316/316L, 317/317L - Aciers inoxydables austénitiques

(UNS S31600, S31603, S31700, S31703)

INTRODUCTION

Les alliages 316 (UNS S31600), 316L (S31603), 317 (S31700) et 317L (S31703) sont des aciers inoxydables austénitiques contenant du molybdène qui offrent une meilleure résistance à la corrosion générale ainsi qu'à la corrosion par piqûres et par crevasses que les aciers inoxydables austénitiques conventionnels au chrome-nickel tels que l'ATI 304. Ces alliages offrent également une résistance supérieure au fluage, à la rupture sous contrainte et à la traction à température élevée.

Les alliages 317 et 317L, qui contiennent de 3 à 4 % de molybdène, sont préférés aux alliages 316 et 316L, qui contiennent de 2 à 3 % de molybdène, dans les applications nécessitant une résistance accrue à la corrosion générale et à la corrosion par piqûres.

Des aciers inoxydables austénitiques contenant des teneurs plus élevées en molybdène ou en molybdène combiné à de l'azote, offrant une résistance encore supérieure à la corrosion par piqûres, par crevasses et à la corrosion générale, sont également disponibles sous forme de produits laminés plats.

En plus de leur excellente résistance à la corrosion et de leurs bonnes propriétés mécaniques, les alliages chrome-nickel-molybdène 316/316L et 317/317L offrent également une excellente aptitude à la fabrication et au formage, caractéristiques typiques des aciers inoxydables austénitiques.

FORMES DE PRODUITS

Les aciers inoxydables 316/316L et 317/317L sont offerts sous forme de tôles, bandes et plaques conformément aux normes ASTM A240 et ASME SA-240.

Élément	Pourcentage en masse (maximum, sauf si une plage est indiquée)			
	316	316L	317	317L
Carbone	0.08	0.030	0.08	0.030
Manganèse	2.00	2.00	2.00	2.00
Silicium	0.75	0.75	0.75	0.75
Chrome	16.00	16.00	18.00	18.00
	18.00	18.00	20.00	20.00
Nickel	10.00	10.00	11.00	11.00
	14.00	14.00	15.00	15.00
Molybdène	2.00	2.00	3.00	3.00
	3.00	3.00	4.00	4.00
Phosphore	0.045	0.045	0.045	0.045
Soufre	0.030	0.030	0.030	0.030
Azote	0.10	0.10	0.10	0.10
Fer	Bal.	Bal.	Bal.	Bal.

SPÉCIFICATIONS ET CERTIFICATIONS

En raison de l'utilisation répandue des aciers inoxydables austénitiques 316/316L et 317/317L ainsi que de la vaste couverture de leurs spécifications, la liste suivante est représentative mais non exhaustive. Les formes de produits 316/316L et 317/317L se voient attribuer des contraintes admissibles dans la Section II, Partie D du Code ASME des chaudières et appareils sous pression. Pour les alliages 316 et 317, la température maximale de service est de 1500 °F (816 °C), tandis que pour les alliages 316L et 317L, la limite est de 850 °F (454 °C) pour les applications de la Section VIII, Division 1.

Toutes ces nuances sont approuvées pour 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 - Sanitary Standards Committee. Les nuances 316 et 316L, en particulier, sont des matériaux standards dans ces industries. Elles sont également largement utilisées dans les industries brassicoles, des boissons, pharmaceutiques et biotechnologiques.

Forme du produit	Spécification	
	ASTM	ASME
Plaques, tôles et bandes	A240	SA-240
Tubes sans soudure ou soudés	A249/A249M, A554	SA-249/SA-249M
Tuyaux sans soudure ou soudés	A312/A312M, A409/A409M	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

COMPOSITION CHIMIQUE TYPE

La composition chimique, telle que définie par les spécifications ASTM A240 et ASME SA-240, est indiquée dans le tableau ci-dessous.

RÉSISTANCE À LA CORROSION

Corrosion Générale

Les alliages 316/316L et 317/317L offrent une meilleure résistance à la corrosion atmosphérique ainsi qu'à d'autres formes de corrosion légère que les aciers inoxydables de type 18-8. De façon générale, les milieux qui n'attaquent pas les aciers inoxydables 18-8 ne corroderont pas non plus ces nuances contenant du molybdène. Une exception connue concerne les acides fortement oxydants, tels que l'acide nitrique, auxquels les aciers inoxydables alliés au molybdène sont moins résistants.

