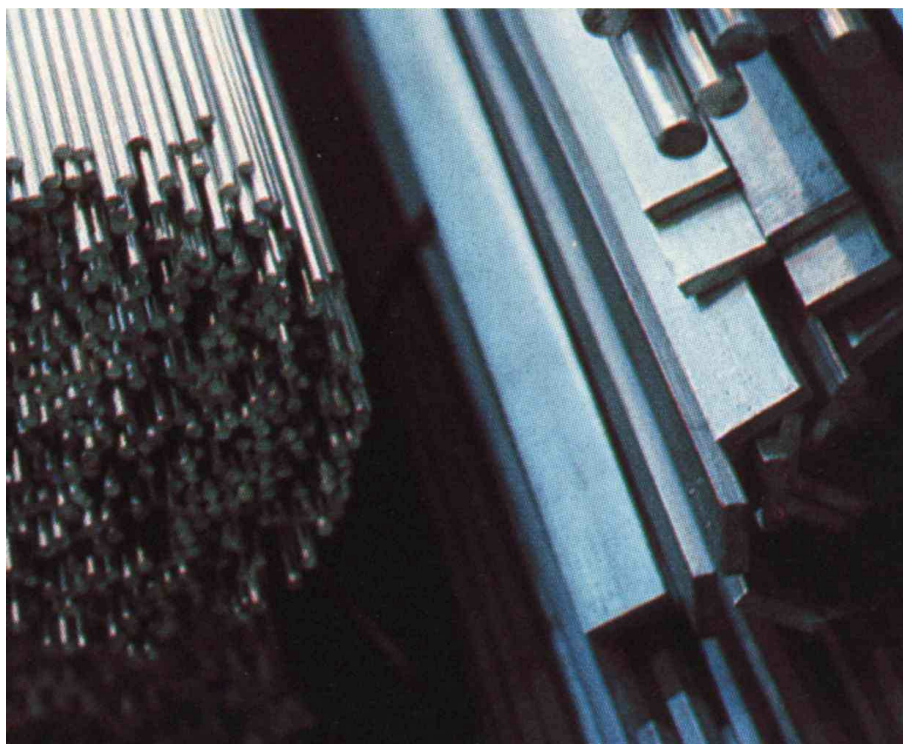


Armco 17-4 PH (barre e fili UNS S17400)

Acciaio inossidabile indurente per precipitazione



Applicazioni tipiche

L'unicità della combinazione di tenacità, durezza, resistenza alla corrosione, facilità ai trattamenti termici fanno del 17-4 PH il "cavallo da soma" degli acciai indurenti per precipitazione.

Trova largo impiego nell'industria aerospaziale, chimica, petrolchimica, alimentare, della carta e delle costruzioni metalliche in generale per la costruzione di componenti e particolari fra cui parti di pompe e valvole, celle di carico, sistemi di misura e di pressione, componenti di winches e di organi di trasmissione marini.

Acciaio Inossidabile Armco 17-4 PH

La società, oggi AK Steel Srl, fu fondata nel 1935 a Genova come ARMCO SpA.

Nell'autunno del 1999 la nostra casa madre ARMCO Inc. è confluita nella AK Steel di Middletown, Ohio, uno dei produttori leader negli USA di prodotti siderurgici destinati all'industria automobilistica, degli elettrodomestici e dell'industria meccanica.

Di conseguenza la ARMCO SMM Srl ha mutato ragione sociale in AK Steel Srl nel marzo 2000.

Negli Stati Uniti AK Steel Corporation è oggi l'azienda leader per i lamierini magnetici nonché per le lamiere inox al cromo - anche alluminate - in particolare per il settore linee di scarico degli autoveicoli.

Le informazioni e i dati contenuti in questa pubblicazione sono aggiornati ma devono essere considerati soltanto come informazione generale. Le applicazioni suggerite per il materiale sono descritte solo per orientare il lettore nelle proprie valutazioni e decisioni e non costituiscono garanzia espressa od implicita sull'uso del materiale per queste od altre applicazioni.

I valori delle caratteristiche meccaniche e delle analisi chimiche sono il risultato di prove effettuate su provini ricavati da posizioni specifiche in accordo con le procedure prescritte. Ogni corrispondenza è quindi limitata ai valori ottenuti in quelle posizioni e secondo quelle procedure.

Informazioni Generali

Il 17-4 PH Armco è un acciaio inossidabile indurente per precipitazione che viene largamente impiegato in molti settori industriali. L'utile combinazione di elevata resistenza e durezza, buona resistenza alla corrosione e facilità ai trattamenti termici rende questo acciaio un materiale importante per progettisti ed ingegneri.

I metodi per la lavorazione del 17-4 PH Armco sono in molti casi gli stessi adottati per i gradi di acciaio inossidabile più comuni. Il materiale ha un'ottima saldabilità, può essere forgiato o utilizzato per getti (anche se la Armco non produce getti) e lavorato alla macchina utensile con facilità. Il trattamento normale di indurimento richiede temperature limitate al campo compreso tra 482°C e 621°C con raffreddamento in aria, ciò che elimina in pratica deformazioni e sfogliature. Altre caratteristiche sono l'elevata resistenza alla propagazione delle cricche, le buone proprietà meccaniche trasversali e la resistenza a tenso-corrosione in ambiente marino.

Data la sua lavorabilità, in molti casi il 17-4 PH Armco può vantaggiosamente sostituire anche acciai al carbonio basso-legati.

Composizione

	%
Carbonio	0,07 max
Manganese	1,00 max
Fosforo	0,04 max
Zolfo	0,03 max
Silicio	1,00 max
Cromo	15,00 – 17,50
Nichel	3,00 – 5,00
Rame	3,00 – 5,00
Columbio + Tantalio	0,15 – 0,45

Forme Disponibili

Il 17-4 PH Armco può essere fornito sotto forma di billette, lamiere, lamierini, nastri, vergella, barre e filo. Viene normalmente fornito allo stato solubilizzato (Condizione A) pronto per la lavorazione e successivi trattamenti. Su specifica richiesta del cliente può essere fornito già trattato.

