Table de matières		page
1	**Qu'est-ce que l'acier inoxydable?**	**144**
2	**Corrosion**	**144**
2.1	Qu'est-ce que la corrosion?	**144**
2.2	Genres de corrosion	**144**
2.3	Passivité ou «Qu'est-ce qui rend l'acier inoxydable résistant à la corrosion?»	**147**
2.4	Données sur la corrosion	**148**
2.5	Informations nécessaires pour les clarifications	**148**
3	**Classement des aciers inoxydables**	**148**
3.1	Généralités	**148**
3.2	Structures des aciers inoxydables	**148**
3.3	Les principaux éléments d'alliage et leur influence sur les caractéristiques de l'acier	**149**
3.4	Caractéristiques des aciers inoxydables	**150**
4	**Essai des matériaux**	**153**
4.1	Essais mécaniques (destructifs)	**153**
4.2	Essais physiques	**156**
4.3	Essais chimiques	**157**
4.4	Examens structurels	**157**
5	**Mise en forme et usinage**	**158**
5.1	Principes généraux de mise en forme et d'usinage	**158**
5.2	Mise en forme par formage	**158**
5.3	Usinage par enlèvement de copeaux	**158**
5.4	Polissage	**159**
5.5	Soudage	**160**
5.6	Brasage	**164**
5.7	Collage	**164**
5.8	Rivetage, vissage	**164**
5.9	Problèmes de contacts de l'acier inoxydable avec d'autres matériaux	**164**
5.10	Traitement thermique	**164**
5.11	Nettoyage et entretien	**165**
6	**Normes**	**166**
6.1	EN 10088	**166**
6.2	Autres normes	**167**
7	**Tabelles et informations techniques**	**168**

© KOHLER 2021

1 QU'EST-CE QUE L'ACIER INOXYDABLE?

Il existe diverses expressions pour désigner des aciers qui résistent à la corrosion, comme «inoxydable, acier au chrome, au chrome nickel, acier V2A ou V4A», etc., qui évoquent souvent pour le profane des idées erronées ou exagérées. Tous ces termes seront réunis par la suite sous le nom «acier inoxydable». Dans toutes ces expressions, il faut prendre en considération que la résistance d'une matière dépend de sa composition chimique, de son traitement et de l'agressivité de son environnement. Une prise en compte erronée ou insuffisante de ces relations peut conduire à des dégâts catastrophiques. D'autre part, par l'emploi adéquat d'aciers inoxydables, malgré des frais d'investissement plus élevés, vu sur toute la durée de vie, d'appréciables économies sont réalisables par la suppression ou la réduction des travaux d'entretien. La condition en est toutefois de clarifier en détail les mécanismes possibles de la corrosion déjà au moment du projet. Les aciers inoxydables sont des alliages à base de fer, c'est-à-dire qu'ils se composent au moins de 50 % de fer, à l'exception de quelques sortes fortement alliées et particulièrement résistantes à la corrosion.
Un acier est désigné comme inoxydable s'il ne se corrode pas à l'air humide ou dans de l'eau pure contenant de l'oxygène.

2 CORROSION

2.1 Qu'est-ce que la corrosion?

En relation avec les aciers inoxydables, il est inévitable de se trouver confronté au terme de «corrosion». Selon la norme DIN 50900, on définit la «corrosion» comme la «réaction d'une matière métallique avec son environnement, qui produit un changement mesurable de la matière et qui peut conduire à la dégradation de la fonction d'un élément de construction métallique ou de tout un système». On peut pour simplifier désigner la «corrosion» comme étant la «destruction d'une matière métallique par son environnement (dissolution du métal)». La corrosion ne peut avoir lieu que si l'acier entre en contact avec un environnement (fluide) présentant une action corrosive. Sur les aciers non alliés, l'eau pure qui contient dans la plupart des cas une certaine quantité d'oxygène dissout à une action corrosive. L'acier n'a alors pas besoin d'être nécessairement plongé dans l'eau, une humidité de l'air relativement haute suffit déjà.

