304/304L - Acier inoxydable austénitique (chrome-nickel)

INTRODUCTION

Les aciers inoxydables 304 (S30400) et 304L (S30403) sont des variantes de l'alliage austénitique à 18 % de chrome et 8 % de nickel, l'alliage le plus connu et le plus couramment utilisé de la famille des aciers inoxydables. Ces nuances conviennent à une vaste gamme d'applications où une ou plusieurs des propriétés suivantes sont importantes :

1. Résistance à la corrosion
2. Prévention de la contamination des produits
3. Résistance à l'oxydation
4. Facilité de fabrication
5. Excellente aptitude au formage
6. Aspect esthétique
7. Facilité de nettoyage
8. Résistance mécanique élevée pour un faible poids
9. Bonne résistance et ténacité à très basse température
10. Disponibilité dans une vaste gamme de formes de produits

Chaque nuance offre une excellente combinaison de résistance à la corrosion et de facilité de fabrication. Cette combinaison explique l'utilisation intensive de ces alliages, qui représentent près de la moitié de toute la production américaine d'acier inoxydable. L'alliage 304 représente le plus grand volume de production, suivi du 304L. Les inoxydables 18-8, principalement les nuances 304 et 304L, sont offerts sous diverses formes, notamment les **feuilles, feuillards, films minces, plaques et feuilles**. Ces alliages sont couverts par de nombreuses spécifications et codes relatifs à la fabrication et à l'utilisation d'équipements destinés à des conditions particulières. Les applications dans les secteurs alimentaire, des boissons, sanitaire, cryogénique et des équipements sous pression en sont quelques exemples.

Les utilisateurs de la nuance 302 utilisent aujourd'hui généralement la nuance 304, puisque la technologie AOD permet d'obtenir plus facilement et économiquement de faibles teneurs en carbone. Dans certains cas, notamment pour les produits écrouis, la nuance 302 demeure privilégiée puisque sa teneur en carbone plus élevée permet d'atteindre les exigences de limite d'élasticité et de résistance à la traction tout en conservant une meilleure ductilité (allongement) que la nuance 304 à faible teneur en carbone. La nuance 304L est utilisée pour les produits soudés susceptibles d'être exposés à des conditions pouvant provoquer une corrosion intergranulaire en service.

JACQUET

304/304L

COMPOSITION CHIMIQUE TYPIQUE

Composition selon ASTM A240:

Élément	Pourcentage maximal en poids sauf plage spécifiée			
		304	304L	
Carbone		0.07	0.030	
Manganèse		2.00	2.00	
Phosphore		0.045	0.045	
Soufre		0.030	0.030	
Silicium		0.75	0.75	
Chrome		17.5 19.5	17.5 19.5	
Nickel		8.0 10.5	8.0 12.0	
Azote		0.10	0.10	

SPÉCIFICATIONS ET CERTIFICATIONS

En raison de l'utilisation très répandue de ces aciers inoxydables austénitiques et de la vaste couverture de leurs spécifications, la liste suivante est représentative, mais non exhaustive.

Forme du produit	Spécification	
	ASTM	ASME
Plaques, tôles et bandes	A240	SA-240
Tubes sans soudure ou soudés	A249/A249M (304, 304L, 305 seulement), A269/A269M (304, 304L seulement), A554	SA-249/SA-249M (304, 304L seulement)
Tuyaux sans soudure ou soudés	A312/A312M, A409/A409M (304, 304L seulement)	SA-312/SA-312M, SA-409/SA-409M
Barres et fils	A276, A478, A479/A479M	SA-479/SA-479M
Lingots et pièces forgées	A314, A473	
Brides et raccords	A182/A182M, A403/A403M	SA-182/SA-182M, SA-403/SA-403M

Selon la Section II, Partie D du Code ASME des chaudières et appareils sous pression, l'alliage 304 possède des contraintes admissibles pour diverses formes de produits jusqu'à une température maximale d'utilisation de 1500 °F (816 °C). L'alliage 304L couvre moins de formes de produits et présente des contraintes admissibles inférieures jusqu'à une température maximale de 800 °F (426 °C).