Il 17-4 PH Armco è di solito prodotto con fusione in aria. Su richiesta e per applicazioni specifiche può essere fornito come rifuso sotto scoria (ESR) o rifuso sotto vuoto (VAC CE). Il processo di rifusione abbassa il contenuto di gas, riduce e disperde le inclusioni, minimizza le segregazioni durante la solidificazione. La conseguenza è l'ottenimento di migliori caratteristiche meccaniche e di una maggiore purezza. La rifusione sotto vuoto è particolarmente indicata quando sono richieste caratteristiche meccaniche trasversali particolarmente elevate.

Il 17-4 PH Armco fuso in aria soddisfa il controllo magnetoscopico richiesto dalla AMS 2303 (*).

Il 17-4 PH Armco rifuso sotto vuoto soddisfa il controllo magnetoscopico richiesto dalla AMS 2300 (*).

(*) Aerospace Material Specification

Stato di fornitura da acciaieria

1) Condizione A (solubilizzato)

Lavorazioni e trattamento termico a cura dell'utilizzatore. In situazioni critiche di deformazioni a freddo usare la Condizione H1150 o H1150-M.

2) Condizione H1075

Indurito per precipitazione. Lavorabilità pari alla Condizione A.

3) Condizione H1150

Indurito per precipitazione. Maggiore lavorabilità rispetto alla Condizione A. Non richiede ulteriore trattamento termico se non è sottoposto a deformazioni a freddo gravose.

4) Condizione H1150-M

Addolcisce la matrice martensitica procurando maggiore lavorabilità alla macchina utensile.

5) Condizione H1150-D

Trattamento secondo NACE MR-01-75

6) Sovra-invecchiato per forgiatura

Consente il taglio al seghetto di grandi sezioni senza rischio di rottura.

7) Sovra-invecchiato, rivestito di rame e trafilato a freddo per ricalcatura a freddo

Massima plasticità per ricalcatura. Su materiale in questa condizione il trattamento termico non ha efficacia se non è preceduto dalla solubilizzazione.

8) Altre Condizioni

Su richiesta.

Condizione A

Solubilizzato a 1900°F +/- 25 (1038°C +/- 14) per 30 minuti e raffreddamento in aria od olio sotto i 90°F (32°C)

Trattamenti Termici Standard

Partendo dalla Condizione A, il 17-4 PH Armco può essere sottoposto a trattamenti termici a varie temperature per sviluppare un'ampia gamma di proprietà.

I trattamenti standard sono otto, dei quali si danno tempi e temperature nella tabella sottostante.

Il 17-4 PH ha caratteristiche meccaniche superiori e tutti i test eseguiti negli anni hanno dimostrato una eccellente resistenza a tenso-corrosione.

Il materiale in Condizione A si utilizza con successo in numerose applicazioni.

Durezza e caratteristiche meccaniche si riducono sensibilmente in Condizione H1100 e H1150.

Tuttavia, per applicazioni critiche, il 17-4 PH Armco nella condizione di indurito per precipitazione mostra una combinazione di proprietà preferibile rispetto a quella della Condizione A.

Con un trattamento termico alla temperatura massima ammissibile si eliminano in parte le tensioni residue e si migliora la resistenza a tensocorrosione.

Unità di misura

I valori delle varie tabelle sono in sistema metrico o Sistema Internazionale (SI), convertendo le unità di misura normalmente utilizzate in USA, secondo l'American Iron and Steel Institute Metric Practice Guide. Pertanto i valori corrispondenti possono essere lievemente approssimati.

L'unità di forza è il Newton (N).

1 MPa (Megapascal) = 1 MN/m² = 1.000.000 N/m²

1000 pounds/in² (psi) = 1 kip/in² (ksi) = 6,8948 MN/m² = 6,8948 MPa

Condizione	Temperatura +/- 15°F (+/- 9°C)	Tempo (ore)	Raffreddamento
H900	900 F (482 C)	1	In aria
H925	925 F (496 C)	4	In aria
H1025	1025 F (552 C)	4	In aria
H1075	1075 F (579 C)	4	In aria
H1100	1100 F (593 C)	4	In aria
H1150	1150 F (621 C)	4	In aria
H1150-D	1150 F (621 C) seguito da 1150 F (621 C)	4 seguito da 4	In aria
H1150-M	1400 F (760 C) seguito da 1150 F (621 C)	2 seguito da 4	In aria

Caratteristiche meccaniche

Tabella 1 - Caratteristiche meccaniche tipiche in direzione longitudinale

	Condizione							
	H900 **	H925	H1025	H1075	H1100	H1150	H1150-D	H1150-M
Carico di rottura MPa	1379	1310	1172	1138	1034	1000	965	862
Snervamento (0,2 %) MPa	1276 *	1207	1138	1034	931	862	758	586
Allungamento % (sez. 50mm)	14,0	14,0	15,0	16,0	17,0	19,0	20,0	22,0
Strizione %	50,0	54,0	56,0	58,0	58,0	60,0	60,0	68,0
Durezza Brinell	420	409	352	341	332	311	302	277
Durezza Rockwell	C44	C42	C38	C36	C35	C33	C31	C27
Resilienza (Charpy V) J	20	34	47	54	61	68	108	135

* A compressione: 1277

** Qualora sia richiesta una resilienza più elevata, un invecchiamento di 4 ore porta alle seguenti proprietà:

Rottura 1351 - Snervamento 1248 - allungamento 14 - Strizione 52 - Durezza C43 - Resilienza 27

Tabella 2 – Caratteristiche minime in condizioni standard *

	Condizione									
	H900		H925		H1025	H1075	H1100	H1150	H1150-D	H1150-M
	fino a 75 mm incluso	oltre 75 mm fino a 200 mm	fino a 75 mm incluso	oltre 75 mm fino a 200 mm	fino a 200 mm	fino a 200 mm	fino a 200 mm	fino a 200 mm	fino a 200 mm	fino a 200 mm
Carico di rottura MPa	1310	1310	1172	1172	1069	1000	965	931	860	793
Snervamento (0,2 %) MPa	1172	1172	1069	1069	1000	862	793	724	724	517
Allungamento % (sez. 50mm)	10,0	10,0	10,0	10,0	12,0	13,0	14,0	16,0	16,0	18,0
Strizione %	40,0	35,0	44,0	38,0	45,0	45,0	45,0	50,0	50,0	55,0
Durezza Brinell	388/444	388/444	375/438	375/438	331/401	302/375	294/364	277/352	269/311	255/293
Durezza Rockwell	C40/47	C40/47	C38/45	C38/45	C35/42	C32/39	C31/38	C28/37	C26/33	C24/30
Resilienza (Charpy V) J	**	**	8	8	20	27	34	40	40	74

