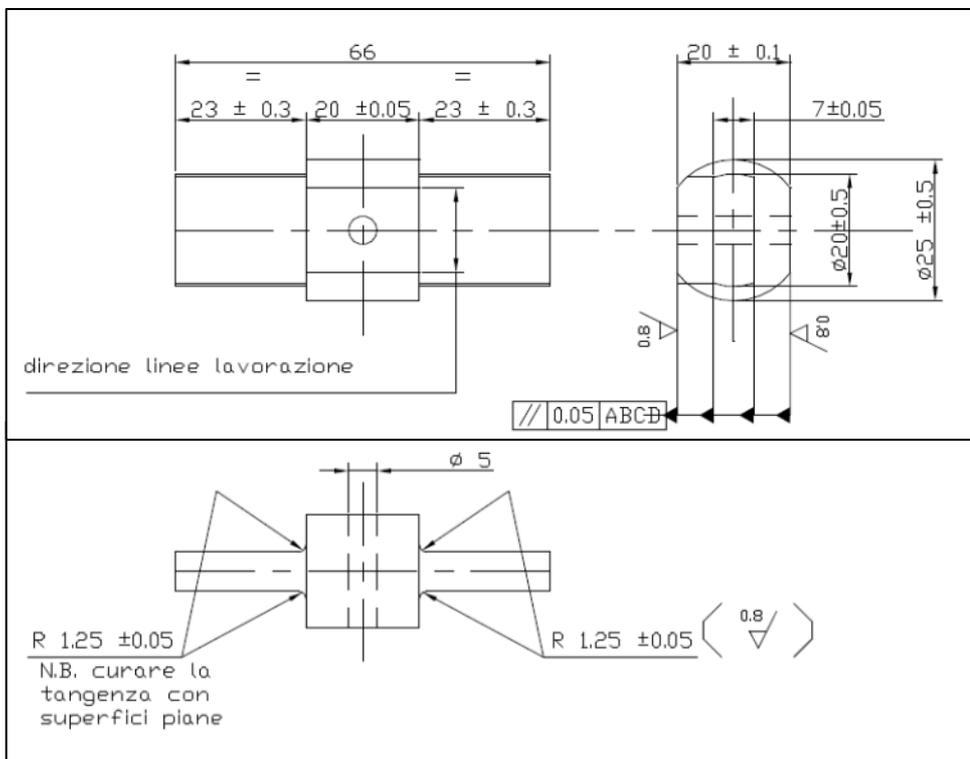


Fig. 12 – Schema della provetta di flessione a 3 punti e dell'apparecchiatura di prova.

5. RISULTATI E CONCLUSIONI

In questo caso, l'incremento del limite di fatica su acciai cementati con assenza di ossidazione intergranulare (cementazione in bassa pressione), è quantificabile in circa in 7-10% (diagramma sotto), rispetto al trattamento di cementazione tradizionale in atmosfera.

Tale miglioramento è legato alla quantità di ossidazione presente, in considerazione della tipologia e dello stato dell'impianto di trattamento termico.

Nel caso in cui tale incremento dovesse non essere sufficiente a rispettare gli standard di delibera previsti, questo tipo di trattamento garantirebbe una miglior ricezione ad una successiva operazione di pallinatura; ciò attraverso un maggior incremento delle tensioni residue in compressione rispetto ad una superficie caratterizzata dalla presenza di ossidazione al bordo del grano.

In conclusione, il successivo step di delibera dell'iter di qualificazione, consiste nella sperimentazione al banco prova e su veicolo del componente finito.

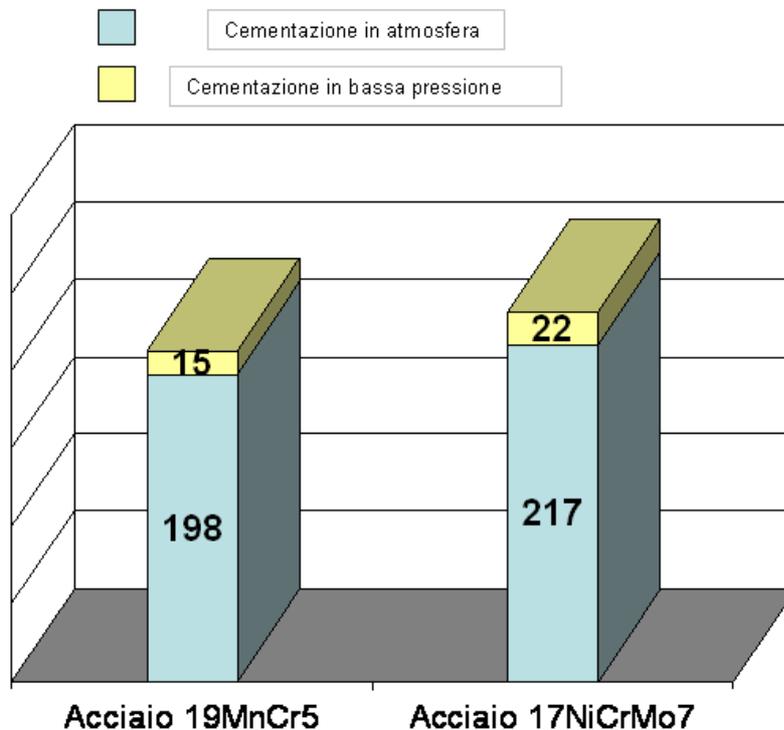


Fig. 13 – Risultati delle prove.

6. RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare:

- **3T TRATTAMENTI TERMICI TORINO RIVOLI (TO) ITALY**
- **SILCO SINALCO RIVALTA DI TORINO (TO) ITALY**
- **T.V.P. TRATTAMENTI NICHELINO (TO) ITALY**