Toutes les nuances sont approuvées pour l'utilisation dans la préparation et l'entreposage des aliments par la National Sanitation Foundation et pour le contact avec les produits laitiers par la Dairy and Food Industries Supply Association. Les alliages 304 et 304L sont également des matériaux standard dans l'industrie brassicole.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

Densité:

0.285 lb/in^3 (7.90 g/cm^3)

Module d'élasticité en traction:

29 x 10^6 psi (200 GPa)

Coefficient linéaire de dilatation thermique:

Plage de température		Coefficients	
°F	°C	in/in/°F	cm/cm/°C
68 - 212	20 - 100	9.2 x 10^{-6}	16.6 x 10^{-6}
68 - 1600	20 - 870	11.0 x 10^{-6}	19.8 x 10^{-6}

Coefficient de dilatation thermique linéaire:

Plage de température		Btu/hr·ft·°F	W/m·K
°F	°C		
212	100	9.4	16.3
932	500	12.4	21.4

Le coefficient global de transfert thermique des métaux dépend de plusieurs facteurs en plus de la conductivité thermique du métal. La capacité des nuances inoxydables de type 18-8 à conserver une surface propre permet souvent un meilleur transfert thermique que d'autres métaux possédant une conductivité thermique plus élevée.

Chaleur spécifique

°F	°C	Btu/lb/°F	J/kg•K
32 - 212	0 - 100	0.12	500

Perméabilité magnétique

Les alliages 18-8 sont généralement non magnétiques à l'état recuit, avec une perméabilité magnétique généralement inférieure à 1,02 à 200 H. Comme illustré dans les données suivantes, la perméabilité varie selon la composition et augmente avec l'écrouissage.

Pourcentage d'écrouissage à froid	Perméabilité magnétique			
		304	304L	
0		1.005	1.015	
10		1.009	1.064	
30		1.163	3.235	
50		2.291	8.480	

Plage de fusion

°F	°C
2,550 - 2,590	1,399 - 1,421

Résistivité électrique

Température		Microhm-in	Microhm-cm
°F	°C		
68	20	28.3	72
212	100	30.7	78
392	200	33.8	86
752	400	39.4	100
1112	600	43.7	111
1472	800	47.6	121
1652	900	49.6	126

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

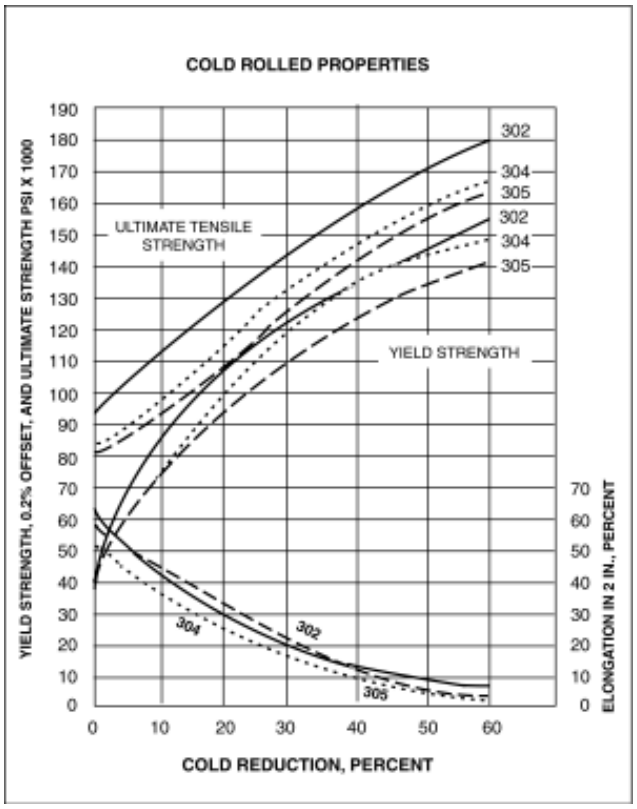
Propriétés mécaniques à température ambiante

Les propriétés mécaniques minimales des tôles, plaques et bandes en acier inoxydable austénitique 304 et 304L recuits, conformément aux normes ASTM A240 et ASME SA-240, sont présentées dans le tableau.