Le fait qu'un acier se corrode dépend fortement des facteurs suivants:
- alliage (matière)
- concentration des substances ayant une action corrosive dans l'environnement (fluide)
- température
- éventuelles impuretés dans le fluide

De faibles variations de température, de concentration et d'impuretés déjà peuvent selon les circonstances conduire à un changement notable de la vitesse de corrosion!

2.2 Genres de corrosion

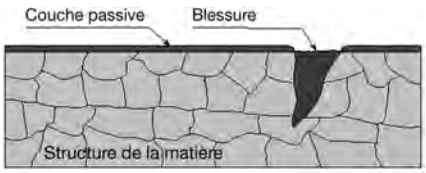
2.2.1 Genres de corrosion

La corrosion présente divers mécanismes et phénomènes qui seront décrits brièvement dans ce qui suit. On distingue les phénomènes suivants de corrosion, qui sont cependant tous dus à la même cause, soit une «passivité insuffisante» de l'acier aux conditions en présence:
- Corrosion uniforme ou générale (anglais: uniform corrosion)
- Corrosion par piqûres (anglais: pitting)
- Corrosion dans les fissures (anglais: crevice corrosion)
- Corrosion galvanique ou par contact (anglais: galvanic corrosion)
- Corrosion intercristalline ou aux joints des grains (anglais: intergranular corrosion)
- Corrosion fissurante sous tension (anglais: stress corrosion cracking SCC)
- Corrosion par fatigue (anglais: corrosion fatigue)
- Corrosion par érosion (anglais: erosion corrosion)
- Rouille erratique (anglais: rust film, initial easily removable rust)

2.2.2 Corrosion uniforme ou générale

On parle de corrosion uniforme quand tous les endroits de la surface se corrodent régulièrement. Au contraire des autres formes de corrosion, celle-ci est bien visible à l'œil nu. Par des essais en laboratoire ainsi que dans la pratique, on peut très bien déterminer, pour ce genre d'attaque, la vitesse de diminution de la matière en fonction de la concentration et de la température, c'est-à-dire que ces valeurs peuvent être utilisées pour des calculs (surépaisseur de corrosion, calcul de la durée de vie).
Si un acier présente, sous certaines conditions de corrosion (fluide, concentration, température) une **vitesse de corrosion de moins de 0.1 mm/année,** il est désigné comme **«résistant à la corrosion sous ces conditions».**

2.2.3 Corrosion par piqûres (induite par le chlore)



Dans la corrosion par piqûres, il se produit sous l'action du fluide corrosif des attaques localisées dans le matériel de base, sous la forme de petits creux, alors que la plus grande partie de la surface de la matière reste passive et sans dommage. Ces creux sont dispersés irrégulièrement, ils deviennent toujours plus profonds et peuvent perforer une tôle ou un tube en un temps très court. La corrosion par piqûres se produit en présence d'ions d'halogénures (atomes chargés électriquement

© KOHLER 2021

de chlore, fluor, iode ou brome), les ions chlorure et bromure étant les plus agressifs. Les processus de la corrosion par piqûres sont complexes. On remarque que la surface passive de l'acier résistant à la corrosion se perfore en certains points, ces points étant actifs et moins nobles que le reste de la surface. Ces endroits actifs où la matière se dissout forment des anodes, alors que le reste de la surface représente la cathode. Il se forme de cette façon des éléments galvaniques qui produisent des courants électriques. Les anodes et les cathodes sont ici parcourues par les mêmes intensités de courant. La surface de la partie active moins noble étant très petite, il en résulte une forte densité de courant et ainsi une grande vitesse de dissolution. C'est ainsi que s'expliquent les perforations ponctuelles rapides qui se présentent souvent dans la pratique.
De nouvelles méthodes d'examen montrent que les attaques ont toujours lieu dans les parties hétérogènes de la matière (impuretés). La pureté de la matière a donc une grande importance. La résistance à la corrosion par piqûres peut en outre être influencée par les éléments d'alliage:

élément	résistance à la corrosion par piqûres	
	augmentée	diminuée
Chrome (Cr)	×	
Nickel (Ni)	×	
Molybdène (Mo)	×	
Azote (N)	×	
Titane (Ti)		×
Niobium (Nb)		×
Soufre (S)		×
Sélénium (Se)		×
Carbone (C)		×

Le Mo élève considérablement la résistance dans les solutions contenant des chlorures. L'effet augmente avec la teneur en Mo et elle est la plus grande après une passivation chimique de la surface.