* Valori misurati su provini prelevati a metà raggio (sezione 38,1 mm ed oltre)

** In questa condizione non sono accettabili caratteristiche minime di resilienza

Tabella 3 – Valori massimi di durezza o rottura in Condizione A

Tondi - Esagoni - Quadri				Piatti	
fino a 3 mm incluso	oltre 3 mm fino a 12 mm incluso	oltre 12 mm fino a 75 mm incluso	oltre 75 mm	fino a spessore 75 mm incluso	oltre spessore 75 mm
1207 MPa	RC38	BHN363	BHN363	BHN363	BHN363

Tabella 4 – Resistenza torsionale a taglio

	Condizione			
	H900	H1025	H1075	H1150
Resistenza torsionale a taglio al limite elastico (MPa)	676	566	466	294
Limite di rottura a torsione (MPa)	1179	972	931	855

Tabella 5 – Resistenza al doppio taglio

Condizione (*)	Limite di rottura (MPa)	Doppio taglio (MPa)		Rapporto taglio/rottura in %	
		NAS 498 (a)	Boeing (b)	NAS 498 (a)	Boeing (b)
H900	1417	843	879	59,5	61,9
H925	1304	789	821	60,6	63,0
H1025	1136	716	721	63,0	63,5
H1100	1084	676	690	62,3	63,6
H1150M	930	610	622	65,6	66,8
Condizione A	1159	680	692	58,7	59,8

La resistenza al doppio taglio del 17-4 PH Armco è circa pari al 68% del carico di rottura. La Tabella 5 mostra i valori medi ottenuti con prove secondo la National Aircraft Standard (NAS) n° 468.

(a) National Aircraft Standard n°498 - Specifica per bulloni a taglio

(b) Boeing Aircraft Co. D2-2860 - Procedura per prove meccaniche su Aircraft Structural Fasteners - Sezione 4 - Pagine A13 - A18 - Figure 13 - 15 - Pagine AD114 - AD116

(*) Provette da unica colata con valori tipici - Prova doppia per ogni condizione

Tabella 6 – Modulo di Elasticità

Condizione	Trazione (MPa)	Torsione (MPa)
H900	200.000	77.000
H1025	201.000	76.000
H1075	----	69.000
H1150	201.000	69.000

Il Modulo di Elasticità del 17-4 PH Armco a temperature elevate può essere espresso come % del modulo a temperatura ambiente come indicato in Tabella 7.

Tabella 7 – Effetto della temperatura sul Modulo di Elasticità

Temperatura (°C)	% del modulo di temperatura ambiente
22	100,0
38	99,6
93	97,8
149	96,3
204	94,7
260	93,0
316	91,4

Rapporto di Poisson 0,291 in tutte le condizioni di indurimento

Tabella 8 – Resistenza a fatica (MPa)

n° cicli	Temperatura ambiente				316°C	
	H900	H925	H1025	H1150	H900	H1025
10 milioni	621	607	572	621	531	517
100 milioni	503	510	538	621	427	448

Tabella 9 – Variazione delle caratteristiche meccaniche con la temperatura per tempi di esposizione brevi

Grandezza e Condizione	Temperatura in °C					
	24	316	371	427	482	538
Carico di rottura (MPa)						
H900	1400	1193	1165	1117	1027	820
H925	1317	1138	1110	1069	1000	800
H1025	1200	1007	979	945	869	731
H1075	1131	951	924	883	786	683
H1150	965	855	827	800	752	662
Snervamento 0,2% (MPa)						
H900	1282	1034	1007	972	910	731
H925	1255	1000	979	958	883	710
H1025	1158	931	903	883	814	696
H1075	1096	910	876	834	758	648
H1150	889	827	786	772	717	641
Allungamento % su 50 mm						
H900	11,0	10,0	8,0	10,0	10,0	15,0
H925	14,0	12,0	12,0	10,0	10,0	16,0
H1025	15,0	12,0	10,0	11,0	12,0	15,0
H1075	16,0	9,0	9,0	10,0	11,0	16,0
H1150	17,0	12,0	12,0	13,0	13,0	15,0
Strizione %						
H900	50,0	31,0	25,0	21,0	30,0	46,0
H925	54,0	32,0	33,0	34,0	35,0	45,0
H1025	55,0	42,0	38,0	39,0	39,0	43,0
H1075	54,0	38,0	33,0	30,0	38,0	55,0
H1150	61,0	54,0	52,0	43,0	51,0	55,0

Tabella 10 – Resilienza Izod (J)

Condizione	Temperatura ambiente Invecchiato	Tempo di esposizione					
		321°C		427°C		482°C	
		1000 ore	2000 ore	1000 ore	2000 ore	1000 ore	2000 ore
H900	18,8	9,4	5,4	2,7	2,7	4,0	8,1
H1000	61,1	9,4	4,0	2,7	2,7	5,4	10,8
H1100	75,2	9,4	5,4	4,0	2,7	8,1	14,8

Effetto della temperatura sulla resilienza

In tutte le condizioni di trattato, un'esposizione per periodi lunghi a temperature comprese fra 371°C e 482°C causa una sensibile diminuzione della resilienza a temperatura ambiente.

I valori di resilienza Izod indicati in Tabella 10 sono stati determinati con provette trattate in Condizione H900, H1000 e H1100 ed esposte per intervalli di 1000 e 2000 ore alle temperature di 321°C, 427°C e 482°C.