Propriété	Propriétés mécaniques minimales requises par les normes ASTM A 240, and ASME SA-240	
	304	304L
0.2% Offset Yield Strength, psi Mpa	30,000 205	25,000 170
Ultimate Tensile Strength, psi Mpa	75,000 515	70,000 485
pourcentage d'allongement en 2 in. or 51 mm	40.0	40.0
Hardness, Max., Brinell RB	201 92	201 92

Effet de l'écrouissage

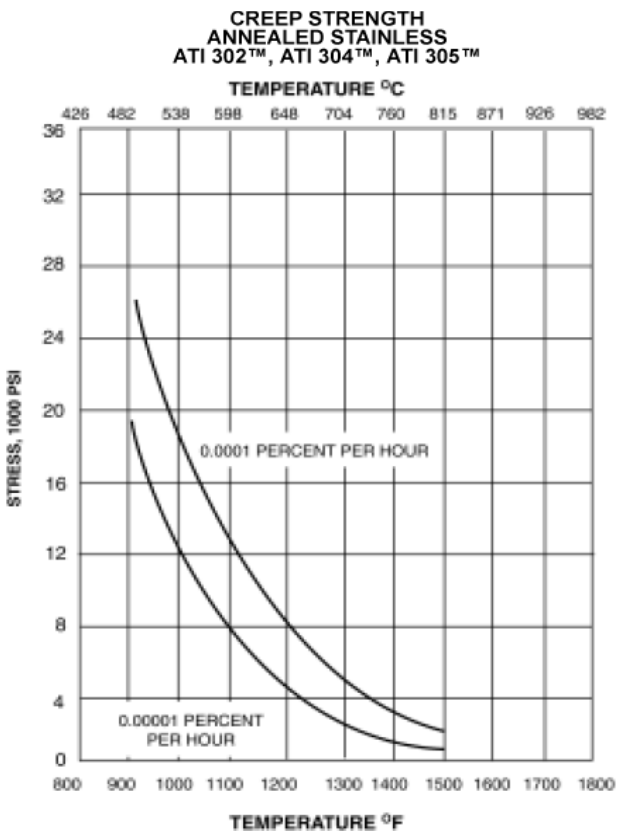
La déformation des alliages 18-8 à température ambiante ou légèrement élevée produit une augmentation de la résistance mécanique accompagnée d'une diminution de l'allongement. Une partie de cette augmentation est causée par la transformation partielle de l'austénite en martensite pendant la déformation. Les alliages 304 et 304L sont relativement sensibles à cette transformation.

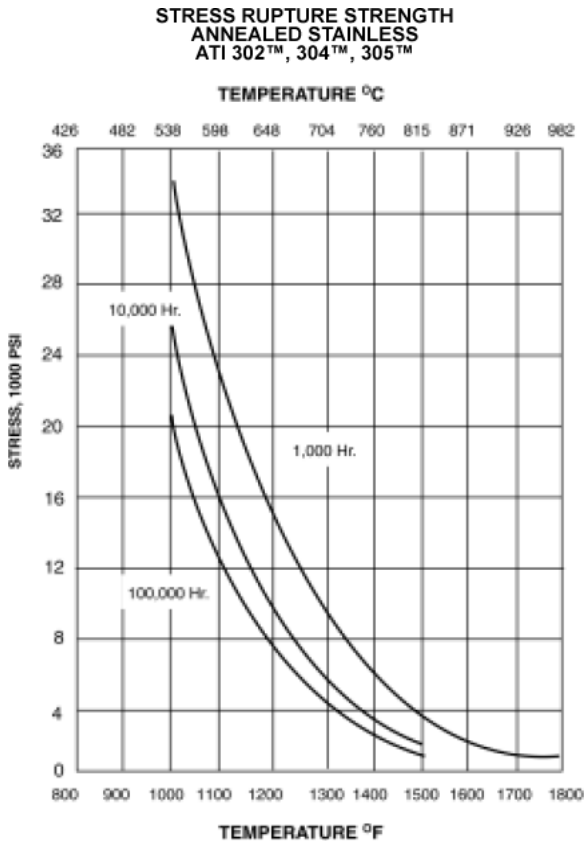


Propriétés à basse et haute température

Des données typiques de résistance en traction à basse et haute température sont présentées ci-dessous. À partir d'environ 1000 °F (538 °C), les phénomènes de fluage et de rupture sous contrainte deviennent importants.