Le risque de corrosion par piqûres peut aussi être diminué par la construction, en veillant à ce que l'appareil ne présente ni fentes ni cavités où les ions d'halogénures peuvent se concentrer. La qualité de la surface a fréquemment une influence marquante sur la résistance. Une surface décapée, rectifiée ou finement polie et passivée présente la meilleure résistance. La résistance d'une matière à la corrosion par piqûres peut être déduite de la somme efficace (valeur PRE). Il s'agit dans ces indications de valeurs empiriques qui doivent être prises comme indicatives. Les valeurs donnent un point de repère indiquant que la matière présente une résistance meilleure ou moins bonne qu'une autre.

Somme efficace PRE (**P**itting **R**esistance **E**quivalent)

$$PRE_{16/30} = \%Cr + 3.3 \times \%Mo + 16(30) \times \%N$$

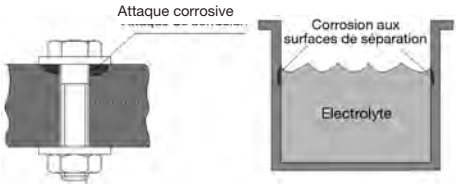
Les valeurs approximatives PRE_{16} pour une composition moyenne d'alliage sont indiquées dans le tableau 7.2.

La prévention la plus sûre de corrosion par piqûres est obtenue par la protection cathodique, où deux procédés sont appliqués:

a) principe de l'anode perdue: des électrodes d'un métal moins noble, par ex. en magnésium (Mg) ou en zinc (Zn) plongent dans le fluide. Ces électrodes sont reliées électriquement à la matière qui doit être protégée. Il se forme un élément galvanique (pile) et le métal moins noble se dissout, c'est-à-dire que l'anode perdue disparaît progressivement et qu'elle doit être remplacée.

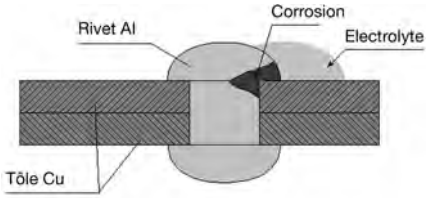
b) principe de la source de courant extérieure: application d'un courant électrique d'une source extérieure de courant continu, l'acier inoxydable étant raccordé au pôle négatif de la source de courant. On couple également une électrode auxiliaire de platine, de graphite ou analogue, plongée dans le fluide. Ces électrodes auxiliaires ne doivent naturellement pas entrer en contact avec l'acier à protéger.

2.2.4 Corrosion dans les fissures



Ce genre de corrosion a lieu de préférence dans les jeux et les cavités nécessités par la construction. Si un liquide remplit une fente étroite entre deux parois de matières, la solution y est souvent retenue, c'est-à-dire que de la boue et des impuretés s'y déposent. Cela conduit d'une part à ce que l'oxygène nécessaire pour la passivation ne peut plus parvenir en quantité suffisante à la surface de l'acier et d'autre part à ce que des substances corrosives puissent s'enrichir. Cela conduit forcément à une attaque localisée. On trouve entre autres la corrosion dans les fissures sous des joints, des assemblages vissés, des incrustations (par ex. calcaire), etc.
On devrait viser, comme mesure de protection, des constructions sans jeux ou alors avec des jeux assez ouverts pour faciliter l'accès de l'oxygène.
Si des incrustations (par ex. calcaire) doivent être attendues, il est judicieux de polir les pièces correspondantes ou de former la construction de telle sorte qu'une visite et un nettoyage de ces parties soient rendus possibles.

2.2.5 Corrosion galvanique (ou par contact)



Ce genre de corrosion peut se produire si l'acier est en contact conducteur de l'électricité dans un électrolyte avec une autre matière conductrice d'électricité (en général un métal). Des courants galvaniques s'écoulent alors dans l'électrolyte. Selon la position du métal par rapport à l'acier inoxydable dans la série des tensions électrolytiques, la résistance à la corrosion de l'acier peut augmenter ou diminuer.

