

Resilienza alle basse temperature di diversi acciai cementati e temprati

A. Bavaro, I. Bergonzi, A. Vailati

In letteratura tecnica sono state numerose le pubblicazioni relative al comportamento degli acciai da cementazione alle sollecitazioni per urto, soprattutto con riferimento agli ingranaggi sottoposti a "impact fatigue", a temperatura ambiente (1-2-3-4-5-6) ma praticamente nessuna riferita al comportamento alle basse temperature. Con il presente lavoro si è voluto dare un primo contributo a tale problematica. Quattro acciai da cementazione 20MnCr5 - 17NiCrMo6-4 - 18CrNiMo7-6 UNI EN 10084 e 18NiCrMo14-6 UNI EN 683-17 sono stati utilizzati per verificare la tenacità alle basse temperature (-20 °C e -40 °C) per confronto con quella determinata a temperatura ambiente. La sperimentazione nasce dall'esigenza di conoscere l'acciaio più idoneo per la realizzazione di organi meccanici (ingranaggi, cuscinetti...) destinati ad operare in aree nordiche dove le temperature risultano al di sotto di 0 °C. Il confronto è stato eseguito su saggi cilindrici protetti dalla carburazione, cementati e temprati con cariche e modalità industriali su impianti diversi: forno a camera per i saggi sottoposti ad un ciclo di cementazione di spessore circa 1 mm e forno a pozzo per i saggi sottoposti ad un ciclo di cementazione molto più lungo, di spessore circa 4 mm. I risultati si potrebbero considerare "scontati" conoscendo gli acciai utilizzati, ma in realtà non esistono dati numerici utilizzabili per una scelta responsabile da parte dei progettisti; inoltre l'esame metallurgico dei campioni provati con modalità diverse, riferite allo spegnimento di tempra, portano a rivalutare l'influenza dei parametri del trattamento utilizzato sui risultati riguardanti la tenacità.

Keywords: Trattamenti termici

CARATTERISTICHE DEGLI ACCIAI

Tutti i saggi utilizzati sono stati sottoposti a ricottura isoterma a 950° e trasformazione isoterma a 640 °C.

Composizione chimica

La tabella I riporta la composizione chimica degli acciai utilizzati costituiti da barre laminate allo stato ricotto lavorabile di diametro 50 e 60 mm..

Essi risultano tutti "calmati a grano fine" (Al > 0,020 %) e gli acciai 17NiCrMo6-4 e 18NiCrMo14-6 risultano rifusi con zolfo praticamente assente.

	C %	Mn %	Si %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	Cu %	Al %
20MnCr5	0,165	1,265	0,273	0,011	0,017	1,253	0,042	0,097	0,210	0,025
17NiCrMo6-4	0,159	0,707	0,254	0,005	0,004	0,930	1,184	0,211	0,087	0,021
18CrNiMo7-6	0,190	0,485	0,310	0,004	0,027	1,752	1,468	0,305	0,290	0,029
18NiCrMo14-6	0,164	0,429	0,233	0,005	< 0,002	1,345	3,267	0,224	0,184	0,037

Tab. I - Composizione chimica degli acciai

Chemical composition of steel

Temprabilità

La fig. 1 documenta le curve Jominy degli acciai evidenziando la maggiore temprabilità dei due acciai più legati 18CrNiMo7-6 e 18NiCrMo14-6 (entrambi in H-H) mentre l'acciaio 17NiCrMo6-4 (banda H-L) si pone molto al di sotto dell'acciaio 20MnCr5 anch'esso in banda H-H.

Le singole bande di temprabilità previste dalla norma UNI EN documentano le posizioni rispetto alla propria banda: gli acciai 20MnCr5 - 18CrNiMo7-6 e 18NiCrMo14-6 risultano al massimo mentre l'acciaio 17NiCrMo6-4 al minimo della banda H-H.