Les alliages 316 et 317 présentent une résistance nettement supérieure à celle des autres aciers inoxydables au chrome-nickel dans les solutions d'acide sulfurique. À des températures pouvant atteindre 120 °F (49 °C), les alliages 316 et 317 résistent à des concentrations d'acide sulfurique allant jusqu'à 5 %. À des températures inférieures à 100 °F (38 °C), ces deux nuances démontrent une excellente résistance à des concentrations plus élevées. Toutefois, des essais en conditions réelles sont généralement recommandés, puisque les conditions d'exploitation et la présence de contaminants dans l'acide peuvent influencer considérablement la vitesse de corrosion. Lorsque la condensation de gaz contenant du soufre se produit, ces alliages sont beaucoup plus résistants que les autres types d'aciers inoxydables. Dans de telles applications, la concentration d'acide a cependant une influence importante sur le taux de corrosion et doit être déterminée avec soin.

Les aciers inoxydables 316 et 317, grâce à leur teneur en molybdène, offrent également une excellente résistance à une grande variété d'autres environnements corrosifs. Comme l'indiquent les données de corrosion en laboratoire ci-dessous, ces alliages présentent une excellente résistance à l'acide phosphorique bouillant à 20 %. Ils sont également largement utilisés pour la manipulation d'acides organiques et d'acides gras à température élevée. Cette caractéristique est particulièrement importante dans la fabrication et la manutention de certains produits alimentaires et pharmaceutiques, où l'utilisation d'aciers inoxydables contenant du molybdène est souvent nécessaire afin de minimiser la contamination métallique.

De manière générale, les nuances d'acier inoxydable 316 et 316L peuvent être considérées comme offrant des performances équivalentes dans un environnement donné. Il en va de même pour les alliages 317 et 317L. Une exception importante concerne les environnements suffisamment corrosifs pour provoquer une corrosion intergranulaire au niveau des soudures et des zones affectées thermiquement sur les nuances sensibles. Dans ces conditions, les alliages 316L et 317L sont respectivement préférés aux alliages 316 et 317 à l'état soudé, puisque leur faible teneur en carbone améliore la résistance à la corrosion intergranulaire.

Corrosion généralisée dans des solutions en ébullition

Solution d'essai à ébullition	Taux de corrosion, mils/an (mm/an)			
	316L		317L	
	Métal de base	Soudé	Métal de base	Soudé
Acide acétique 20 %*	0.12 (<0.01)	0.12 (<0.01)	0.48 (0.01)	0.36 (0.01)
Acide formique 45 %	23.4 (0.59)	20.9 (0.53)	18.3 (0.46)	24.2 (0.62)
Acide chlorhydrique 1 %*	226 (5.74)	300 (7.62)	54.2 (1.38)	51.4 (1.31)
Acide oxalique 10 %	48.2 (1.22)	44.5 (1.13)	44.9 (1.14)	43.1 (1.09)
Acide phosphorique 20 %*	0.20 (<0.01)	0.20 (<0.01)	0.72 (0.02)	0.60 (0.02)
Acide sulfamique 10 %	124 (3.16)	119 (3.03)	94.2 (2.39)	97.9 (2.49)
Acide sulfurique 10 %	635 (16.1)	658 (16.7)	298 (7.57)	356 (9.05)
Bisulfate de sodium 10 %	71.5 (1.82)	56.2 (1.43)	55.9 (1.42)	66.4 (1.69)
Hydroxyde de sodium 50 %	77.6 (1.97)	85.4 (2.17)	32.8 (0.83)	31.9 (0.81)

* Échantillons activés

Corrosion par piqûres et corrosion en crevasses

La résistance des aciers inoxydables austénitiques à la corrosion par piqûres et/ou à la corrosion en crevasses en présence d'ions chlorure ou d'autres halogénures est améliorée par des teneurs plus élevées en chrome (Cr), en molybdène (Mo) et en azote (N).

Une mesure relative de la résistance à la corrosion par piqûres est donnée par l'indice PREN (Pitting Resistance Equivalent Number, incluant l'azote), calculé selon la formule suivante :

PREN = Cr + 3,3 Mo + 16 N

L'alliage 316 ou 316L présente un PREN de 24,2, supérieur à celui de l'alliage 304 (PREN = 19,0), ce qui reflète sa meilleure résistance à la corrosion par piqûres grâce à sa teneur en molybdène. L'alliage 317 (ou 317L), contenant environ 3,1 % de molybdène et ayant un PREN de 29,7, offre une résistance à la corrosion par piqûres encore supérieure à celle des alliages 316 et 316L.

L'acier inoxydable 304 est généralement considéré comme résistant à la corrosion par piqûres et à la corrosion en crevasses dans des eaux contenant jusqu'à environ 100 ppm de chlorures. Les alliages 316 et 317 contenant du molybdène peuvent quant à eux être utilisés dans des eaux contenant respectivement jusqu'à environ 2 000 ppm et 5 000 ppm de chlorures.