Tabella 11 – Resistenza allo scorrimento viscoso (MPa) in Condizione H900

	Temperatura in °C			
	316	371	427	482
0,1% in 1000 ore	931	724	414	159
0,01% in 1000 ore	862	689	310	---

Tabella 12 – Resistenza a rottura per fatica

Temperatura °C	Tempo alla rottura in ore	Condizione	Limite di rottura (MPa)	Allungamento % alla rottura su 50 mm	Strizione %
329	100	H900	---	---	---
		H925	1124	3,0	13,0
		H1075	945	3,5	14,5
		H1150	848	5,5	17,5
	1000	H900	---	---	---
		H925	1103	2,5	12,0
		H1075	924	3,0	14,0
		H1150	841	4,5	16,5
371	100	H900	1076	3,0	7,0
		H925	1062	3,0	13,5
		H1075	869	4,0	15,5
		H1150	786	6,5	19,0
	1000	H900	1034	2,0	6,0
		H925	1041	2,5	12,5
		H1075	848	3,5	15,0
		H1150	765	5,5	18,0
427	100	H900	965	4,0	8,0
		H925	883	3,5	13,5
		H1075	745	6,0	16,0
		H1150	689	6,5	25,0
	1000	H900	883	4,0	6,0
		H925	834	3,0	13,0
		H1075	710	5,5	15,0
		H1150	648	6,0	20,0
482	100	H900	655	5,0	9,0
		H925	---	---	---
		H1075	---	---	---
		H1150	552	9,0	40,0
	1000	H900	414	12,0	25,0
		H925	---	---	---
		H1075	---	---	---
		H1150	490	9,0	36,0

Il 17-4PH Armco mantiene una buona duttilità a temperatura inferiori a 0°C, caratteristica che lo rende particolarmente adatto per applicazioni come parti di valvole, pompe e componenti aeronautici. Non è possibile dare indicazioni precise sul trattamento termico migliore per le basse temperature dato che molto dipende dai dati di progetto.

Si possono dare le indicazioni di massima seguenti:

H900

Se la resilienza è un fattore critico di progetto, il materiale con questo trattamento deve essere usato con cautela a qualsiasi temperatura.

H925

Fino a -18°C in generale. Per applicazioni senza particolari esigenze di resilienza può essere usato fino a -196°C.

H1150

Fino a -79°C. Porre cautela nella progettazione se il diametro delle barre supera 25 mm.

H1150-M

Fino a -196°C.

Tabella 13 – Caratteristiche meccaniche tipiche in Condizione H900 a bassa temperatura

	Temperatura in °C				
	24	0	- 40	- 62	- 196
Rottura (MPa)	1365	1400	1441	1503	1813
Snerv. (MPa)	1220	1241	1282	1338	1675
Allungam. %	10	16	17	17	7
Strizione %	52	53	53	52	10
Resil. Charpy (J)	26	24 - 27	9 - 12	11	4 - 6

Tabella 14 – Valori tipici di resilienza al di sotto della temperatura ambiente Charpy-V – (J)

Condizione	Temperatura in °C			
	- 12	- 40	- 79	- 196
H925 *	22	12	7,4	4,7
H1025 *	78	54	20	6,1
H1150 *	126	102	54	8,8
H1150-M *	---	---	---	38
H1150-M **	115	101	88	6,8

* Provette da barra diam. 25 mm in direzione longitudinale

** Provette da barra diam. 100 mm in direzione longitudinale

**Tabella 15
Comparazione tra le caratteristiche meccaniche longitudinali e trasversali in Condizione H900 su barra diam. 140 mm**

Direz. prov.	Rottura (MPa)	Snerv. (MPa)	Allung. %	Strizione %
L	1400	1248	11,5	44,5
T	1386	1241	5,0	17,0

Caratteristiche trasversali

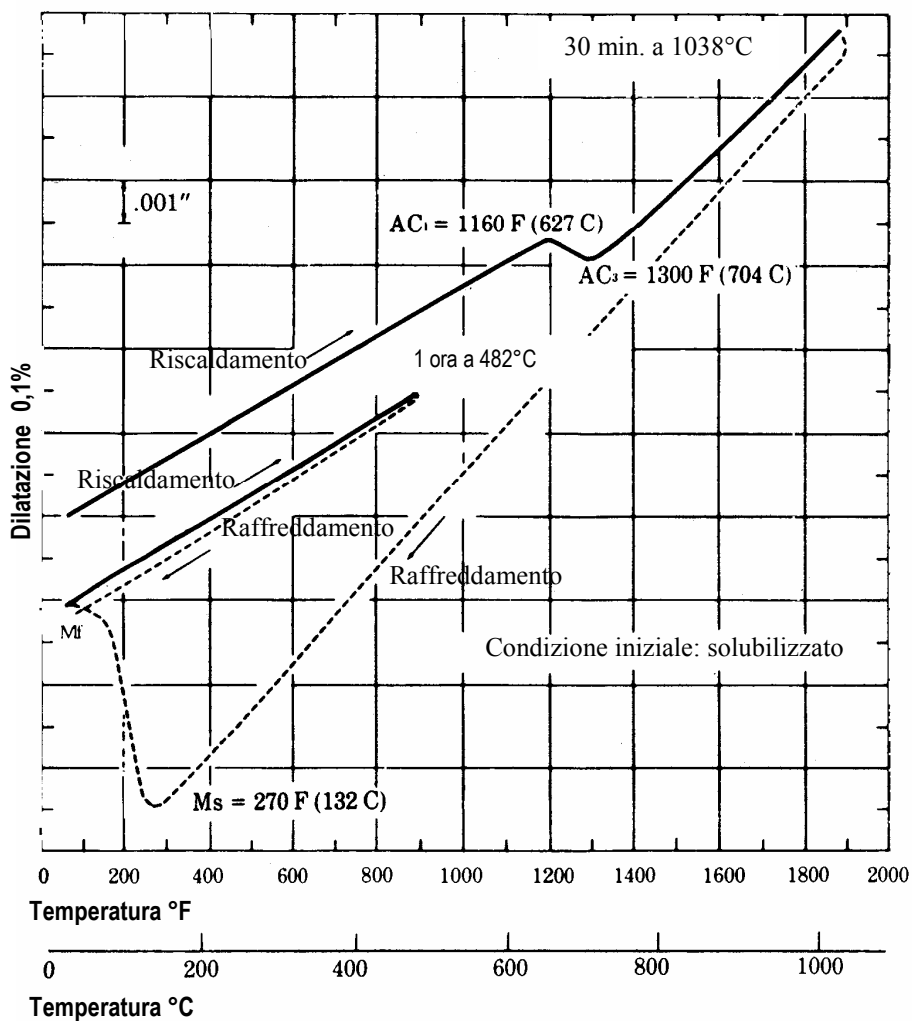
Come per altri acciai ad alta resistenza, la duttilità del 17-4 PH Armco nelle condizioni di durezza maggiore (H900, H925, H950) può essere sensibilmente minore in direzione trasversale rispetto alla duttilità in direzione longitudinale, parallela al senso di laminazione. Per componenti sottoposti ad elevate sollecitazioni in direzione trasversale, si suggerisce di valutare la possibilità di utilizzare il 15-5 PH Armco rifiuto. La tabella 15 mette a confronto le caratteristiche in senso longitudinale e trasversale del 17-4 PH Armco in condizione H900.