Antonio Bavaro

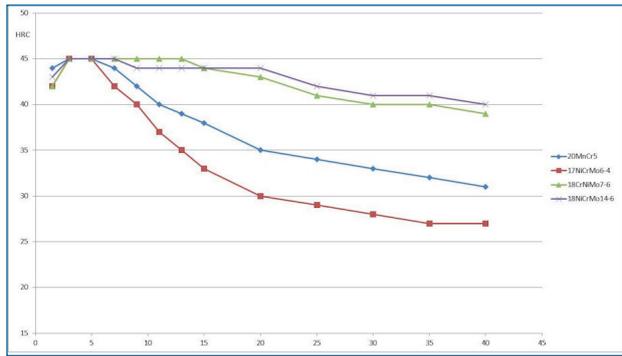
Laboratorio Prove Bavaro - Caravaggio

Ivan Bergonzi

Soliveri T.T. - Caravaggio

Alessandro Vailati

Stagista Università di Bergamo



Jominy hardenability values

	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40
20MnCr5	44	45	45	44	42	40	39	38	35	34	33	32	31
17NiCrMo6-4	42	45	45	42	40	37	35	33	30	29	28	27	27
18CrNiMo7-6	42	45	45	45	45	45	45	44	43	41	40	40	39
18NiCrMo14-6	43	45	45	45	44	44	44	44	44	42	41	41	40

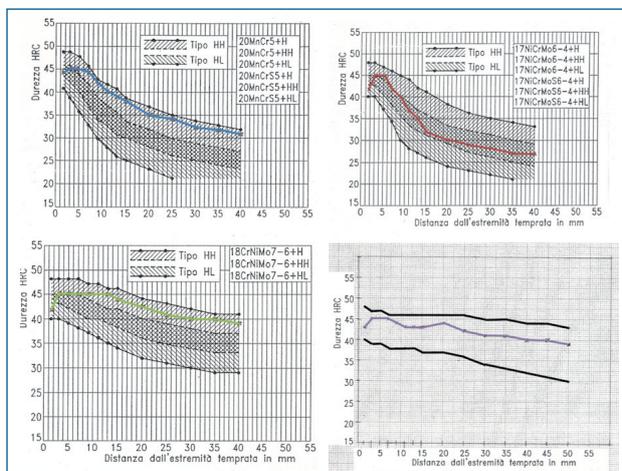


Fig. 1 - Curva di temprabilità Jominy degli acciai utilizzati per le prove

Fig. 1 - Jominy hardenability curves of tested steels

Purezza

Gli acciai utilizzati sono risultati con inclusioni non metalliche di grado inferiore a 3 secondo la norma UNI 3244.80

Grano austenitico

Secondo UNI EN ISO 643 metodo McQuaid Ehn:

20MnCr5: G 8/7

17NiCrMo6-4: G 7/8

18CrNiMo7-6: G 7/8

18NiCrMo14-6: G 7/8

Gli acciai si confermano calmati a grano fino.

Bandosità

Secondo UNI 8449:

20MnCr5: II

17NiCrMo6-4: II

18CrNiMo7-6: III

18NiCrMo14-6: II

I livelli di bandosità rientrano nei normali limiti di accettabilità.

TRATTAMENTI PRELIMINARI

Tutti i saggi sono stati sottoposti a trattamento di ricottura isotermica effettuata a 950 °C con trasformazione isotermica a 640 °C.

I saggi degli acciai 18CrNiMo7-6 e 18NiCrMo14-6 sono stati sottoposti successivamente a ricottura di lavorabilità a 670 °C.

CICLI DI CEMENTAZIONE

Le prove di resilienza sono state eseguite su saggi appartenenti a due cicli di cementazione con due impianti diversi (ciclo breve e ciclo lungo)(contr. prova 1 e prova 2).

Ciclo breve (Prova 1)

Forno: forno a camera con vasca d'olio incorporata.

Atmosfera: metanolo dissociato e azoto (micela 60/40) con metano come gas carburante.

Olio di tempra:

Viscosità a 40 °C: 76 Cst

Punto di infiammabilità: > 228 °C ISO 2592

Temperature: pre-riscaldamento 650°, cementazione a 930° e tempra da 840° in olio a 100 °C.

