

Capitolo 10

Categorie e classi degli acciai

E' stata già descritta precedentemente la modalità di designazione degli acciai secondo la normativa UNI. La loro classificazione può seguire numerosi criteri (applicazioni, composizione chimica, microstruttura etc.). Comunque, per i fini pratici, risulta conveniente considerare le applicazioni come criterio per una classificazione. Si possono considerare cinque grandi categorie:

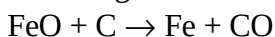
- acciai da costruzione di uso generale;
- acciai speciali da costruzione;
- acciai da utensili;
- acciai per usi particolari;
- acciai inossidabili.

1. Acciai da costruzione di uso generale.

Tali acciai, impiegati principalmente nelle costruzioni civili, sono la categoria sicuramente più importante come tonnellaggio. Sono posti in opera senza trattamento termico, oppure, al massimo, dopo una normalizzazione. Ad essi viene normalmente richiesto solo di possedere un limite di snervamento specifico ed una resistenza specifica alla trazione superiori a determinati valori. Essi possono essere suddivisi in due classi principali:

- acciai effervescenti (ad effervescenza libera oppure ad effervescenza bloccata);
- acciai non effervescenti (semicalmati, calmati, e calmati a grano controllato).

La forte effervescenza degli acciai appartenenti al primo gruppo è legata ad un bassissimo grado di disossidazione ed al conseguente svolgimento della reazione



L'effervescenza di questi acciai è quindi legata alla formazione di microcavità contenenti monossido di carbonio. Ciò implica un bassissimo livello di C nell'acciaio (acciai extradolci) ed elevate caratteristiche di imbutibilità e deformabilità plastica a freddo.

Gli acciai non effervescenti sono ottenuti in modo da non permettere la formazione di monossido di carbonio mediante trattamenti chimici oppure meccanici. Nel caso degli acciai calmati si cerca di evitare gli effetti dannosi dovuti al ritiro ed alla segregazione chimica. Nel caso di aggiunta di Al, V, Ti, Zr si possono ottenere degli acciai calmati a grano fine.

Fra gli acciai da costruzione di uso generale si possono ricordare :

Acciaio	R _m [MPa]	R _s [MPa]	A %	%C max	%P max	%S max	%N max
Fe360B	460-490	235	26	0.19	0.045	0.045	0.009
Fe510C	510-650	355	21	0.20	0.040	0.040	-
Fe690	690-840	380	15	0.61	0.040	0.040	0.010

2. Acciai speciali da costruzione.

Questi acciai devono poter resistere alle sollecitazioni statiche e dinamiche cui vengono sottoposti senza rompersi né deformarsi. Esistono diverse classi di acciai, secondo i loro impieghi. Tali acciai possono essere al C oppure legati , con gli elementi di lega che vengono aggiunti secondo la tabella seguente:

Elemento	%	Azione
C	0.1-0.6	Aumenta la resistenza a trazione; Diminuisce la resilienza;
Mn	< 2	Disossidante durante la fabbricazione dell'acciaio; Aumenta leggermente resistenza a trazione;
Si	0.2-2	Aumenta leggermente R_m ; Aumenta notevolmente R_s/R_m ;
Cr	0.5-3	Migliora resistenza alla trazione; Migliora tenacità;
Ni	0.5-5	Migliora resistenza alla trazione; Migliora tenacità;
Mo	0.2-1	Elimina il problema della fragilità al rinvenimento; Aumenta molto R_m ;
V	0.1-0.2	Aumenta notevolmente R_s ed R_m ; Fa diminuire dimensione del grano (azione disossidante);
Al	0.3-1.0	Aumenta notevolmente la durezza dello strato nitrurato;
B	>0.10	Aumenta la temprabilità;
Pb		Aumenta la lavorabilità alle macchine utensili;
S		Aumenta la lavorabilità alle macchine utensili;

Nel caso degli acciai da costruzione, diverse grandezze quali R_m , R_s , A%, KCU,... ed i punti di transizione A_3 , M_s , M_f , oltre che essere misurati, possono anche essere calcolati mediante delle empiriche o semi-empiriche in base alla loro composizione chimica ed al trattamento termico effettuato (ad esempio, la temperatura di rinvenimento).