Bien que ces alliages aient été utilisés avec des résultats variables dans l'eau de mer, qui contient environ 19 000 ppm de chlorures, leur utilisation dans ce type d'environnement n'est généralement pas recommandée.

Alliage	Composition (% en masse)			PRE [1] N	CCT [2] °F (°C)	CPT [3] °F (°C)
	Cr	Mo	N			
304	18.0	--	0.06	19.0	<27.5 (<-2.5)	-- --
316	16.5	2.1	0.05	24.2	27.5 (-2.5)	59 (15.0)
317	18.5	3.1	0.06	29.7	35.0 (1.7)	66 (18.9)
904L	20.5	4.5	0.05	36.2	68.0 (20.0)	104 (40.0)

[1] PREN (Indice équivalent de résistance aux piqûres, incluant l'azote) : PREN = Cr + 3,3Mo + 16N

[2] CCCT : Température critique de corrosion en crevasse selon ASTM G48B (6 % $FeCl_3$, 72 h, avec crevasses)

[3] CPT : Température critique de corrosion par piqûres selon ASTM G48A (6 % $FeCl_3$, 72 h)

Corrosion intergranulaire

L'exposition des aciers inoxydables austénitiques 18-8 à des températures comprises entre 800 °F et 1500 °F (427 °C à 816 °C) peut entraîner la précipitation de carbures de chrome aux joints de grains. L'acier devient alors « sensibilisé » et susceptible à la corrosion intergranulaire lorsqu'il est exposé à des environnements agressifs.

La teneur en carbone de l'alliage 304 peut permettre cette sensibilisation à la suite des cycles thermiques générés par les soudures autogènes et les zones affectées thermiquement. Pour cette raison, l'alliage 304L, dont la teneur en carbone est plus faible, est généralement préféré dans les applications où le matériau est mis en service à l'état soudé.

La faible teneur en carbone rallonge le temps nécessaire à la précipitation d'une quantité nuisible de carbures de chrome, mais elle n'élimine pas complètement ce phénomène lorsque le matériau demeure exposé pendant de longues périodes à cette plage de températures.

Fissuration par corrosion sous contrainte

Les alliages 304 et 304L comptent parmi les aciers inoxydables austénitiques les plus sensibles à la fissuration par corrosion sous contrainte (SCC) en présence d'halogénures, en raison de leur teneur relativement faible en nickel.

Les conditions favorisant ce type de corrosion sont :

1. La présence d'ions halogénures, principalement les chlorures;
2. Des contraintes résiduelles de traction;
3. Des températures supérieures à environ 120 °F (49 °C).

Les contraintes peuvent résulter de l'écrouissage lors de la mise en forme, de l'expansion mécanique de tubes dans des plaques tubulaires ou encore des opérations de soudage. Ces contraintes peuvent être réduites au moyen d'un recuit ou d'un traitement de détente après déformation à froid, ce qui diminue la sensibilité à la fissuration par corrosion sous contrainte induite par les chlorures.

Le matériau ATI 304L à faible teneur en carbone constitue généralement un meilleur choix lorsqu'un traitement de détente des contraintes est prévu dans des environnements pouvant également favoriser la corrosion intergranulaire.

Les données d'essais démontrent que diverses solutions chaudes contenant des chlorures peuvent entraîner la fissuration après des périodes variables d'exposition. L'élément essentiel à retenir est que la rupture finit généralement par se produire lorsque coexistent des chlorures, des contraintes élevées et des températures élevées.

Essais de corrosion intergranulaire

ASTM A 262 Essai	Taux de corrosion, mils/an (mm/an)		
	316	316L	317L
Pratique B	36 (0,9)	26 (0,7)	21 (0,5)
Métal de base soudé	41 (1,0) Corrosion intergranulaire	23 (0,6)	24 (0,6)
Pratique E	Aucune fissure au pliage / Quelques fissures sur la soudure (non conforme)	Aucune fissure / Aucune fissure	Aucune fissure / Aucune fissure

Essais de corrosion sous contrainte en présence d'halogénures (chlorures)

Essai	Éprouvettes en U (fortement sollicitées)		
	316	316L	317L
Chlorure de magnésium 42 %, à ébullition	Fissuration après 4 à 24 h	Fissuration après 21 à 45 h	Fissuration après 72 h
Chlorure de lithium 33 %, à ébullition	Fissuration après 48 à 569 h	Fissuration après 21 à 333 h	Fissuration après 22 à 72 h
Chlorure de sodium 26 %, à ébullition	Fissuration après 530 à 940 h	Aucune fissure après 1002 h	Fissuration après 1000 h
Chlorure de calcium 40 %, à ébullition	Fissuration après 144 à 1000 h	—	—
Exposition côtière à température ambiante	Aucune fissuration	Aucune fissuration	Aucune fissuration

RESISTANCE A L'OXYDATION

Les alliages 316 et 317 présentent une excellente résistance à l'oxydation ainsi qu'un faible taux de formation de calamine dans l'air à des températures atteignant 1600 à 1650 °F (871 à 899 °C). Les performances du 316 sont généralement légèrement inférieures à celles du 304 en raison de sa teneur en chrome un peu plus faible (16 % contre 18 % pour le 304).

