

Les aciers pour trempe superficielle

Les aciers pour durcissement par trempe après chauffage superficiel au chalumeau ou par induction sont désormais inclus dans la dernière version de la norme NF EN 10083. Examen des données spécifiques aux nuances à trempe par induction ou au chalumeau.

Guy Murry
Ingénieur conseil



Pour être conforme au vocabulaire normalisé, le titre aurait dû être : les aciers pour durcissement par trempe après chauffage superficiel au chalumeau ou par induction.

Ces aciers étaient définis dans l'ancienne normalisation française par la norme NFA 35-563 « *Aciers spéciaux aptes aux traitements thermiques pour trempe après chauffage superficiel* » qui se rattachait à la norme plus générale NF A 35-552 « *Aciers de construction non alliés et alliés spéciaux pour traitement thermique* ». En complément à cette dernière, la norme NF A 35-563 précisait les particularités de la définition des aciers pour trempe superficielle en ce qui concernait la teneur en phosphore ($\leq 0,025\%$), la grosseur du grain austénitique ($5 \leq \text{indice } G \leq 8$) et la dureté minimale de la couche trempée. Cette norme fixait aussi la liste des nuances aptes à subir une trempe après chauffage superficiel. Cette liste incluait des aciers non alliés ou alliés au bore ainsi que des aciers alliés des familles M6, C2, C4, CD4 et CV4 à savoir :

- Aciers non alliés : XC 38, XC 42, XC 48, XC 55 et 40M6.
- Aciers au Bore : 38 B 3, 38 MB 5 et 38 CB 5.
- Aciers au Chrome : 38 C 2, 42 C 2, 38 C 4 et 42 C 4.
- Aciers aux Chrome et Molybdène : 38 CD 4 et 42 CD 4.
- Aciers aux Chrome et Vanadium : 50 Cv 4.

Dans le cadre de la normalisation européenne les aciers pour durcissement par trempe après chauffage superficiel au chalumeau ou par induction sont maintenant inclus dans la dernière version de la norme NF EN 10083

mais cette dernière décrivant l'ensemble des aciers pour trempe et revenu, il est nécessaire, pour identifier les aciers qui nous intéressent ici, de se référer aux tableaux des garanties de dureté de la couche trempée qui permettent de dresser l'inventaire des nuances concernées, à savoir :

- Aciers non alliés : C35, C45, C50 et C55.
- Aciers au Chrome : 46Cr2, 37Cr4, 41Cr4.
- Aciers aux Chrome et Molybdène : 42CrMo4 et 50CrMo4.

Ces aciers sont pris en compte sous les appellations « *Aciers non alliés à trempe par induction ou au chalumeau* » dans la partie 2 et « *Aciers alliés à trempe par induction ou au chalumeau* » dans la partie 3. Ils sont définis comme des aciers pour trempe et revenu classique c'est-à-dire que sont précisés leur composition chimique à la coulée, leur trempabilité (données Jominy), leurs propriétés mécaniques à l'état trempé et revenu, leurs propriétés mécaniques à l'état normalisé (pour les aciers non alliés) et leurs états de livraison (états structural et de surface).

LES ACIERS NON ALLIÉS À TREMPER PAR INDUCTION OU AU CHALUMEAU

Le **tableau 1** donne les compositions chimiques de ces nuances (les 4 nuances se dédoublent suivant leur teneur en soufre. Suffixe E pour une plus grande pureté, suffixe R pour une usinabilité plus régulière).

Le **tableau 2** rassemble des données relatives à la trempabilité des aciers considérés vue à travers les résultats des essais Jominy.

Les **tableaux 3 et 4** décrivent les valeurs garanties des caractéristiques mécaniques des aciers non alliés pour trempe au chalumeau ou par induction dans les conditions fixées par la norme NF EN 10083 dans sa partie 1 et ceci à l'état trempé et revenu (**tableau 3**) ou normalisé (**tableau 4**).