Température d'essai		0.2% Limite d'élasticité		Résistance à la traction		Allongement
°F	°C	psi	(MPa)	psi	(MPa)	Pourcentage en 2" ou 51 mm
-423	-253	100	690	250	1725	25
-320	-196	70	485	230	1585	35
-100	-79	50	345	150	1035	50
70	21	35	240	90	620	60
400	205	23	160	70	485	50
800	427	19	130	66	455	43
1200	650	15,5	105	48	330	34
1500	815	13	90	23	160	46





Résistance aux chocs

Les aciers inoxydables austénitiques recuits conservent une résistance élevée aux chocs même à des températures cryogéniques. Cette propriété, combinée à leur bonne résistance mécanique et leur facilité de fabrication à basse température, explique leur utilisation dans les équipements destinés au gaz naturel liquéfié et aux environnements cryogéniques.

Température		Énergie absorbée lors de l'essai Charpy sur éprouvette à entaille en V	
°F	°C	Pieds-livres	Joules
75	23	150	200
-320	-196	85	115
-425	-254	85	115

Résistance à la fatigue

La résistance à la fatigue, ou limite d'endurance, est la contrainte maximale en dessous de laquelle un matériau a peu de risque de se rompre après 10 millions de cycles en atmosphère. Pour les aciers inoxydables austénitiques, elle est généralement d'environ 35 % de la résistance à la traction

RÉSISTANCE À LA CORROSION

Corrosion générale

Les aciers inoxydables austénitiques 304 et 304L offrent une bonne résistance à la corrosion dans une vaste gamme de milieux modérément oxydants à modérément réducteurs. Ils sont largement utilisés dans la transformation des aliments, des boissons et des produits laitiers, ainsi que dans les échangeurs thermiques, réservoirs, tuyauteries et équipements de procédé.

La teneur en chrome de 18 à 19 % procure une excellente résistance aux milieux oxydants comme l'acide nitrique dilué.

% d'acide nitrique	Température		Taux de corrosion	
	°F	°C	Mils/an	mm/a
10	300	149	5.0	0.13
20	300	149	10.1	0.25
30	300	149	17.0	0.43

Les alliages résistent également à certains acides organiques comme l'acide acétique ainsi qu'à l'acide phosphorique. En revanche, l'acide chlorhydrique dilué bouillant, l'acide sulfurique dilué bouillant et la soude caustique concentrée à chaud sont trop agressifs pour ces matériaux.

Corrosion généralisée en milieu chimique bouillant					
Environnement d'ébullition		**Vitesse de corrosion, Mils/Yr (mm/a)**			
		304		**304L**	
20% Acide acétique	Métal de base soudé *	0.1 1.0	(<0.01) (0.03)	0.1 0.1	(<0.01) (<0.01)
45% Acide formique	Métal de base soudé *	55 52	(1.4) (1.3)	15 19	(0.4) (0.5)
10% Acide sulfamique	Métal de base soudé *	144 144	(3.7) (3.7)	50 57	(1.3) (1.4)
1% Acide chlorhydrique	Métal de base soudé *	98 112	(2.5) (2.8)	85 143	(2.2) (3.6)
20% Acide phosphorique	Métal de base soudé *	<1.0 <1.0	(<0.03) (<0.03)	- -	- -
65% Acide nitrique	Métal de base soudé *	9.2 9.4	(0.2) (0.2)	8.9 7.4	(0.2) (0.2)
10% Acide sulfurique	Métal de base soudé *	445 494	(11.3) (12.5)	662 879	(16.8) (22.3)
50% Hydroxyde de sodium	Métal de base soudé *	118 130	(3.0) (3.3)	71 87	(1.8) (2.2)

* Soudure autogène sur une éprouvette de métal de base.