Comme la vitesse d'oxydation dépend fortement de l'atmosphère rencontrée et des conditions d'exploitation, il est impossible de fournir des données universellement applicables à toutes les situations de service.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

Structure

Lorsqu'ils sont correctement recuits, les aciers inoxydables 316 et 317 présentent principalement une structure austénitique. De faibles quantités de ferrite peuvent être présentes. Lors d'un refroidissement lent ou lors d'un maintien prolongé entre 800 °F et 1500 °F (427 °C à 816 °C), des carbures précipitent et la structure est alors constituée d'austénite et de carbures

Intervalle de fusion:

2540-2630°F (1390-1440°C)

Densité:

0.29 lb/in^3 (8.027 g/cm^3)

Module d'élasticité en traction:

29 x 106 psi (200 Gpa)

Module de cisaillement:

11.9 x 106 psi (82 Gpa)

Coefficient de dilatation thermique linéaire

Plage de température		Coefficients	
°F	°C	in/in/°F	cm/cm/°C
68 - 212	20 - 100	$9.2x10^{-6}$	$16.5x10^{-6}$
68 - 932	20 - 500	$10.1x10^{-6}$	$18.2x10^{-6}$
68 - 1832	20 - 1000	$10.8x10^{-6}$	$19.5x10^{-6}$

Conductivité thermique

Plage de température		Btu•in/ hr•ft^2 •°F	W/m·K
°F	°C		
68-212	20-100	100.8	14.6

Le coefficient global de transfert thermique des métaux dépend de plusieurs facteurs en plus de leur conductivité thermique intrinsèque. La capacité des nuances inoxydables de type 18-8 à conserver des surfaces propres permet souvent un meilleur transfert thermique que certains métaux présentant pourtant une conductivité thermique plus élevée.

Chaleur spécifique

°F	°C	Btu/lb•°F	J/kg•K
68	20	0.108	450
200	93	0.116	485

Résistivité électrique

Type	Valeur à 68°F (20°C)	
	Microhm-in.	Microhm-cm.
316	29.1	74.0
317	31.1	79.0

Perméabilité magnétique

Les aciers inoxydables austénitiques sont non magnétiques à l'état recuit lorsqu'ils présentent une structure entièrement austénitique. La perméabilité magnétique des alliages 316 et 317 à l'état recuit est généralement inférieure à 1,02 à 200 H (oersteds). Les valeurs de perméabilité des matériaux écrouis varient en fonction de la composition chimique et du niveau de déformation à froid, mais sont habituellement supérieures à celles observées à l'état recuit. Des données détaillées peuvent être fournies sur demande.

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

Propriétés mécaniques à la traction à température ambiante

Les propriétés mécaniques minimales des tôles, plaques et bandes en acier inoxydable austénitique 316/316L et 317/317L à l'état recuit, conformément aux normes ASTM A240 et ASME SA-240, sont présentées ci-dessous.

Propriété	Propriétés mécaniques minimales exigées par ASTM A 240, and ASME SA-240			
	316 (S31600)	316L (S31603)	317 (S31700)	317L (S31703)
Limite d'élasticité à 0,2 % (psi)	30,000 (205)	25,000 (170)	30,000 (205)	30,000 (205)
Limite d'élasticité à 0,2 % (MPa)	75,000 (515)	70,000 (485)	75,000 (515)	75,000 (515)
Résistance à la traction (psi)	40.0	40.0	35.0	40.0
Résistance à la traction (MPa)	217 (95)	217 (95)	217 (95)	217 (95)

Effet de l'écrouissage

La déformation des alliages austénitiques à température ambiante, légèrement élevée ou abaissée entraîne une augmentation de la résistance mécanique accompagnée d'une diminution de l'allongement. Les propriétés représentatives des tôles 316/316L et 317/317L à température ambiante, à l'état recuit et écroui, sont présentées dans les tableaux suivants.

Les produits plats laminés 316, 316L, 317 et 317L sont généralement fournis à l'état recuit. Les données relatives aux bandes laminées à froid sont fournies à titre indicatif afin d'illustrer les effets de l'écrouissage lors des opérations de fabrication telles que l'emboutissage et le formage.