Cet article a été publié précédemment dans le n°384, daté de Janvier / Février 2007



Tableau 1
Compositions chimiques des aciers non alliés à trempe par induction ou au chalumeau (analyses de coulées).

Nuance	C%	Mn%	S%	Cr%	Mo%	Ni%
C35E	0,32 à 0,39	0,50 à 0,80	$\leq 0,035$	$\leq 0,40$	$\leq 0,10$	$\leq 0,40$
C35R	0,32 à 0,39	0,50 à 0,80	0,020 à 0,040	$\leq 0,40$	$\leq 0,10$	$\leq 0,40$
C45E	0,42 à 0,50	0,50 à 0,80	$\leq 0,035$	$\leq 0,40$	$\leq 0,10$	$\leq 0,40$
C45R	0,42 à 0,50	0,50 à 0,80	0,020 à 0,040	$\leq 0,40$	$\leq 0,10$	$\leq 0,40$
C50E	0,47 à 0,55	0,60 à 0,90	$\leq 0,035$	$\leq 0,40$	$\leq 0,10$	$\leq 0,40$
C50R	0,47 à 0,55	0,60 à 0,90	0,020 à 0,040	$\leq 0,40$	$\leq 0,10$	$\leq 0,40$
C55E	0,52 à 0,60	0,60 à 0,90	$\leq 0,035$	$\leq 0,40$	$\leq 0,10$	$\leq 0,40$
C55R	0,52 à 0,60	0,60 à 0,90	0,020 à 0,040	$\leq 0,40$	$\leq 0,10$	$\leq 0,40$
Pour les 4 nuances : Si% $\leq 0,40$ P $\leq 0,030$ Cr% + Ni% + Mo% $\leq 0,63$						

Nuance (*)	Distance à l'extrémité refroidie de l'éprouvette (mm)							
	1	4	5	10	15	20	25	30
C35+HH4		43,5						
C35+HH14	54,5	43,5						
C35+H	53	38,5	35,5					
C35HL4		33,5						
C35HL14	51,5	33,5						
C45+HH4		50,5						
C45HH14	59,5	50,5						
C45+H	58,5	45	42,5	28	25			
C45+HL4		39,5						
C45+HL14	57,5	39,5						
C50HH5			49					
C50+HH15	60,5		49					
C50+H	59,5	47	44,5	31	28	27	24,5	
C50+HL5			40					
C50+HL15	58,5		40					
C55HH5			51					
C55+HH15	62,5		51					
C55+H	61,5	49,5	46,5	32	29	28	26	24,5
C55+HL5			42					
C55+HL15	60,5		42					

(*) +HH exigence de trempabilité réduite aux 2/3 supérieurs de la bande Jominy
+H exigence normale de trempabilité. +HL exigence de trempabilité réduite aux 2/3 inférieurs de la bande Jominy

Tableau 2
Duretés moyennes HRC correspondant aux garanties sur éprouvette Jominy pour les aciers non alliés pour trempe au chalumeau ou par induction.

Nuance	Caractéristiques mécaniques selon les produits et leurs dimensions (**)								
	d (mm) ≤ 16 e (mm) ≤ 8			16 < d (mm) ≤ 40 8 < e (mm) ≤ 20			40 < d (mm) ≤ 100 20 < e (mm) ≤ 60		
	Re MPa	Rm MPa %	A MPa	Re MPa %	Rm MPa	A MPa %	Re MPa	Rm MPa	A %
C35E et C35R	≥ 430	630 à 780	≥ 17	≥ 380	600 à 750	≥ 19	≥ 320	550 à 700	≥ 20
C45E et C45R	≥ 490	700 à 850	≥ 14	≥ 430	650 à 800	≥ 16	≥ 370	630 à 780	≥ 17
C50E et C50R	≥ 520	750 à 900	≥ 13	≥ 460	700 à 850	≥ 15	≥ 400	650 à 800	≥ 16
C55E et C55R	≥ 550	800 à 950	≥ 12	≥ 490	750 à 900	≥ 14	≥ 420	700 à 850	≥ 15

(*) trempe eau ou huile + revenu (1 heure) entre 550°C et 660°C
(**) d = diamètre d'une barre ronde e = épaisseur d'un produit plat

Tableau 3
Caractéristiques mécaniques à l'état trempé et revenu (*) des aciers non alliés pour trempe au chalumeau ou par induction.