Se trattato in condizione di durezza minore (H1025, H1075, H1150) la duttilità in direzione trasversale si avvicinerà a quella in direzione longitudinale ed il materiale risulterà adatto alla maggior parte delle applicazioni.

Tabella 16 – Proprietà fisiche

	Condizione			
	A (magnetico)	H900 (magnetico)	H1075 (magnetico)	H1150 (magnetico)
Densità g/cm ³	7,78	7,80	7,81	7,82
Resistività micro-ohm/cm	100	80	80	---
Coefficiente medio di dilatazione termica x10 ⁻⁶ mm/mm/°C				
- 73 / 21 °C	---	10,4	---	11,0
21 / 93 °C	10,8	10,8	11,3	11,9
21 / 204 °C	10,8	10,8	11,7	12,4
21 / 316 °C	11,2	11,3	11,9	12,8
21 / 427 °C	11,3	11,7	12,2	12,9
21 / 482 °C	---	---	---	13,1
Conducibilità termica W/m °C				
149 °C	---	17,9	---	---
260 °C	---	19,5	---	---
460 °C	---	22,5	---	---
482 °C	---	22,6	---	---
Calore specifico J/kg °C				
0 / 100 °C	460	460	---	---

CURVA DILATOMETRICA DEL 17-4PH ARMCO



Variazioni dimensionali

I trattamenti termici producono sul 17-4 PH Armco variazioni dimensionali che si traducono in contrazioni comprese tra:

- 0,0004 e 0,0006 mm/mm in Condizione H900, H925 e H1025
- 0,0005 e 0,0008 mm/mm in Condizione H1100
- 0,0008 e 0,0011 mm/mm in Condizione H1150
- 0,0010 e 0,0020 mm/mm in Condizione H1150-M

Proprietà magnetiche

I grafici mostrano le curve di induzione normale e di isteresi. Dalla Condizione H900 fino alla H1075 le proprietà magnetiche variano di poco.

La Condizione H1150 produce invece variazioni significative.

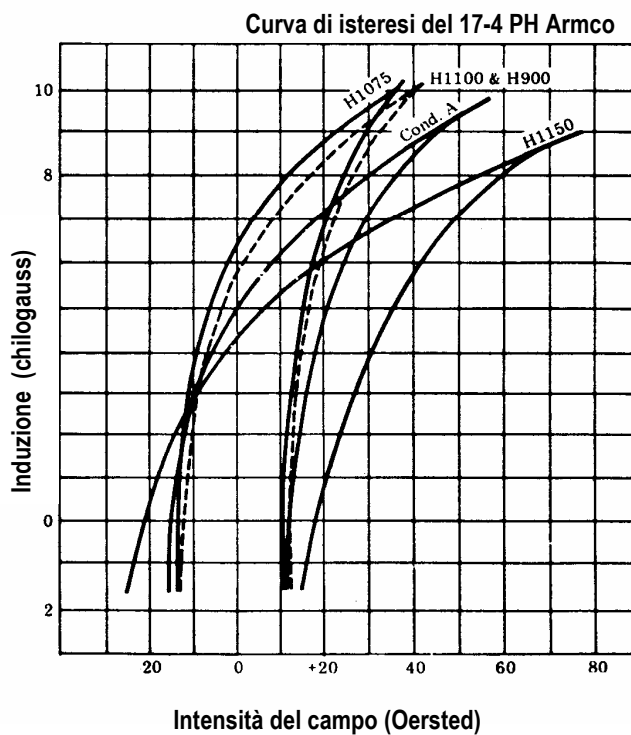
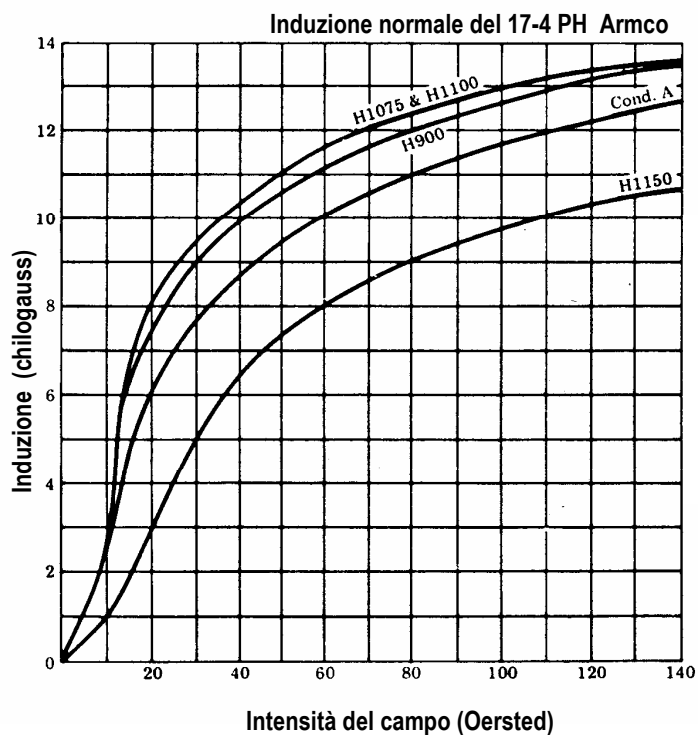