Composition des matériaux écrouis testés à température ambiante

Alliage	C	Mn	Cr	Ni	Mo
316	0.051	1.65	17.33	13.79	2.02
316L	0.015	1.84	16.17	10.16	2.11
317	0.062	1.66	18.60	13.95	3.30
317L	0.025	1.72	18.48	12.75	3.15

Alliage 316

Épaisseur : 0,040 po (1,0 mm) - Propriétés représentatives à température ambiante

Réduction à froid	Résistance à la traction 0.2% Offset		Limite d'élasticité		Résistance à la traction % en (51 mm)
	psi	MPa	psi	MPa	
Recuit	38,500	265	84,600	583	61.0
10	71,300	492	94,500	652	40.0
20	98,600	680	111,600	769	21.0
31	119,500	824	133,000	917	11.0
49	135,800	936	148,000	1,020	6.0
60	150,300	1,036	169,600	1,170	3.5

Alliage 316L

Épaisseur : 0,059 po (1,5 mm) - Propriétés représentatives à température ambiante

Réduction à froid	Limite d'élasticité 0.2% Offset		Limite d'élasticité		Résistance à la traction % en (51 mm)
	psi	MPa	psi	MPa	
Recuit	43,300	299	88,750	612	54.0
10	77,550	535	101,800	702	38.3
20	101,000	696	121,750	839	22.8
31	119,300	822	144,200	994	15.3
49	145,000	1,000	174,500	1,203	7.8
60	166,000	1,144	194,450	1,341	5.8

Alliage 317 - Épaisseur : 0,036 po (0,9 mm) - Propriétés représentatives à température ambiante

Réduction à froid	Limite d'élasticité 0.2% Offset		Limite d'élasticité		Résistance à la traction % en (51 mm)
	psi	MPa	psi	MPa	
Recuit	38,300	264	85,500	588	55.0
15	70,000	483	112,000	772	29.0
30	116,000	800	130,700	901	13.0
45	138,500	955	154,900	1,068	7.0
60	151,400	1,044	171,500	1,182	4.0

Alliage 317L - Épaisseur : 0,105 po (2,6 mm) - Propriétés représentatives à température ambiante

Réduction à froid	Limite d'élasticité 0.2% Offset		Limite d'élasticité		Résistance à la traction % en (51 mm)
	psi	MPa	psi	MPa	
Recuit	48,700	336	89,050	614	48.0
15	99,250	684	112,350	775	23.3
30	119,250	822	142,050	979	15.3
45	140,450	967	168,100	1,159	9.3
60	148,850	1,026	184,050	1,269	7.5

Propriétés de traction à température élevée

Les propriétés représentatives de traction à court terme à température élevée des alliages 316/316L et 317/317L, correspondant aux compositions chimiques indiquées, sont présentées ci-dessous

Composition des matériaux testés à température élevée

Alliage	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe
316	0.080	1.50	17.78	12.50	2.46	Bal.
316L	0.015	1.84	16.17	10.16	2.11	Bal.
317	0.061	1.30	19.18	14.19	3.57	Bal.
317L	0.025	1.72	18.48	12.75	3.15	Bal.

Alliage 316 — Propriétés représentatives à température élevée

Température d'essai		Limite d'élasticité décalée de 0,2 %		Résistance à la traction		Allongement sur 2 po (51 mm)	Réduction de section (%)
°F	°C	psi	MPa	psi	MPa		
68	20	42,400	292	82,400	568	68.0	81.0
200	93	—	—	75,600	521	54.0	80.0
400	204	—	—	71,400	492	51.0	78.0
600	316	—	—	71,150	491	48.0	71.0
800	427	26,500	183	71,450	493	47.0	71.0
1000	538	23,400	161	68,400	472	55.0	70.0
1200	649	22,600	156	50,650	349	24.0	32.0
1400	760	—	—	30,700	212	26.0	35.0
1600	871	—	—	18,000	124	47.0	40.0

Alliage 316L— Propriétés représentatives à température élevée

Température d'essai		Limite d'élasticité décalée de 0,2 %		Résistance à la traction		Allongement sur 2 po (51 mm)
°F	°C	psi	MPa	psi	MPa	
68	20	43,850	302	88,200	608	56.8
200	93	36,650	252	78,250	539	49.0
400	204	32,400	223	69,000	476	37.5
600	316	28,050	193	67,450	465	33.8
800	427	26,750	184	66,000	455	33.8
1000	538	25,900	179	64,350	444	36.8
1200	649	25,300	174	54,200	374	28.3
1400	760	22,100	152	42,000	290	25.0
1600	871	16,800	116	26,900	185	50.3