Nuance	Caractéristiques mécaniques selon les produits et leurs dimensions (*)								
	d (mm) ≤ 16 e (mm) ≤ 16			16 < d (mm) ≤ 100 16 < e (mm) ≤ 100			100 < d (mm) ≤ 250 100 < e (mm) ≤ 250		
	Re MPa	Rm MPa %	A MPa	Re MPa %	Rm MPa	A MPa %	Re MPa	Rm MPa	A %
C35E et C35R	≥ 300	≥ 550	≥ 18	≥ 270	≥ 520	≥ 19	≥ 245	≥ 500	≥ 19
C45E et C45R	≥ 340	≥ 620	≥ 14	≥ 305	≥ 580	≥ 16	≥ 275	≥ 560	≥ 16
C50E et C50R	≥ 355	≥ 650	≥ 13	≥ 320	≥ 610	≥ 14	≥ 290	≥ 590	≥ 14
C55E et C55R	≥ 370	≥ 680	≥ 11	≥ 330	≥ 640	≥ 12	≥ 300	≥ 620	≥ 12

(*) d = diamètre d'une barre ronde e = épaisseur d'un produit plat

Tableau 4
Caractéristiques mécaniques à l'état normalisé des aciers non alliés pour trempe au chalumeau ou par induction.

Tableau 5

Dureté des zones superficielles des aciers non alliés pour trempe au chalumeau ou par induction après trempe superficielle et détente de 1 heure entre 150 et 180°C.

Le **tableau 5** rappelle les garanties relatives à la dureté minimale des zones superficielles des aciers pour trempe au chalumeau ou par induction après trempe superficielle et détente de 1 heure entre 150 et 180°C.

Nuance	Dureté (HRC)
C35E et C35R	≥ 48
C45E et C45R	≥ 55
C50E et C50R	≥ 56
C55E et C55R	≥ 58

LES ACIERS ALLIÉS À TREMPER PAR INDUCTION OU AU CHALUMEAU

Le **tableau 6** donne les compositions chimiques de ces nuances (certaines d'entre elles se dédoublent suivant leur teneur en soufre; sans suffixe pour une plus grande pureté, suffixe S pour une usinabilité plus régulière).

Le **tableau 7** rassemble des données relatives à la trempabilité des aciers considérés, vue à travers les résultats des essais Jominy.

Le **tableau 8** décrit les valeurs garanties des caractéristiques mécaniques des aciers alliés pour trempe au

Tableau 6

Compositions chimiques des aciers alliés à trempe par induction ou au chalumeau (analyses de coulées).

Nuance	C%	Mn%	S%	Cr%	Mo%
46Cr2	0,42 à 0,50	0,50 à 0,80	≤ 0,035	0,40 à 0,60	
37Cr4	0,34 à 0,41	0,60 à 0,90	≤ 0,035	0,90 à 1,20	
37CrS4	0,34 à 0,41	0,60 à 0,90	0,020 à 0,040	0,90 à 1,20	
41Cr4	0,38 à 0,45	0,60 à 0,90	≤ 0,035	0,90 à 1,20	
41CrS4	0,38 à 0,45	0,60 à 0,90	0,020 à 0,040	0,90 à 1,20	
42CrMo4	0,38 à 0,45	0,60 à 0,90	≤ 0,035	0,90 à 1,20	0,15 à 0,30
42CrMoS4	0,38 à 0,45	0,60 à 0,90	0,020 à 0,040	0,90 à 1,20	0,15 à 0,30
50CrMo4	0,46 à 0,54	0,50 à 0,80	≤ 0,035	0,90 à 1,20	0,15 à 0,30

Pour les 5 nuances Si% ≤ 0,40 P ≤ 0,025

Tableau 7

Duretés moyennes HRC correspondant aux garanties sur éprouvette Jominy pour les aciers alliés pour trempe au chalumeau ou par induction.