Tabella 17 – Resistenza alla corrosione in varie sostanze chimiche

Sostanza	Conc. %	Temp. °C	Indice di corrosione in mm/anno (a)				tipo 304 (b) Solub.
			17-4 PH (b)				
			H925	H1025	H1075	H1150	
H ₂ SO ₄	1	35	Nil	Nil	Nil	Nil	0,71
	2		Nil	Nil	Nil	Nil	1,45
	5		0,10	0,18	0,28	0,23	6,10
	1	80	0,02	0,02	0,02	0,02	8,89
	2		0,20	0,23	0,33	0,43	12,19
	98	35	Nil	Nil	Nil	Nil	---
HCl	0,5	35	0,05	0,05	0,08	0,41	0,84
	1		0,89	4,42	13,16	16,51	6,1
HNO ₃	25	Boll.	0,36	0,15	0,18	0,2	0,05
	50		1,78	0,89	1,19	0,79	0,1
	65		3,17	2,16	2,72	2,01	0,25 (c)
Acido formico	5	80	0,08	0,02	0,02	0,05	2,06
	10		0,05	0,08	0,08	0,13	2,54
Acido acetico	33	Boll.	0,15	0,15	0,10	0,10	7,62
	60		0,05	0,05	0,05	0,05	6,35
H ₃ PO ₄	2,5	Boll.	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil
	20		0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
	50		0,10	0,10	0,08	0,13	0,18 (c)
	70		2,18	1,45	1,52	3,02	0,81 (c)
NaOH	30	80	0,13	0,13	0,18	0,20	Nil
	50		0,08	0,08	0,10	0,13	0,02
	30	Boll.	0,20	0,18	0,28	0,28	1,73 (1)
	50		12,19 (1)	11,43 (1)	14,22 (1)	14,22 (1)	2,03 (1)
Ammoniaca	10	Boll.	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil
10% HNO ₃ -1% HF	---	35	38,10	38,10	38,10	38,10	9,65
10% HNO ₃ -3% HF	---		109,22	109,22	109,22	109,22	21,34
Coca Cola	Conc.	35	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil
Sale-Zucchero-Aceto	---	Boll.	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil

(a) Gli indici sono stati determinati per immersione totale di provette cilindriche di diametro 15,87 mm e lunghezza 15,87 mm per cinque periodi di 48 ore. Le provette sono state attivate elettroliticamente per gli ultimi 3 periodi ad eccezione della prova in acido nitrico al 65% a bollire ed anche per il 304 in idrossido di sodio a bollire. La tabella riporta i valori rilevati.

(b) I numeri in parentesi indicano il numero dei periodi di prova. È stato riportato Nil quando l'indice è inferiore a 0.02 mm

(c) L'indice aumenta da periodo a periodo. E' stata indicata la media su 5 periodi.

Esposizione all'acqua di mare

La combinazione di una elevata resistenza meccanica e di una buona resistenza alla corrosione rende il 17-4 PH Armco un materiale particolarmente adatto per molte applicazioni in ambiente marino, come componenti di valvole e pompe ed assi portaelica. Tuttavia, al pari di altri acciai inossidabili, il 17-4 PH Armco è soggetto a corrosione interstiziale se immerso in acqua stagnante. Se le parti costruite in 17-4 PH sono destinate ad uso saltuario è raccomandabile una protezione catodica a titolo preventivo.

Resistenza alla corrosione

Il 17-4 PH Armco ha una buona resistenza alla corrosione, migliore di quella di ogni altro inossidabile indurente e paragonabile a quella del tipo 304 nella maggior parte degli ambienti corrosivi.

Se ne è avuta la conferma dall'utilizzo pratico nell'industria petrolchimica, della carta, alimentare e dal suo uso per la costruzione di assi per il settore nautico. Prove supplementari della sua durata sono costituite dall'adozione del 17-4 PH in sostituzione di altri tipi di inossidabile e di leghe alto-legate non ferrose nella costruzione di parti con elevate esigenze di resistenza alla corrosione.

Prove di laboratorio

Sono state eseguite centinaia di prove comparative di laboratorio fra il 17-4 PH Armco ed altri tipi di acciai inossidabili. Poiché si sono usati reagenti allo stato puro, i dati ottenuti sono un'utile guida per paragonare il 17-4 PH con altri materiali ma non danno una misura del comportamento nelle effettive condizioni di utilizzo. La tabella 17 riporta gli indici di corrosione tipici del 17-4 PH in varie sostanze ed i valori corrispondenti del tipo 304.

In generale la resistenza alla corrosione del 17-4 PH Armco è simile a quella del tipo 304 nelle sostanze prese in esame e varia a seconda del trattamento termico.

Esposizione all'atmosfera

In condizioni atmosferiche normali, il 17-4PH Armco ha un'eccellente resistenza alla corrosione in qualunque condizione di invecchiamento. Nelle condizioni atmosferiche tipiche delle zone marine sviluppa gradualmente un leggero arrugginimento e vaiolature in ogni condizione di invecchiamento. Il comportamento è molto simile a quello del tipo 304 e molto migliore di quello dei normali acciai da tempra sottoposti esposti alle stesse condizioni ambientali.

Tensocorrosione

Anche se infrequente, la tensocorrosione può essere causa di collasso degli acciai inossidabili. Si forma generalmente in parti sottoposte a sollecitazioni elevate in condizioni tali da favorire la concentrazione localizzata di cloruri.

I test condotti su provette sottoposte a sollecitazioni fino al limite di snervamento del materiale ed esposte all'atmosfera marina hanno dimostrato che il 17-4 PH Armco in Condizione H900 è alquanto sensibile alla tensocorrosione. Quando viene trattato a temperature uguali o superiori a 552°C il materiale sviluppa un'elevata resistenza alla tensocorrosione.

La resistenza del 17-4 PH a questo fenomeno è anche dimostrata dalla lunga durata in atmosfera marina con temperature elevate. Per sviluppare la massima resistenza alla tensocorrosione da cloruri, il 17-4 PH Armco va trattato alla massima temperatura che consente di ottenere le proprietà richieste, comunque mai inferiore a 552°C.

Sono stati eseguiti ulteriori test su provette di 17-4 PH Armco, trattate in Condizione H900, H1025, H1075, H1150, e sottoposte a sollecitazioni pari al 90% del limite di snervamento con esposizione in atmosfera marina. Le provette sono state divise in 3 gruppi:

- Non saldate (solubilizzate, invecchiate)
- Solubilizzate, saldate, invecchiate
- Saldate, solubilizzate, invecchiate

Nessuna delle provette in Condizione H900 ha resistito oltre i 68 giorni, sia con che senza saldatura. Tutte le altre provette hanno resistito per oltre 25 anni.

Inoltre sono state eseguite delle prove su depositi circolari del diametro di 50 mm ottenuti per saldatura su una lastra di spessore 6,35 mm di 17-4 PH. Dopo la saldatura e l'invecchiamento la superficie del deposito è stata lucidata. Le sollecitazioni interne dovute alla saldatura sono molto elevate e possono arrivare a superare il limite di snervamento del materiale. Le provette così ottenute sono poi state immerse in acqua di mare calma. Anche in questo caso le provette erano divise in 3 gruppi secondo il ciclo di esecuzione:

- solubilizzate, invecchiate in Condizione H1025, H1075, H1150, saldate
- saldate, solubilizzate, invecchiate in Condizione H1025, H1075, H1150
- solubilizzate, saldate, invecchiate in Condizione H1025, H1075, H1150

Dopo un anno non si sono riscontrate fessurazioni da tensocorrosione in nessuna provetta.