Si possono avere le seguenti classi di acciai speciali da costruzione:

- *Acciai da bonifica*: essi subiscono il trattamento di tempra seguito da un rinvenimento effettuato a 600°C. Ciò gli permette di resistere a sforzi sia statici che dinamici (urti e vibrazioni). I vari elementi di lega sono presenti con concentrazioni comprese nei seguenti intervalli:

$0.2 < C < 0.6$;
 $Si < 0.3$
 $Mn < 2$
 $Ni < 5$
 $Cr < 3$
 $Mo < 0.8$
 $V < 0.2$

Le caratteristiche, oltre ad essere influenzate dalla composizione chimica, sono decisamente dipendenti dalle modalità di tempra e dalla temperatura di rinvenimento che, compresa fra 550 e 650°C, può, ad esempio, far diminuire R_s del 25%. Ecco alcuni acciai da bonifica:

Designazione	%C	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo	R_m [MPa]	R_s [MPa]
C35	0.35	0.70	-	-	-	740	470
36CrMn5	0.35	1.00	1.15	-	-	980	685
35CrMo4	0.35	0.75	1.00	-	0.20	1030	735
38NiCrMo3	0.38	0.65	0.85	0.85	0.20	1080	785

- *Acciai da nitrurazione*: elementi chimici caratteristici di questa classe sono Al (<1%) e Cr ($\cong 1.7\%$), che favoriscono la nitrurazione, e Mo, che elimina il problema della fragilità al rinvenimento. Tale problema risulta essere importante per questi acciai, vista la presenza del Cr e la lunga permanenza a temperature intorno ai 500°C. Il C arriva al massimo allo 0.5%.

- *Acciai da cementazione*: sono caratterizzati da un basso tenore di C (<0.2%) e normalmente hanno valori massimali degli elementi di lega pari a:

Mn = 2%

Ni = 5%

Cr = 2%

Mo = 0.5%

Sono qui di seguito riportati alcuni acciai da cementazione:

Designazione	%C	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo	R _m [MPa]	R _s [MPa]
C15	0.15	0.50	-	-	-	740	440
12NiCr3	0.12	0.45	0.55	0.65	-	740	490
18NiCrMo7	0.18	0.55	0.55	0.65	0.25	1230	980

- *Acciai per molle*: essi sono sottoposti ad un rinvenimento effettuato a temperatura decisamente bassa (max. 450°C), in modo da conservare un elevato valore dello snervamento. Elementi caratteristici sono il C (< 1%), il Mn (< 2%), il Si (<2%):

Designazione	%C	%Mn	%Si	%Cr	R _m [MPa]	R _s [MPa]
C55	0.56	0.75	0.30	-	610	-
C100	1.00	0.50	0.30	-	690	-
60SiCr8	0.60	0.85	1.95	0.35	1575	1250
51CrMoV4	0.51	0.85	0.28	1.05	1505	1180

- *Acciai autotempranti*: tali acciai raggiungono una struttura martensitica dopo semplice normalizzazione, ovvero dopo raffreddamento in aria. La loro temperatura di rinvenimento è intorno ai 200°C e permettono di ottenere R_m molto elevati (anche 2400 MPa) con tenacità ancora soddisfacenti. Gli acciai autotempranti più interessanti sono quelli con C (fra 0.3 e 0.5), Ni (3-6 %) e Cr (1-2%), con un tenore complessivo dei tre elementi almeno pari a 5%. Non si può eccedere comunque con tale valore, in quanto l'eccessivo spostamento verso destra delle curve CCT avrebbe come conseguenza quello di ottenere una struttura martensitica anche dopo ricottura

- *Acciai speciali per cuscinetti a rotolamento*: sono caratterizzati da elevata lavorabilità (allo stato ricotto) e da elevata durezza (dopo tempra). Si tratta di acciai ipereutetoidici che, dopo tempra, vengono rinvenuti fra i 150 ed i 400°C. Eccone alcuni:

Designazione	%C	%Mn	%Cr	%Ni	%Si	%Mo
100Cr6	0.95-1.10	0.25-0.45	1.40-1.60	-	0.15-0.35	-
X105CrMo7	0.95-1.20	<1.00	16-18	<0.50	<1.00	0.35-0.75

- *Acciai per funi*: tali acciai devono avere una elevata resistenza alla trazione, alla torsione, al piegamento ed una elevata tenacità. Ciò viene ottenuto ottimizzando la composizione chimica, il trattamento meccanico (riduzione di sezione, fino al 90%, e

numero di passate durante il processo di trafilatura) ed il trattamento termico (patentamento). Il tenore di C è compreso fra 0.2 e 0.9, con un valore ottimale intorno alla composizione eutettoidica, in quanto la struttura perlitica fine, con basso tenore di inclusioni non metalliche, risulta essere quella ottimale. La limitazione del tenore di inclusioni non metalliche si riflette sul controllo del tenore di S (<0.03%).