Nuance (*)	Distance à l'extrémité refroidie de l'éprouvette (mm)							
	1,5	3	5	9	15	20	30	50
46Cr2+HH	60	57	52,5	44,5	33,5	30,5	26,5	
46Cr2+H	58,5	55	49,5	40,5	30,5	28		
46Cr2+HL	57	53	46,5	36,5	27,5	25,5		
37Cr4+HH	56,5	56	54,5	49,5	42,5	36,5	32	27,5
37Cr4+H	55	54,5	53	47	39,5	34	29,5	
37Cr4+HL	53,5	53	51,5	44,5	36,5	31,5	27	
41Cr4+HH	58,5	58	56,5	52,5	45,5	40,5	34,5	29,5
41Cr4+H	57	56,5	55	49,5	42	37,5	31,5	
41Cr4+HL	55,5	55	53,5	46,5	38,5	34,5	28,5	
42CrMo4+HH	58,5	58,5	58	57	51	48,5	44,5	39,5
42CrMo4+H	57	57	56,5	54,5	47,5	45	41	37
42CrMo4+HL	55,5	55,5	55	52,5	44	41,5	37,5	34,5
50CrMo4+HH	62,5	62,5	61,5	60	57,5	55,5	51,5	48
50CrMo4+H	61,5	61,5	60,5	58,5	55	53	48,5	45
50CrMo4+HL	60,5	60,5	59,5	57	52,5	50,5	45,5	42

(*) +HH indiquant l'exigence de trempabilité réduite aux 2/3 supérieurs de la bande Jominy.

+H indiquant l'exigence normale de trempabilité.

+HL indiquant l'exigence de trempabilité réduite aux 2/3 inférieurs de la bande Jominy

Tableau 8

Caractéristiques mécaniques à l'état trempé et revenu (*) des aciers alliés pour trempe au chalumeau ou par induction.

Nuance	Caractéristiques mécaniques selon les produits et leurs dimensions (**)								
	d (mm) ≤ 16 e (mm) ≤ 8			16 < d (mm) ≤ 40 8 < e (mm) ≤ 20			40 < d (mm) ≤ 100 20 < e (mm) ≤ 60		
	Re MPa	Rm MPa	A MPa	Re MPa	Rm MPa	A MPa	Re MPa	Rm MPa	A MPa
46Cr2	650	900 à 1100	≥ 12	≥ 550	800 à 950	≥ 14	≥ 400	650 à 800	≥ 15
37Cr4 et 37CrS4	≥ 750	950 à 1150	≥ 11	≥ 630	850 à 1000	≥ 13	≥ 510	750 à 900	≥ 14
41Cr4 et 41CrS4	≥ 800	1000 à 1200	≥ 11	≥ 660	900 à 1100	≥ 12	≥ 560	800 à 950	≥ 14
42CrMo4 et 42CrMoS4	≥ 900	1100 à 1300	≥ 10	≥ 750	1000 à 1200	≥ 11	≥ 650	900 à 1100	≥ 12
50CrMo4	≥ 900	1100 à 1300	≥ 9	≥ 780	1000 à 1200	≥ 10	≥ 700	900 à 1100	≥ 12

(*) trempe eau ou huile + revenu (1 heure) entre 540°C et 680°C.

(**) d = diamètre d'une barre ronde e = épaisseur d'un produit plat

chalumeau ou par induction dans les conditions fixées par la norme NF EN 10083 dans sa partie 1 et ceci à l'état trempé et revenu.