Tabella 18 – Corrosione per fatica

Materiale	Trattamento	Rottura	Snervamento	Limite di corrosione per fatica a 5x10 ⁷ cicli (MPa)
17-4 PH	Solub. + H925	1379	1155	207 - 276
	Solub. + H1150	1089	1034	207 - 276
K500	Solub. + invecch.	1055	738	172 - 207
	Lam. a caldo + invecch.	1172	862	172 - 207
	Trafil. + invecch.	1213	1007	172 - 207

Corrosione per fatica

La resistenza alla corrosione per fatica del 17-4 PH Armco in Condizione H925 e H1150 è stata determinata con provette a sbalzo rotanti a 1450 g/min in acqua marina corrente. I dati ottenuti sono indicati nella Tabella 18, dove si confrontano con i risultati di test equivalenti su leghe Cu-Ni K500.

Cricche per solfuri

Le prove di laboratorio condotte su una soluzione sintetica di fluido di pozzo (sour: cloruro di sodio al 5% e acido acetico allo 0,5% saturata con idrogeno solforato) in accordo con le prescrizioni NACE TM-01-77 indicano che il 17-4 PH Armco deve essere trattato in Condizione H1150-D o H1150-M per sviluppare la migliore resistenza in ambiente così aggressivo. In entrambe le Condizioni suddette il 17-4 PH è accettato da NACE per servizio sour (ambiente acido con solfuri) ed è compreso nella specifica NACE MR-01-75.

Lavorazioni

Trattamenti termici

Per ottenere la massima resistenza meccanica e durezza il materiale solubilizzato viene riscaldato per 1 ora a 482°C +/- 9°C e quindi fatto raffreddare in aria fino alla temperatura ambiente.

Quando è importante mantenere una buona duttilità, si può ottenere una migliore tenacità elevando la temperatura del trattamento.

A differenza degli altri materiali indurenti che richiedono trattamento termico più temprato o distensione, il 17-4 PH Armco può essere portato alle condizioni finali desiderate con un unico trattamento. Modificando la temperatura di riscaldamento tra 482 e 621°C (900 e 1150°F) ed il tempo di permanenza da 1 a 4 ore si ottiene un'ampia gamma di proprietà (Tab. 1).

Il materiale allo stato di laminato a caldo, forgiato o getto di fusione deve essere solubilizzato prima di essere trattato. La solubilizzazione affina i grani e produce una maggior uniformità del materiale dopo il trattamento finale.

La solubilizzazione si esegue a 1024 - 1052°C per 0,5 ore con successivo raffreddamento ad almeno 32°C. Si può utilizzare il raffreddamento in olio anziché in aria per parti di piccola dimensione.

Deformazione a freddo

Il 17-4 PH Armco in Condizione A può essere sottoposto a piegature a freddo di entità limitata. Per piegature più gravose, il materiale va usato in Condizione H1100, H1150 o H1150-M per limitare il rischio di cricche. La resistenza alla corrosione da tensioni si migliora ritrattando il materiale alla temperatura di precipitazione dopo la deformazione a freddo.

Forgiatura

Il 17-4 PH è particolarmente adatto alla forgiatura. Per parti di piccole dimensioni, occorre riscaldare il pezzo uniformemente a 1177-1204°C con un tempo di permanenza di almeno 15 minuti. Oltre i 19 mm di spessore o diametro, il pezzo deve essere riscaldato per 0,5 ore per pollice di spessore a 1177-1204°C e mantenuto alla temperatura per 1 ora prima di essere forgiato. Il riscaldamento deve essere uniforme. Dopo la lavorazione il pezzo deve essere raffreddato ad almeno 32°C per ottenere l'affinamento dei grani. Quindi, per garantire le migliori condizioni per l'invecchiamento, i pezzi devono essere nuovamente portati a 1024-1052°C e raffreddati in aria (o in olio per i pezzi di piccole dimensioni).

I forgiati di piccole dimensioni possono essere lasciati raffreddare in aria. Per pezzi di forma complessa e grandi dimensioni occorre equalizzare la temperatura a 1038-1149°C prima di iniziare il raffreddamento, far poi raffreddare in aria fino al colore nero, quindi far seguire un raffreddamento lento a 32°C sotto il riparo di una lamiera sottile non zincata oppure di un panno sottile termoisolante.

Contaminazione superficiale

Durante il riscaldamento per la forgiatura o la solubilizzazione, occorre evitare che l'atmosfera protettiva contenga carbonio o azoto poiché questi elementi possono essere assorbiti dalla superficie dell'acciaio. Dopo il raffreddamento, questo assorbimento porterebbe alla formazione di uno strato austenitico tenero refrattario all'invecchiamento.

La superficie dell'acciaio può inoltre essere contaminata da residui contenenti carbonio presenti sulla superficie stessa prima del riscaldamento. Anche l'azoto può essere assorbito dall'acciaio durante il trattamento termico. Ciò porta ad una nitrurazione che provoca una minore resistenza alla corrosione. Si suggerisce di usare argon o elio al posto dell'azoto sia come atmosfera protettiva che per il riempimento a rovescio nei trattamenti sotto vuoto.

Importanza del raffreddamento a 32°C nella lavorazione e trattamenti del 17-4 PH

Durante le lavorazioni è importante ricordare le temperature di inizio e fine della trasformazione in martensite, che sono rispettivamente circa 132°C e 32°C.

Di conseguenza è necessario raffreddare i pezzi almeno a 32°C prima di procedere ai successivi trattamenti termici per ottenere le caratteristiche standard. Si tratta di una procedura essenziale per garantire l'affinamento del grano ed una buona duttilità.

Esempi di situazioni dove il raffreddamento a 32°C è un'importante fase da mettere in atto:

- raffreddare a 32°C dopo solubilizzazione prima di procedere a qualsiasi altro trattamento di invecchiamento;
- raffreddare un pezzo forgiato a 32°C prima della solubilizzazione.

* Qualsiasi pezzo ottenuto per getto deve essere raffreddato a 21°C prima della solubilizzazione.