Alliage 317 — Propriétés représentatives à température élevée

Température d'essai		Limite d'élasticité décalée de 0,2 %		Résistance à la traction		Allongement sur 2 po (51 mm)	Réduction de section (%)
°F	°C	psi	MPa	psi	MPa		
68	20	36,700	292	81,800	564	68.0	80.0
200	93	—	—	74,100	492	54.0	79.0
400	204	—	—	68,900	475	48.0	76.0
600	316	—	—	68,950	475	49.0	72.0
800	427	21,900	151	70,200	484	49.0	69.0
1000	538	20,200	139	65,700	453	52.0	68.0
1200	649	19,600	135	49,800	343	—	—
1400	760	—	—	31,600	218	33.0	37.0
1600	871	—	—	18,400	127	51.0	50.0

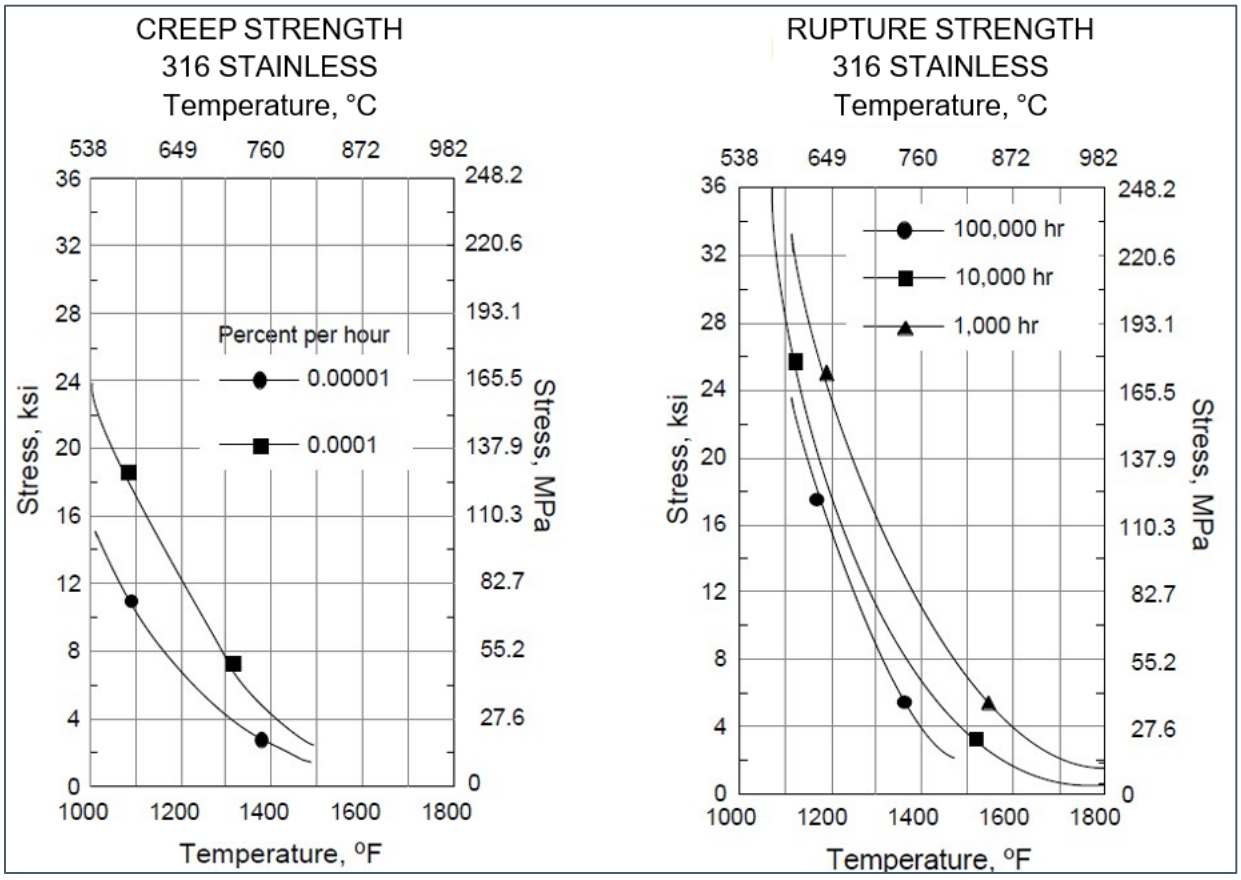
Alliage 317L — Propriétés représentatives à température élevée