Tempo totale di trattamento: 9 ore.

Ciclo lungo (Prova 4)

Forno: forno a pozzo

Atmosfera: metanolo dissociato con azoto (60/40) con metano come gas carburante.

Olio di tempra

Viscosità a 40 °C: 16-20 cSt

Punto di infiammabilità > 170 °C

Temperature ciclo: preriscaldamento 650 °C, cementazione 940° (boost-diffusion), tempra da 840 °C in olio a 25 °C circa.

Tempo totale di trattamento: 48 ore.

Entrambe le cariche sono state sottoposte a rinvenimento di distensione a 170°x 2 ore a regime.

RISULTATI

Insieme ai saggi protetti dalla cementazione è stata inserita una coppia di saggi dei diversi acciai non protetti per poter esaminare le caratteristiche metallurgiche degli strati cementati.

Saggi cementati. Durezza superficiale e spessore d'indurimento efficace.

Le durezze superficiali sono risultati comprese tra 59 e 61 HRC.

Gli spessori d'indurimento efficace (HV550) sono risultati (vedere Tab II e Tab III).

Acciaio	mm
20MnCr5	1.02
17NiCrMo6-4	0.92
18CrNiMo7-6	0.98
18NiCrMo14-6	0.86

Tab. II - Spessori d'indurimento efficace su saggi di Prova 1.

Tab. II - Effective case depth for samples - Test 1

Acciaio	mm
20MnCr5	3.49
17NiCrMo6-4	3.51
18CrNiMo7-6	3.66
18NiCrMo14-6	3.345

Tab. III - Spessori d'indurimento efficace su saggi di Prova 4.

Tab. II - Effective case depth for samples - Test 4

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Prove di trazione

Sono state eseguite su saggi trattati secondo ciclo prova 1 e ciclo prova 4 (Tab. IV e V).

Le caratteristiche di resistenza più basse sono risultate quelle dell'acciaio 17NiCrMo6-4 confermando l'influenza della curva Jominy.

Durezza su provette di resilienza prelevate a circa 12,5 mm dalla superficie

Allo scopo di verificare la relazione tra resistenza effettiva delle provette sottoposte a prova Charpy - KV e valori ottenuti di resilienza sono state rilevate le durezze sulle stesse provette (Tab. VI-VII) confermando ancora i bassi valori dell'acciaio 17NiCrMo6-4.

Risultati resilienza

Le tabelle VIII e IX riportano i valori medi delle due terne di provette intagliate a V dei vari acciai trattati con i due cicli di cementazione.

Per il confronto si riportano i grafici di fig. 6 e 7 che illustrano le variazioni di resilienza in funzione dei materiali, dei cicli di cementazione e le temperature di esecuzione della prova.

ancora i bassi valori dell'acciaio 17NiCrMo6-4.

Esami microstrutturali

In figura 2 sono riportate le microstrutture tipiche delle provette di resilienza dei quattro acciai provati.

Gli acciai 17NiCrMo6-4 e 20MnCr5 risultano interessati dalla presenza di bainite superiore.

	Rm Mpa	Rp0.2 Mpa	A %	Z %
20MnCr5	1046,1	692,1	15,4	56,4
17NiCrMo6-4	966,0	639,6	15,8	51,2
18CrNiMo7-6	1156,9	824,6	11,2	51,0
18NiCrMo14-6	1359,8	1233,5	10,0	56,1

Tab IV - Caratteristiche meccaniche su provette prelevate da saggi trattati (Prova n. 1).

Tab. IV - Mechanical properties of test taken from treated coupons (Test 1)

	Rm Mpa	Rp0.2 Mpa	A %	Z %
20MnCr5	1163,0	866,3	11,2	51,4
17NiCrMo6-4	972,5	629,4	15,4	54,0
18CrNiMo7-6	1300,9	1171,4	11,5	44,5
18NiCrMo14-6	1434,7	1332,9	11,1	53,7

Tab. V - Caratteristiche meccaniche su provette prelevate da saggi trattati (Prova n. 4).