- *Acciai maraging*: si tratta di acciai caratterizzati da un elevatissimo rapporto R_s/R_m , con un carico unitario di snervamento che può superare i 2000 MPa, con una durezza di 30 HRC ed una elevata tenacità. Tali acciai hanno un tenore di C estremamente basso (< 0.03%), un reticolo della martensite CCC, e non tetragonale, ottenibile in condizioni isoterme e stabile fino a 500°C, un tenore complessivo degli elementi di lega superiore al 30%. Si tratta fondamentalmente di leghe ferrose di Ni (17-25%), con aggiunte di Mo (3-5%), Co (7-9%), Ti (0.2-0.8%), Al (0.05-0.15%). L'elevato tenore di Ni comporta una forte isteresi nella transizione $\gamma \leftrightarrow \alpha$, anche di 400°C. Il trattamento termico inizia dopo la laminazione o la fucinatura. Si effettua una solubilizzazione a 820°C (per una durata di 1 ora ogni 25 cm di spessore), in modo da ottenere una struttura completamente austenitica, seguita da un raffreddamento in aria fino a temperatura ambiente. Si effettua quindi la lavorazione meccanica, seguita dal trattamento di "martensite aging", che consiste nella permanenza per 3-6 ore a 480°C, in modo da ottenere la precipitazione di composti intermetallici.

3. Acciai per utensili.

Questi acciai sono utilizzati nella fabbricazione di utensili destinati sia alla formatura di altri materiali (con o senza asportazione di materia) sia alla presa ed alla misurazione degli oggetti.

Le proprietà necessarie per la posa in opera degli acciai da utensili sono:

- buona temprabilità, al fine di ottenere delle durezza elevate ed omogenee su grossi spessori, senza eccessive deformazioni;

- una conveniente resistenza al surriscaldamento, all'ingrossamento del grano ed al surriscaldamento;

- buona lavorabilità e buona attitudine alla rettifica.

Le proprietà generalmente richieste sono:

- durezza molto elevata;

- resistenza all'usura;

- tenacità elevata, in modo da poter sopportare sollecitazioni elevate senza incorrere nella rottura fragile; tale caratteristica è spesso completata da una buona resistenza alle sollecitazioni cicliche (fatica).

Per ciò che riguarda la composizione chimica, si ricorre normalmente a degli acciai ad elevato contenuto di C (molto spesso > 0.6%) associato ad elementi carburigeni come il W, Mo, V, Cr, Co ed ad altri elementi come Mn e Si.

Tali aggiunte vengono effettuate con le seguenti finalità:

- l'elevato tenore in C permette di ottenere dopo tempra un eccesso di carburi non disciolti durante l'austenitizzazione, caratterizzati da elevata durezza e da un elevato potere abrasivo;

- la presenza di elementi carburigeni permette inoltre una diminuzione della suscettibilità all'ingrossamento del grano austenitico e la precipitazione di carburi legati a 500-600°C (fenomeno dell'indurimento secondario);

• gli elementi di lega, con l'eccezione del Co, aumentano la temprabilità, ma, diminuendo M_s , aumentano il tenore di austenite residua; la presenza di A_{res} pone spesso dei problemi nei trattamenti degli acciai da utensili (durezza troppo bassa, deformazione per trasformazione martensitica da incrudimento, azione nefasta sull'usura per decoesione).

3.1. Strutture.

Allo stato ricotto questi acciai raggiungono una struttura ed un livello di addolcimento che permettono la lavorazione ed una formatura più facili. Inoltre la struttura post ricottura porta il metallo in uno stato appropriato per i successivi trattamenti termici.

Il trattamento termico più utilizzato per questo scopo sarà la ricottura completa, che comporta un riscaldamento al di sopra di A_{c3} per un tempo sufficiente, seguito da un raffreddamento molto lento che assicura la decomposizione di γ in ferrite e cementite globulare. Il raffreddamento può essere accelerato verso la fine della trasformazione.