Température d'essai		Limite d'élasticité décalée de 0,2 %		Résistance à la traction		Allongement sur 2 po (51 mm)
°F	°C	psi	MPa	psi	MPa	
68	20	46,250	319	88,500	610	49.8
200	93	38,650	266	80,350	554	42.8
400	204	33,500	231	73,350	506	38.8
600	316	29,100	201	70,550	486	35.3
800	427	26,450	182	69,750	481	34.3
1000	538	25,100	173	68,400	472	36.5
1200	649	23,650	163	59,700	412	31.5
1400	760	22,750	157	45,000	310	32.8
1600	871	19,150	132	29,050	200	50.0

Résistance à la rupture sous contrainte et propriétés de fluage

À des températures d'environ 1000 °F (538 °C) et plus, le fluage et la rupture sous contrainte deviennent des facteurs importants à considérer pour les aciers inoxydables austénitiques. Les valeurs de résistance au fluage et de résistance à la rupture sous contrainte rapportées dans la littérature présentent des variations importantes selon les chercheurs et les méthodes d'essai utilisées.

Des données représentatives pour l'acier inoxydable 316 à l'état recuit sont présentées ci-dessous dans le document d'origine. Les valeurs obtenues pour l'alliage 317 sont, à toutes fins pratiques, comparables.



RÉSISTANCE AUX CHOCS

Les aciers inoxydables austénitiques à l'état recuit conservent un niveau élevé de résistance aux chocs, même à des températures cryogéniques. Cette propriété, combinée à leur résistance mécanique à basse température et à leur excellente aptitude à la fabrication, explique leur utilisation étendue dans les applications cryogéniques. Des données représentatives de résilience Charpy à entaille en V pour l'alliage 316 à l'état recuit à température ambiante sont présentées ci-dessous.

Température		Énergie absorbée	
°F	°C	Ft-lb	J
75	23	65 - 100	88 - 134

Résistance à la fatigue

La résistance à la fatigue, ou limite d'endurance, correspond à la contrainte maximale en dessous de laquelle un matériau ne devrait pas subir de rupture après 10 millions de cycles dans un environnement atmosphérique. Pour les aciers inoxydables austénitiques, la résistance à la fatigue représente généralement environ 35 % de la résistance à la traction.

Les résultats obtenus en service peuvent varier considérablement puisque plusieurs facteurs influencent les propriétés de fatigue, notamment les conditions corrosives, le type et la valeur moyenne de la contrainte, la rugosité de surface ainsi que d'autres paramètres. Pour cette raison, il n'est pas possible de fournir une valeur unique de limite d'endurance représentative de toutes les conditions d'utilisation.

TRAITEMENT THERMIQUE

Recuit

Les aciers inoxydables austénitiques sont livrés à l'état recuit en usine, prêts à être utilisés. Un traitement thermique peut toutefois être nécessaire pendant ou après la fabrication afin d'éliminer les effets du formage à froid ou de dissoudre les carbures de chrome précipités à la suite d'expositions thermiques.

Pour les alliages 316 et 317, le recuit de mise en solution est réalisé par chauffage dans une plage de température de 1900 à 2150 °F (1040 à 1175 °C), suivi d'un refroidissement à l'air ou d'une trempe à l'eau, selon l'épaisseur de la section.

Le refroidissement doit être suffisamment rapide dans l'intervalle de 1500 à 800 °F (816 à 427 °C) afin d'éviter la reprécipitation des carbures de chrome et d'assurer une résistance optimale à la corrosion. Dans tous les cas, le métal doit être refroidi de la température de recuit jusqu'à la chaleur noire en moins de trois minutes.

Les alliages 316 et 317 ne peuvent pas être durcis par traitement thermique.

Forgeage

Température initiale	2100 - 2200°F (1150 - 1205°C)
Température de finition	1700 - 1750°F (927 - 955°C)

FABRICATION

Les aciers inoxydables austénitiques, y compris les alliages 316 et 317, sont couramment transformés dans une grande variété de formes, allant des plus simples aux plus complexes.

Ces alliages peuvent être cisaillés, poinçonnés et formés sur des équipements essentiellement semblables à ceux utilisés pour les aciers au carbone. L'excellente ductilité des alliages austénitiques permet leur mise en forme par pliage, étirage, emboutissage

profond et repoussage. Toutefois, en raison de leur résistance mécanique plus élevée et de leur fort taux d'écrouissage, les besoins en puissance lors des opérations de formage sont considérablement plus importants que pour les aciers au carbone. Une lubrification adéquate est essentielle afin de compenser leur résistance élevée et leur tendance au grippage.