Tab. V - Mechanical properties of test taken from treated coupons (Test 4)

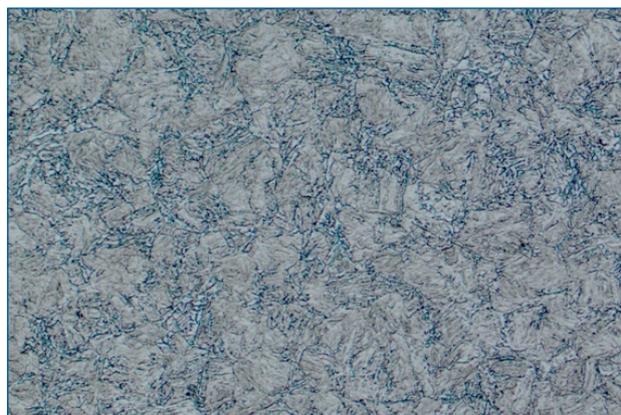


Fig. 2 - Microstruttura dell'acciaio (20MnCr5) della prova 4 (A 4-1)

Fig. 2 - 20MnCr5 Micrographs steel (Test A 4-1)

	AMB HRC	-20 °C HRC	-40 °C HRC
20MnCr5	35,8	36,2	37,7
17NiCrMo6-4	29,9	27,8	30,5
18CrNiMo7-6	39,4	40,2	39,2
18NiCrMo14-6	42,7	42,6	42,8

Tab. VI - Valori medi delle durezze HRC rilevate sulle provette sottoposte a prova di resilienza (Prova n. 1).

Tab. VI - HRC Hardness of impact test samples (Test 1)

	AMB HRC	-20 °C HRC	-40 °C HRC
20MnCr5	38,3	38,7	38,3
17NiCrMo6-4	31,9	29,5	30,0
18CrNiMo7-6	42,3	42,3	43,6
18NiCrMo14-6	43,4	44,1	43,8

Tab. VII - Valori medi delle durezza HRC rilevate sulle provette sottoposte a prova di resilienza (Prova n. 4).

Tab. VII - HRC Hardness of impact test samples (Test 4)

	AMB	J	-20 °C	J	-40 °C	J
20MnCr5	48,3		31,7		27,0	
17NiCrMo6-4	56,7		40,0		28,1	
18CrNiMo7-6	55,3		46,0		37,7	
18NiCrMo14-6	61,7		63,3		57,3	

Tab. VIII - Valori medi di resilienza delle provette sottoposte a prova n. 1

Tab. VIII - Impact test values of samples (Test 1)

	AMB	J	-20 °C	J	-40 °C	J
20MnCr5	37,3		26,7		20,7	
17NiCrMo6-4	51,8		30,0		28,3	
18CrNiMo7-6	44,0		40,3		37,0	
18NiCrMo14-6	46,0		44,3		45,0	

Tab. IX - Valori medi di resilienza delle provette sottoposte a prova n. 4

Tab. IX - Impact test values of samples (Test 4)

CONSIDERAZIONI

In prima approssimazione gli acciai con più nichel risultano più tenaci come l'acciaio più ricco di questo elemento dimostra considerando anche l'elevata resistenza alla trazione (valori di quasi 60J a - 40°C per cicli brevi e 45J per cicli lunghi).

L'acciaio 20MnCr5 dimostra la più bassa tenacità anche se favorita dall'elevata temprabilità della colata utilizzata (resistenza provette dai rilievi HRC KV = 1155-1200 MPa).

L'acciaio 18NiCrMo6-4 (ex 18NiCrMo5) ha mantenuto buoni valori ma è risultato penalizzato dalla bassa temprabilità soprattutto per le provette della carica temprata in olio caldo a causa della formazione di troppa bainite superiore.

Anche l'acciaio 18CrNiMo7-6, secondo per tenacità ha risentito della scarsa drasticità dell'olio di tempra "distanziandosi" di più dall'acciaio 18NiCrMo14-6 con il trattamento "breve".