Dans certains cas, l'alliage 304L à faible teneur en carbone peut présenter un taux de corrosion inférieur à celui de l'alliage 304 à plus forte teneur en carbone. Les résultats obtenus dans l'acide formique, l'acide sulfamique et l'hydroxyde de sodium illustrent ce comportement. Par ailleurs, les alliages 304 et 304L peuvent généralement être considérés comme offrant une performance équivalente dans la plupart des environnements corrosifs. Une exception importante concerne les milieux suffisamment agressifs pour provoquer une corrosion intergranulaire au niveau des soudures et des zones affectées thermiquement des alliages sensibles. Dans ces conditions, l'alliage 304L est privilégié lorsqu'il est utilisé à l'état soudé, puisque sa faible teneur en carbone améliore sa résistance à la corrosion intergranulaire.

Corrosion intergranulaire

L'exposition des inoxydables austénitiques 18-8 à des températures comprises entre 800 °F et 1500 °F (427 °C à 816 °C) peut provoquer la précipitation de carbures de chrome aux joints de grains. Le matériau devient alors sensibilisé et susceptible à la corrosion intergranulaire.

Pour cette raison, la nuance 304L à faible teneur en carbone est généralement privilégiée pour les assemblages soudés utilisés tels quels après soudage

Essais de corrosion intergranulaire		
ASTM A 262 Test d'évaluation	**Vitesse de corrosion, Mils/Yr (mm/a)**	
	304	**304L**
Pratique B Métal de base soudé	20 (0.5) Intergranular 23 (0.6) Corrosion	20 (0.5) 20 (0.5)
Pratique E Métal de base soudé	Aucune fissure au pliage. Quelques fissures sur la soudure (**non conforme**)	Aucune fissure Aucune fissure
Pratique A Métal de base soudé	Structure de type gradin Structure creusée (« ditched ») (**non conforme**)	Structure de type gradin Structure de type gradin

Fissuration par corrosion sous contrainte

Les alliages 304 et 304L figurent parmi les inox austénitiques les plus sensibles à la fissuration par corrosion sous contrainte en présence de chlorures. Les conditions favorisant ce phénomène sont :

1. Présence d'ions halogénures (principalement chlorures)
2. Contraintes de traction résiduelles
3. Températures supérieures à environ 120 °F (49 °C)

Essais de corrosion sous contrainte en présence d'halogénures (chlorures)		
Test	**Éprouvettes en U (fortement sollicitées)**	
	304, 304L	
42% Chlorure de magnésium, ébullition	Métal de base Soudé	Fissuré 1 à 20 heures Fissuré; ½ à 21 heures
33% Chlorure de lithium, ébullition	Métal de base Soudé	Fissuré 24 à 96 heures Fissuré; 18 à 90 heures
26% Chlorure de sodium, ébullition	Métal de base Soudé	Fissuré 142 to 1004 heures Fissuré; 300 à 500 heures
40% Chlorure de calcium, ébullition	Métal de base	Fissuré 144 Heures
Exposition à température ambiante en bord de mer	Métal de base Soudé	Aucune fissure Aucune fissure

Les données ci-dessus démontrent que diverses solutions chaudes contenant des chlorures peuvent entraîner une défaillance après des périodes d'exposition variables. Il est important de retenir que, dans ces conditions combinant la présence de chlorures, des contraintes élevées et des températures élevées, une défaillance finit par se produire.

Corrosion par piqûres et corrosion en crevasse

Les alliages 18-8 ont été utilisés avec beaucoup de succès dans les eaux douces contenant de faibles concentrations d'ions chlorure. Bien que des tubes en acier inoxydable 304 aient été utilisés dans l'eau de refroidissement des condenseurs de surface de centrales électriques contenant jusqu'à 1 000 ppm de chlorures, cette performance n'est possible qu'à condition d'assurer un nettoyage rigoureux des tubes pendant leur utilisation et d'éviter que de l'eau stagnante demeure en contact avec leur surface. De façon générale, une concentration de 100 ppm de chlorures est considérée comme la limite acceptable pour les alliages 18-8, particulièrement lorsque des crevasses sont présentes.