Per l'impiego, gli acciai da utensili vengono sottoposti ad altri trattamenti termici. I processi di trasformazione legati ai trattamenti termici effettuati sono i seguenti:

- l'austenitizzazione mette in soluzione una parte dei carburi;
- l'operazione di tempra di può effettuare mediante raffreddamento continuo oppure mediante tempra scalare;
- il rinvenimento può essere sia un rinvenimento di distensione (verso i 200°C), sia un rinvenimento verso i 500°C, nel caso il tasso di austenite residua sia troppo elevato; questa temperatura corrisponde al massimo di indurimento secondario ed è spesso necessario un doppio oppure un triplo rinvenimento per eliminare completamente l'austenite residua e la martensite secondaria che può formarsi;
- un trattamento criogenico (da -60°C fino a -100°C) seguito da un rinvenimento di distensione a 200°C per eliminare completamente l'austenite residua, nel caso degli utensili ad elevata durezza.

3.2. Classificazione.

La classificazione degli acciai da utensili considera la temperatura di impiego massimo:

- Acciai per lavorazione a freddo ($T < 150^\circ\text{C}$). Tali acciai sono caratterizzati da una elevata durezza a freddo ($> 55\text{HRC}$) ma da una bassa durezza a caldo. In funzione della loro composizione, si possono distinguere gli acciai per utensili al C e gli acciai legati per lavorazione a freddo.

Designazione	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%Ni	%V	%W
45WCrV8KU	0.45	0.95	0.30	1.05	-	-	0.20	2.00
7CrNiMo8KU	<0.10	0.25	0.35	1.95	0.20	0,50	-	-
C140KU	1.40	<0.30	0.35	-	-	-	-	-

- Acciai per lavorazione a caldo ($T > 300^\circ\text{C}$). La loro durezza a temperatura ambiente è compresa fra 40 e 55 HRC e resta ad un buon livello a caldo, grazie alla precipitazione di carburi in forma finemente dispersa.

Designazione	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%Ni	%V	%W	%Co
55NiCrMoV7KU	0.55	0.25	0.80	0.78	0.40	1.75	0.15	-	-

30CrMoCoV 12 30 12 KU	0.30	0.25	0.45	3.00	3.00	-	0.90	-	3.00
X30WCrV 9 3 KU	0.30	0.25	0.30	2.85	-	-	0.40	8.80	-

• Acciai rapidi: essi sono caratterizzati da una durezza molto elevata alla temperatura ambiente (>60HRC) e da una ottima durezza a caldo.

Designazione	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%V	%W	%Co
X78WV18 1 KU	0.78	<0.50	<0.40	4.00	<1.00	1.05	18.00	<1.00
X82MoWV8 1 1 KU	0.82	<0.50	<0.40	4.00	8.50	1.15	1.70	<1.00
X127CoWMoV10 10 4 3 KU	1.28	<0.50	<0.40	4.00	3.55	3.25	9.75	10.00

3.3. Gli acciai rapidi.

Il mantenimento di una elevata durezza e di una buona tenacità a caldo è ottenuta mediante l'aggiunta importante di elementi carburigeni (W, Mo, V) associati al Cr (miglioramento della temprabilità) ed, eventualmente, al Co. Quest'ultimo elemento ritarda il sovrainvecchiamento dell'acciaio per temperature superiori a quelle dell'indurimento secondario.

I differenti elementi di lega si comportano praticamente allo stesso modo e si può definire un tenore equivalente in W che permette una rapida classificazione:

$$W_{eq} = \%W + 2 \%Mo + 4 \%V + 0.5 \%Cr$$

La sostituzione del Mo è frequente per ragioni economiche. Inoltre, dato che il coefficiente di diffusione del Mo nell'acciaio è circa 4 volte il coefficiente di diffusione del W, il Mo segrega meno del W. La duttilità è migliore e la messa in soluzione dei carburi di Mo è più facile. Sfortunatamente la presenza del Mo aumenta la sensibilità alla decarburazione.