Soudage

Les aciers inoxydables austénitiques sont considérés comme les plus soudables parmi les aciers inoxydables. Ils peuvent être assemblés par la plupart des procédés de soudage par fusion et par résistance. Deux éléments importants doivent être pris en considération :

1. Éviter la fissuration lors de la solidification.
2. Préserver la résistance à la corrosion de la soudure et des zones affectées thermiquement.

Les dépôts de soudure entièrement austénitiques sont plus sensibles à la fissuration durant le soudage. Pour cette raison, les métaux d'apport assortis aux nuances 316, 316L, 317 et 317L sont formulés de manière à solidifier avec une faible quantité de ferrite afin de réduire le risque de fissuration.

Pour les assemblages soudés qui seront utilisés à l'état soudé dans des environnements corrosifs, il est recommandé d'utiliser les métaux de base et les métaux d'apport à faible teneur en carbone 316L et 317L. Plus la teneur en carbone est élevée, plus les cycles thermiques du soudage peuvent favoriser la précipitation de carbures de chrome (sensibilisation), ce qui peut entraîner une corrosion intergranulaire. Les nuances « L » ont été développées afin de minimiser ou d'éviter ce phénomène.

Les dépôts de soudure riches en molybdène peuvent présenter une diminution de leur résistance à la corrosion dans les environnements sévères en raison de la microségrégation du molybdène. Pour compenser cet effet, il peut être nécessaire d'augmenter la teneur en molybdène du métal d'apport. Pour certaines applications exigeantes impliquant les alliages 317, des dépôts contenant 4 % ou plus de molybdène peuvent être souhaitables.

Les métaux d'apport de type 904L (AWS ER385, 4,5 % Mo) ou Alliage 625 (AWS ERNiCrMo-3, 9 % Mo) ont déjà été utilisés à cette fin.

Il convient également d'éviter toute contamination de la zone de soudage par le cuivre ou le zinc, puisque ces éléments peuvent former des composés à bas point de fusion susceptibles de provoquer des fissures de soudage.

Nettoyage

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

Pendant le soudage, il est important que les surfaces soient propres et que des gaz de protection inertes appropriés soient utilisés. Les oxydes ou scories produits par le soudage doivent être éliminés à l'aide d'une brosse en fil d'acier inoxydable. Les brosses en acier au carbone peuvent laisser des particules incrustées à la surface qui finiront par provoquer de la rouille. Pour les applications plus sévères, les zones soudées devraient être traitées avec une solution de décapage, telle qu'un mélange d'acides nitrique et fluorhydrique, puis soigneusement rincées à l'eau propre.

Pour les surfaces exposées à des environnements industriels légers ou à des conditions de service peu agressives, un entretien minimal est requis. Seules les zones abritées nécessitent un lavage occasionnel à l'eau sous pression. Dans les environnements industriels lourds ou marins, des lavages fréquents sont recommandés afin d'éliminer les dépôts de saleté et de sel pouvant provoquer de la corrosion et altérer l'apparence de la surface inoxydable.

Les taches tenaces et les dépôts tels que les résidus alimentaires 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 de 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 nécessitent un nettoyage ou une stérilisation régulière. Les équipements sont nettoyés à l'aide de solutions alcalines ou acides spécialement formulées, telles que les acides phosphorique ou sulfamique, ou encore avec des solvants organiques. Les acides fortement réducteurs comme les acides fluorhydrique et chlorhydrique peuvent être nocifs pour 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.

Une bonne conception peut également faciliter le nettoyage. Les coins arrondis, les rayons de raccordement et l'absence de crevasses contribuent à améliorer la nettoyabilité, tout comme les soudures meulées lisses et les surfaces polies.

FINITIONS DE SURFACE

Une gamme de finis de surface d'usine est offerte pour les aciers inoxydables. Ces finis sont désignés par une série de numéros.

Fini n° 1 – Fini obtenu par laminage à chaud, recuit et décapé. Disponible pour les plaques et les tôles, il est utilisé pour les applications fonctionnelles où l'apparence décorative n'est pas prioritaire.

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 adapté aux pièces fortement embouties ou formées.

Fini n° 2B – Fini plus brillant que le 2D. Il est produit de manière similaire au fini 2D, mais comprend une légère passe d'écrouissage sur un laminoir à cylindres polis après le recuit final. Il s'agit d'un fini à usage général convenant à la plupart des opérations de formage à froid. Sa surface plus lisse facilite également le polissage par rapport aux finis n° 1 et n° 2D.

Fini n° 2BA (recuit brillant) – Fini très lisse obtenu par laminage à froid et recuit brillant. Une légère passe sur des cylindres hautement polis procure un aspect brillant. Ce fini est utilisé pour les applications nécessitant un léger formage et un fini brillant sur la pièce finale.

Finis polis – Divers degrés de meulage et de polissage sont disponibles.

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