Des teneurs plus élevées en chlorures peuvent entraîner de la corrosion par crevasses et de la corrosion par piqûres. Pour les conditions plus sévères caractérisées par des concentrations plus élevées de chlorures, un pH plus faible ou des températures plus élevées, il est recommandé d'envisager des alliages contenant davantage de molybdène, comme l'alliage 316. Fait intéressant, les aciers inoxydables 304 et 304L réussissent l'essai de brouillard salin neutre à 5 % d'une durée de 100 heures (ASTM B117) sans présenter de rouille ni de taches. Toutefois, les surfaces extérieures de bâtiments en acier inoxydable 304 exposées aux embruns marins sont sujettes à la corrosion par piqûres et à la corrosion en crevasses, souvent accompagnées d'une décoloration importante.

Les alliages 18-8 ne sont pas recommandés pour une exposition directe aux environnements marins.

SOUDABILITÉ

Les aciers inoxydables austénitiques sont considérés comme les plus soudables parmi les aciers fortement alliés et peuvent être soudés à l'aide de tous les procédés de soudage par fusion et par résistance. Les alliages 304 et 304L sont représentatifs de cette famille d'aciers inoxydables austénitiques.

Lors de la réalisation de joints soudés sur des aciers inoxydables austénitiques, deux aspects essentiels doivent être pris en considération :

1. Le maintien de la résistance à la corrosion.
2. La prévention de la fissuration.

Pendant le soudage, un gradient de température est créé dans le matériau. La température varie de la zone fondue, où elle dépasse le point de fusion, jusqu'à la température ambiante à mesure que l'on s'éloigne de la soudure. Plus la teneur en carbone du matériau est élevée, plus le cycle thermique du soudage risque de provoquer la précipitation de carbures de chrome, un phénomène nuisible à la résistance à la corrosion. Afin d'obtenir la meilleure résistance possible à la corrosion dans les applications soudées, il est recommandé d'utiliser un matériau à faible teneur en carbone, tel que le 304L, lorsque la pièce est mise en service à l'état soudé.

Comme solution de rechange, un recuit complet permet de dissoudre les carbures de chrome précipités et de rétablir un niveau élevé de résistance à la corrosion dans les matériaux ayant une teneur en carbone standard.

Un métal de soudure présentant une structure entièrement austénitique est plus susceptible de fissurer durant l'opération de soudage. Pour cette raison, les alliages 304 et 304L sont conçus de manière à se resolidifier avec une faible quantité de ferrite afin de réduire leur tendance à la fissuration.

Lorsqu'un métal d'apport est requis, l'alliage ATI 308 (20 % Cr - 11 % Ni) est généralement utilisé. Cette composition enrichie permet d'éviter la formation de martensite qui pourrait autrement apparaître dans les soudures multipasses. Sa composition chimique est également contrôlée afin de favoriser la présence d'une faible quantité de ferrite dans le dépôt de soudure, ce qui contribue à limiter le risque de fissuration à chaud.

L'alliage 309 (23 % Cr - 13,5 % Ni) ou des métaux d'apport à base de nickel sont utilisés pour assembler les alliages austénitiques 18-8 à des aciers au carbone.

TRAITEMENT THERMIQUE

Les aciers inoxydables austénitiques sont traités thermiquement afin d'éliminer les effets de l'écrouissage ou de dissoudre les carbures de chrome précipités. Le traitement le plus efficace est le recuit de mise en solution réalisé entre 1850 °F et 2050 °F (1010 °C à 1121 °C), suivi d'un refroidissement rapide. Ces matériaux ne peuvent pas être durcis par traitement thermique.

NETTOYAGE

Malgré leur résistance à la corrosion, les aciers inoxydables nécessitent certaines précautions lors de la fabrication et de l'utilisation afin de préserver leur apparence de surface, même dans des conditions de service normales.