Le **tableau 9** rappelle les garanties relatives à la dureté minimale des zones superficielles des aciers pour trempe au chalumeau ou par induction après trempe superficielle et détente de 1 heure entre 150 et 180 °C.

Nuance	Dureté (HRC)
46Cr2	≥ 54
37Cr4 et 37CrS4	≥ 51
41Cr4 et 41CrS4	≥ 53
42CrMo4 et 42CrMoS4	≥ 53
50CrMo4	≥ 58

COMMENTAIRES
Spécificités des nuances

En ce qui concerne les spécificités retenues par la norme NF EN 10083 pour les aciers pour trempe au chalumeau ou par induction on peut noter que la teneur en phosphore des aciers non alliés est fixée à 0,030 % (contre

0,025 % dans l'ancienne norme) mais celle des aciers alliés est toujours limitée à 0,025 %. Les aciers doivent présenter une grosseur de grain d'austénite d'indice au moins égal à 5 (contre $5 \leq G \leq 8$ avec l'ancienne norme).

Les duretés minimales des zones superficielles sont, à teneurs en carbone comparables, inférieures de 1 à 3 HRC à celles indiquées par la norme NF A 35-563 mais le fait qu'elles soient vérifiées non seulement après trempe superficielle mais aussi détente de 1 heure entre 150 et 180 °C peut expliquer cet écart.

Par ailleurs, la nouvelle normalisation ne reprend pas en compte le sur-durcissement de 2 HRC (indiqué par l'ancienne norme) dû au chauffage par induction.

Évolutions des teneurs en carbone

Compte tenu de l'importance que prend la teneur en carbone en trempe superficielle il est intéressant, pour aider au choix de l'acier, de prendre en compte les évolutions de ce paramètre des différentes nuances décrites par l'ancienne et la nouvelle normalisation. Les **tableaux 10 et 11** proposent des comparaisons sur ce point. ■

Tableau 9
Dureté des zones superficielles des aciers alliés pour trempe au chalumeau ou par induction après trempe superficielle et détente de 1 heure entre 150 et 180 °C.

C % min	C % max	Ancienne norme	NF EN 10083
0,32	0,39		C35
0,35	0,40	XC 38 H1	
0,37	0,44		C40 (*)
0,40	0,45	XC 42 H1	
0,42	0,50		C45
0,45	0,51	XC 48 H1	
0,47	0,55		C50
0,52	0,60	XC 55 H1	C55

(*) est défini par la norme mais n'est pas repris comme acier pour trempe au chalumeau ou par induction

Tableau 10
Comparaison selon les teneurs en carbone des aciers non alliés pour trempe au chalumeau ou par induction définis par l'ancienne et la nouvelle normalisation.

C % min	C % max	Ancienne norme	NF EN 10083
Aciers au bore			
0,34	0,40	38 B 3	
0,34	0,40	38 MB 5	(*)
0,34	0,40	38 CB 1	
Aciers au chrome (0,5 % en moyenne)			
0,35	0,40	38 C 2	(*)
0,40	0,45	42 C 2	
0,42	0,50		46Cr2
Aciers au chrome (1,05 % en moyenne)			
0,34	0,41		37Cr4
0,35	0,40	38 C 4	
0,38	0,45		41Cr4
0,40	0,45	42 C 4	
Aciers au chrome et molybdène			
0,35	0,41	38 CD 4	
0,38	0,45		42CrMo4
0,39	0,45	42 CD 4	
0,46	0,54		50CrMo4
Aciers au chrome et vanadium			
0,47	0,55	50 CV 4	(*)

(*) est défini par la norme mais n'est pas repris comme acier pour trempe au chalumeau ou par induction

Tableau 11
Comparaison selon les teneurs en carbone des aciers alliés pour trempe au chalumeau ou par induction définis par l'ancienne et la nouvelle normalisation.