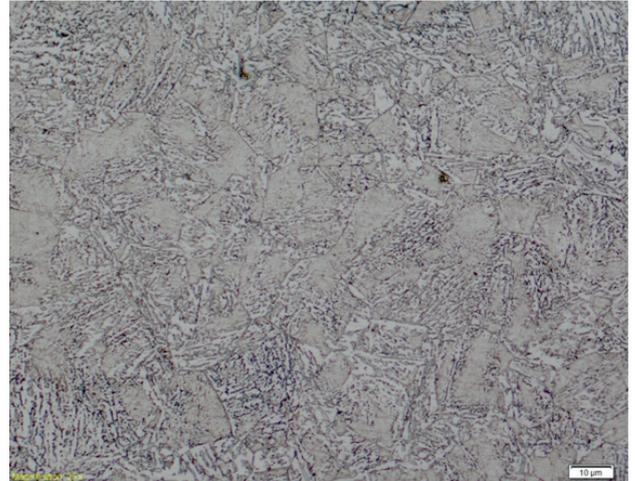


Fig. 3 - Microstruttura dell'acciaio (17NiCrMo6-4) della prova 4 (B 4-1)

Fig. 3 - 17NiCrMo6-4 Micrographs steel (Test B 4-1)

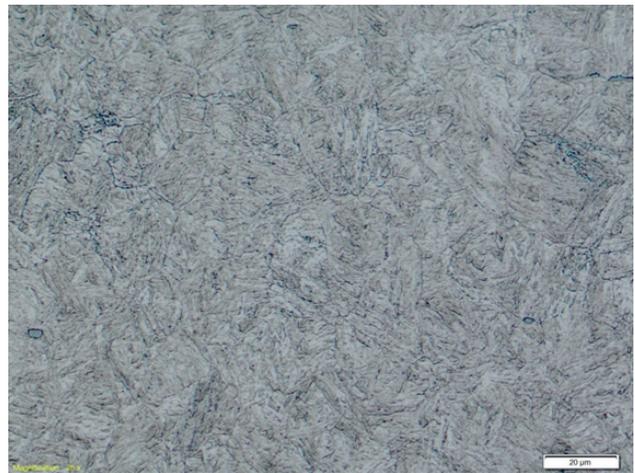


Fig. 4 - Microstruttura dell'acciaio (18CrNiMo7-6) della prova 4 (C 4-1)

Fig. 4 - 18CrNiMo7-6 Micrographs steel (Test C 4-1)



Fig. 5 - Microstruttura dell'acciaio (18NiCrMo14-6) della prova 4 (D 4-1)

Fig. 5 - 18NiCrMo14-6 Micrographs steel (Test D 4-1)

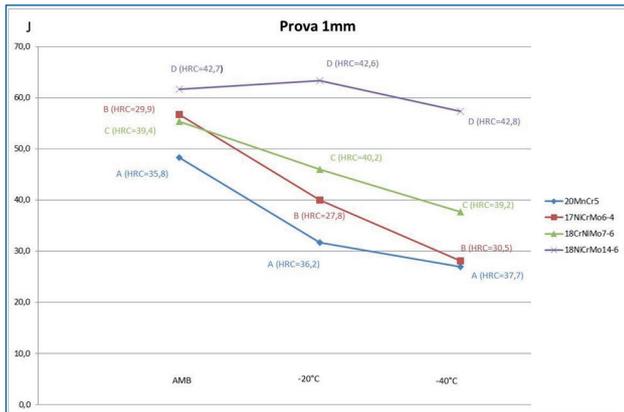


Fig. 6 - Resilienza KV degli acciai provati alle temperature +20° -20° -40° C

Fig. 6 - Notch toughness KV of samples as function steels and temperatures (room - 20° - 40° C) (Test 1)