Questi acciai sono generalmente ledeburitici. La presenza di elevati tenori di W, Mo, V, sposta la linea dell'orizzontale eutettica. Grazie a ciò la solubilità del C nell'austenite diviene inferiore al tenore in C dell'acciaio e la trasformazione eutettica può in parte avvenire. Allo stato grezzo di colata questi acciai contengono un reticolo di grossolani carburi ledeburitici. Questi carburi sono ripartiti in modo praticamente omogeneo nella matrice.

3.3.1. Trattamenti termici.

L'austenitizzazione viene preceduta da un pre-riscaldamento in uno o due stadi, allo scopo di diminuire le sollecitazioni dovute alla trasformazione $\alpha \rightarrow \gamma$, a causa della bassa conducibilità termica.

L'austenitizzazione si deve effettuare alla temperatura più elevata possibile, allo scopo di solubilizzare nella austenite la quantità maggiore possibile di elementi. Dopo la tempra la struttura sarà composta da martensite, austenite residua e carburi.

Il rinvenimento, effettuato a 550°C, comporta un indurimento secondario dovuto alla precipitazione di carburi estremamente fini che difficilmente coalescono nella fase γ e nella martensite rinvenuta. Si deve notare questo intervallo di temperatura di rinvenimento corrisponde anche ad una elevata stabilità dell'austenite. Inoltre, l'austenite, impoverita in C ed in elementi di lega, ha un punto M_s più elevato che nella prima austenitizzazione e, durante l'ulteriore raffreddamento, si trasforma, a volte

parzialmente a volte completamente, in martensite secondaria. Un secondo rinvenimento, anche un terzo, sono necessari per eliminare interamente l'austenite residua ed ottenere il massimo indurimento.

3.3.2. Trattamenti superficiali.

Per aumentare le proprietà della superficie degli utensili (resistenza all'usura ed alla fatica) si possono effettuare diversi trattamenti superficiali: nitrurazione, cromizzazione, borurazione, rivestimenti a base di carburi, nitruri o boruri. I problemi che si pongono sono essenzialmente legati alla fragilità degli strati superficiali ed alla modalità del trattamento, allo scopo di evitare delle deformazioni troppo elevate.

4. Acciai per usi particolari.

- *Acciai per impieghi a bassa temperatura*: si deve ricordare che gli acciai con struttura CFC non sono soggetti alla fragilità a bassa temperatura, non presentando la temperatura di transizione. Invece, gli acciai con struttura CCC presentano un intervallo di temperatura di transizione al di sotto del quale il loro comportamento è fragile. La scelta della classe di acciai da impiegare dipende dalla temperatura di utilizzo. Si possono utilizzare:

- fino a 0°C Acciai al carbonio effervescenti e semicalmati;
- fino a -20°C Acciai al carbonio calmati;
- fino a -45°C Acciai al Mn ($\cong 1\%$) calmati e normalizzati;
- fino a -80°C Acciaio 1.5% Ni normalizzato;
- fino a -103°C Acciaio 3.5% Ni normalizzato e rinvenuto a 620°C;
- fino a -196°C Acciaio 9% Ni sia bonificato che normalizzato e rinvenuto;
- fino a -269°C Acciai inossidabili austenitici.

- *Acciai per impieghi ad elevata temperatura*: questi acciai devono resistere sia allo scorrimento viscoso che alla corrosione ed all'ossidazione a caldo. Si possono utilizzare:

- fino a 450°C Acciai al C (%C<0.2, %Mn<1.6, 0.15<%Si<0.5,%S e %P<0.04);
Acciaio con C (0.16%) e Mo (0.5%)
- fino a 520°C Acciaio con Cr (1%) e Mo (0.5%);
- fino a 600°C Acciaio con Cr (2.25%) e Mo (1%);
- fino a 1100°C Acciai inossidabili ferritici (AISI 446).

- *Acciaio al 13% di manganese*: tale acciaio è un austenitico al Mn, detto anche acciaio Hadfield ed è caratterizzato da una elevatissima capacità incrudimento che gli permette di resistere ad una contemporanea azione esterna di costipazione ed usura, conservando nel cuore una elevata tenacità. Gli elementi di lega sono:

$$C = 1.1 \div 1.4\%$$

$$Mn = 11 \div 14\%$$

$$Si < 0.7\%$$

Esso viene austenitizzato a 1050°C, in modo da solubilizzare tutti i carburi eventualmente precipitati, e quindi raffreddato in acqua.