Saldatura

Il 17-4 PH Armco ha una buona saldabilità e viene utilizzato in molte costruzioni saldate, che comprendono sia pezzi di piccole dimensioni, sia componenti pesanti ottenuti da barre o forgiati. Si può saldare con tutti i procedimenti ad arco o a resistenza utilizzabili per i normali acciai inossidabili. Il giunto saldato presenta proprietà comparabili con quelle del metallo base se sottoposto a trattamento termico dopo saldatura. La peculiarità del 17-4 PH è la possibilità di essere saldato senza richiedere preriscaldamento per dimensioni inferiori a 100 mm.

La composizione chimica del 17-4 PH ha un ruolo importante per la saldabilità. Il rame è presente in una forma che non influenza il comportamento. Le piccole percentuali di niobio hanno effetti irrilevanti. Il basso contenuto di carbonio riduce la durezza del materiale che raffredda rapidamente e minimizza il rischio di cricche del giunto e della zona termicamente alterata. La durezza limitata elimina la necessità di preriscaldamento nella maggior parte dei casi. Pur non essendo facilmente soggetto a criccare, il 17-4 PH non possiede una duttilità e tenacità elevata come gli acciai austenitici al Cr-Ni. Di conseguenza non si devono indurre effetti di intaglio non necessari che possono essere inneschi di cricche. Progettando un giunto saldato occorre quindi adottare le precauzioni che si adottano di norma per qualsiasi acciaio ad elevata resistenza, evitando la concentrazione di tensioni residue nelle zone critiche come angoli e intagli. Occorre inoltre tenere presente la condizione iniziale del metallo base.

Lavorazione alla macchina utensile

Il 17-4 PH può essere lavorato sia allo stato solubilizzato che invecchiato.

Il materiale presenta il vantaggio di poter essere lavorato in Condizione A fino al pezzo finito senza che si producano scaglie o deformazioni grazie alle basse temperature necessarie per l'invecchiamento finale. Per pezzi di grandi dimensioni occorre però tenere conto delle prevedibili contrazioni dimensionali dovute al trattamento termico (vedi pag. 9).

Nota Informativa n° S-22 – 17-4PH

Tabella 19 – Lavorabilità del 17-4 PH

Lavorabilità	Finitura superficiale	Condizione	Commenti	Durezza HRC	Parametri di taglio per macchine automatiche (SF/M)
↑ Migliore lavorabilità	↓ Migliore finitura superficiale	H1150-M	Massima velocità utensile. Finitura superficiale inferiore alle altre condizioni. Meno indicata per foratura.	27	100 - 130
		H1150 H1100 H1075	La lavorabilità migliora all'aumento della temperatura d'invecchiamento. Velocità di taglio più elevate con limitato peggioramento della finitura.	33 34 36	80 – 100 75 – 95 70 – 90
		A (solubilizzato)	Lavorabilità, velocità di taglio e finitura superficiale paragonabili ai tipi 302 e 304	34	60 – 80
		H1025 H925	La lavorabilità migliora all'aumento della temperatura d'invecchiamento.	38 42	50 – 70 30 – 50
		H900	Durezza e tenacità al limite della lavorabilità. Usare utensili in carburi sinterizzati.	44	20 - 30

I parametri di lavoro del 17-4 PH in Condizione A sono molto vicini a quelli usati per il tipo 302. In Condizione H900 i parametri di lavoro sono circa il 60% di quelli usati per la Condizione A. In entrambi i casi la finitura superficiale è eccellente.

Taglio

In generale si possono adottare gli stessi procedimenti di taglio usati per gli acciai inossidabili al Cr-Ni.

Per barre e forgiati si suggerisce il taglio con segatrici. Si può ricorrere a molatrici abrasive, va tuttavia notato che in questo caso si possono produrre piccole cricche superficiali nell'area di taglio.

Il taglio termico del 17-4 PH richiede l'impiego di procedimenti adatti all'acciaio inossidabile. Dato che la zona termicamente alterata del 17-4 PH non risente di tempra o infragilimento significativi per effetto di apporti termici concentrati, il materiale sopporta bene sia il taglio manuale che automatico. Quando la geometria del pezzo lascia prevedere che si possano creare elevate tensioni residue è in genere meglio trattare il materiale alla Condizione H1150 prima di tagliare.

Disossidazione

I trattamenti termici producono sul 17-4 PH solo un leggero strato di ossido superficiale colorato, che per certe applicazioni riduce la resistenza alla corrosione. Lo si rimuove facilmente con decapaggio per 2-3 minuti in soluzione al 10% di acido nitrico e 2% di acido fluoridrico in volume a temperatura fra 43 e 60°C e successiva sciacquatura con acqua calda, controllando tempi e temperatura per ottenere una rimozione uniforme ed evitare un attacco acido eccessivo. Il decapaggio produce inoltre una passivazione della superficie che migliora la resistenza alla corrosione. Se il decapaggio non è utilizzabile si può ricorrere a spazzolatura o lucidatura.

Nitrurazione

La nitrurazione riduce la resistenza alla corrosione degli acciai inossidabili. Viene fatta quando è necessario aumentare la resistenza all'usura e allo sfregamento. In alcuni casi è stata usata con successo per il 17-4 PH, per esempio per aumentare la durezza di alberi di pompe per aviogetti. Il vantaggio del 17-4 PH rispetto ad altri inossidabili come il 18-8 sta nella resistenza e tenacità delle parti interne.

Getti

Il 17-4 PH può essere usato per getti di forma complessa con grande varietà dimensionale. I getti devono essere solubilizzati a 1038°C +/- 14°C con successivo raffreddamento in aria o olio fino a 21°C, quindi sottoposti a invecchiamento. L'invecchiamento a 496°C per 90 minuti porta alle seguenti proprietà tipiche (non minime):

- carico di rottura 1310 MPa
- snervamento 1103 MPa
- allungamento 8%
- strizione 18%
- durezza Rockwell C39

I getti trattati a temperature maggiori di 496°C hanno duttilità e resilienza più elevate con conseguente riduzione di carico di rottura e durezza. Si suggerisce di non utilizzare mai i getti in Condizione A.

AK Steel non produce getti. Si suggerisce l'impiego di barre o billette da rifusione.

Norme Applicabili

- AMS 5622 - Barre, filo, billette rifuse ESR o VAC
- AMS 5643 - Barre, filo, billette
- ASTM A564 tipo 630 – Barre laminate a caldo o finite a freddo