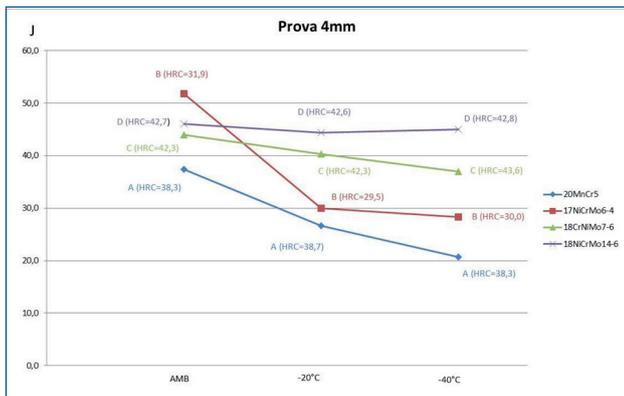


Fig. 7 - Resilienza KV degli acciai provati alle temperature amb, -20° -40° C

Fig. 7 - Notch toughness KV of samples as function steels and temperatures (room -20° -40° C)

In sintesi con riferimento alle influenze sulla tenacità degli acciai da cementazione, secondo la sperimentazione in oggetto:

- 1°: Influenza marcata della presenza di nichel
- 2°: Modalità di tempra (struttura martensitica positiva: bainite superiore negativa) (7)
- 3°: Temprabilità acciaio
- 4°: Permanenza ad alta temperatura (profondità di cementazione)
- 5°: Posizione prelievo provette (variazione durezza provette provate circa max 3HRC)

BIOBLOGRAFIA

- 1] D.E. Diesburg - Hight: "Cycle and impact fatigue Behavior of Carburized Steels" - SAE 1978 - Meeting Mecca-Milwaukee.
- 2] R.J. Johnson "The role of Nickel in Carburizing steels" - International Nickel Co.
- 3] D.E. Diesburg - G.T. Eldis "Fracture Resistance of Various Carburized steels - Metallurgical Transactions a Clymax Mo Company
- 4] G.A. Fett - Bending properties of carburizing steels - Advanced Materials and processes (Metal Progress) 4/88.
- 5] B. Yancey - et, Fracture Resistance in carburizing Steels - Metal Progress - 5/79
- 6] V. Francia - R. Costa- V. Wagner, Effetti sulla carbocementazione e tempo dei principali parametric metallurgici dell'acciaio - La Metallurgia Italiana 12/ 1982.
- 7] Metals Handbook - 9a Ed. pag. 702 "Effect of microstructure on notch toughness"

LOW-TEMPERATURE TOUGHNESS OF VARIOUS TYPES OF CASE-HARDENED AND QUENCHED STEEL

Four types of case hardening steel, 20MnCr5 - 17NiCrMo6-4 - 18NiCrMo7-6 UNI EN 10084 and 18NiCrMo14-6 UNI EN 683-17, were used to test low-temperature toughness (-20° C and -40° C) in relation to ambient-temperature toughness.

The purpose was to identify the best type of steel for the production of mechanical components able to withstand the weather conditions typical of north european countries where wind turbines are used to produce renewable energy. The tests were carried out on cylindrical test pieces measuring 50/60 mm in diameter and 100 mm in length, case hardened with gears, performing normal industrial production cycles at an effective case depth of about 2 and 4 mm.

The tests were carried out on sets of test pieces with "V" notch compliant with UNI EN 10045 and taken from parts with carburizing protection.

In each case, a metallurgical test was carried out on an unprotected part to determine: the surface and core hardness, the gradient of the micro-hardnesses of the quenched, hardened and stress-relieved (with the relative charge); and the micro-structural properties of the hardened layer and core.

A metallurgical test was carried out on at least one piece in each set of toughness test pieces (hardness, microstructure in the area of the notch).

The coupons were all taken from a bar and were subjected to isothermal annealing before machining.

The results of the toughness tests confirmed that nickel plays a significant role in the low-temperature toughness as well as hardenability of the steel, microstructure (bainite is undesirable) and permanence to high temperature decreases when the depth case-hardening increases.

The economical type of steel, 20MnCr5, if well treated, maintains an acceptable degree of toughness (> 27 J) down to -20° C, while the toughness of steel containing a higher percentage of nickel (18NiCrMo14-6) is exceptional even at -40° C.