Lors du soudage, des procédés utilisant des gaz inertes sont employés. Les oxydes et les scories formés pendant le soudage doivent être éliminés à l'aide d'une brosse en fil d'acier inoxydable. Les brosses en acier au carbone ordinaires peuvent laisser des particules d'acier au carbone à la surface, lesquelles finiront par provoquer l'apparition de rouille superficielle. Pour les applications plus exigeantes, les zones soudées devraient être traitées avec une solution de décapage, telle qu'un mélange d'acides nitrique et fluorhydrique, puis soigneusement rincées.

Pour les matériaux exposés à des environnements intérieurs, à des atmosphères industrielles légères ou à des conditions de service peu agressives, un entretien minimal est généralement suffisant. Seules les zones abritées nécessitent un lavage occasionnel à l'aide d'un jet d'eau sous pression. Dans les secteurs industriels plus sévères, un lavage fréquent est recommandé afin d'éliminer les dépôts de saleté qui pourraient éventuellement provoquer de la corrosion et nuire à l'apparence des surfaces en acier inoxydable.

Les taches tenaces et les dépôts, comme les résidus d'aliments carbonisés, peuvent être éliminés à l'aide d'un nettoyant non abrasif et d'une brosse à fibres, d'une éponge ou d'un tampon en laine d'acier inoxydable. La laine d'acier inoxydable peut toutefois laisser des marques permanentes sur les surfaces lisses. De nombreuses applications de l'acier inoxydable exigent un nettoyage ou une stérilisation régulière. Les équipements sont souvent nettoyés à l'aide de solutions spécialement formulées à base de soude caustique, de solvants organiques ou d'acides tels que l'acide phosphorique ou sulfamique. Les acides fortement réducteurs, comme l'acide fluorhydrique ou l'acide chlorhydrique, peuvent toutefois être nuisibles à ces aciers inoxydables.

Les solutions de nettoyage doivent être complètement évacuées et les surfaces en acier inoxydable doivent être rincées abondamment à l'eau propre.

La conception peut également faciliter le nettoyage. Les équipements dotés de coins arrondis, de rayons de raccordement et exempts de crevasses sont plus faciles à nettoyer. De même, les soudures meulées et lisses ainsi que les surfaces polies favorisent un nettoyage efficace.

FINITIONS DE SURFACE

Une gamme de finis de surface est offerte. Ceux-ci sont désignés par une série de numéros.

Fini n° 1 – Fini obtenu par laminage à chaud, suivi d'un recuit et d'un décapage. Il est offert sous forme de plaques et de tôles et est utilisé pour les applications fonctionnelles où un fini décoratif lisse n'est pas requis.

Fini n° 2D – Fini mat obtenu par laminage à froid, recuit et décapage. Ce fini favorise la rétention des lubrifiants lors des opérations d'emboutissage ou de formage et est particulièrement recommandé pour les pièces embouties ou formées en profondeur.

Fini n° 2B – Fini plus brillant que le fini 2D. Il est produit de façon similaire au fini 2D, sauf que la dernière passe de laminage à froid est effectuée à l'aide de cylindres lisses et polis. Il s'agit d'un fini à usage général convenant à la plupart des applications, à l'exception des opérations de formage à froid sévères. Grâce à sa surface plus lisse, il est plus facile à polir que les finis n° 1 et n° 2D.

Fini n° 2BA (recuit brillant) – Fini très lisse obtenu par laminage à froid suivi d'un recuit brillant. Une légère passe avec des cylindres hautement polis permet d'obtenir une surface brillante. Ce fini est souvent utilisé pour les applications nécessitant un léger formage et où l'on souhaite conserver un aspect brillant sur la pièce finie.

Finis polis – Différents degrés de polissage et de meulage sont offerts pour répondre à diverses exigences de finition de surface.

Comme l'obtention de certains de ces finis nécessite des équipements ou des procédés spécialisés, tous les finis ne sont pas disponibles pour toutes les formes de produits.