© KOHLER 2021

Certains électrolytes peuvent placer un acier inoxydable dans un état tel qu'ils peuvent traverser la couche de protection passive. Le potentiel de l'acier s'en trouve réduit et peut devenir inférieur au potentiel du métal en contact.
Le potentiel des métaux et alliages peut varier selon la concentration et la composition chimique de l'électrolyte.
Pour des assemblages, il faudrait donc utiliser des matériaux de même nature. Si ce n'est pas possible pour diverses raisons, le matériau le plus noble devrait être recouvert par une peinture ou un revêtement de matière plastique ou les deux métaux devraient être complètement isolés l'un de l'autre.

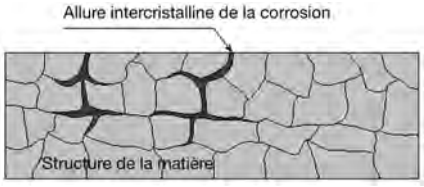
Le tableau suivant montre quels assemblages de matériaux (matériaux en contact électrique direct) peuvent être utilisés et sous quelles conditions:

	acier inoxydable	acier C	bronze d'alu	bronze au phosphore	cuivre	fonte	aluminium	zinc
acier inoxydable	o	×	=	=	=	×	×	=
acier C	×	o	×	×	×	=	×	×
bronze d'alu	=	×	o	o	o	×	×	×
bronze au phospore	=	×	o	o	o	×	×	×
cuivre	=	×	o	o	o	×	×	×
fonte	×	=	×	×	×	o	×	×
aluminium	×	×	×	×	×	×	o	=
zinc	=	×	×	×	×	×	=	o

o L'assemblage peut être utilisé sous toutes les conditions
= L'assemblage peut être utilisé sous des conditions **sèches**
×L'assemblage ne doit pas être utilisé

Les aciers inoxydables austénitiques peuvent être utilisés entre eux sans risque (par ex. 1.4301 et 1.4435).

2.2.6 Corrosion intercristalline (ou aux joints des grains)

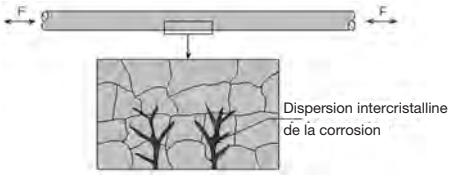


La corrosion intercristalline est un problème connu sur les aciers austénitiques et ferritiques. Si un acier est maintenu pendant une longue durée à des températures comprises entre 500 et 900 °C environ (aciers austénitiques), respectivement à plus de 1000 °C (aciers ferritiques), par ex. lors d'un traitement thermique ou du soudage, des carbures de chrome peuvent se séparer aux joints des grains. On enlève ainsi à l'environnement le chrome important pour la protection contre la corrosion, ce qui signifie que la zone du joint des grains s'appauvrit en chrome et que la résistance à la corrosion diminue à cet endroit. Une éventuelle corrosion se propage ainsi le long des joints des grains et provoque la destruction de la structure.

Mesures pour empêcher ce genre de corrosion:

1. Réduction de la teneur en carbone à moins de 0,03 % (par ex. 1.4306/07 ou 1.4404/32/35) puisque la formation de carbures est influencée par la quantité de carbone disponible.
2. Stabilisation / liaison du carbone par des éléments d'alliage fortement carburigènes comme le niobium ou le titane (1.4541 resp. 1.4571). Ces méthodes ont été utilisées autrefois entre autres, quand les techniques de réduction de la teneur en carbone n'étaient pas encore au point. L'emploi de ces matériaux stabilisés n'est plus adéquat aujourd'hui que pour de hautes températures de service, de plus de 300 °C environ. Pour des températures de service plus basses, la préférence est donnée aux matériaux à bas carbone (voir point 1). En Allemagne, ces matériaux sont encore répandus pour des raisons de tradition.
3. Recuit de recristallisation à des températures de plus de 1050 °C (aciers austénitiques), respectivement entre 750 et 850 °C environ (aciers ferritiques), suivi d'un refroidissement rapide. Les carbures se trouvent ainsi de nouveau dissous et la sensibilité aux attaques aux joints des grains est éliminée.

2.2.7 Corrosion fissurante sous tension (SCC - stress corrosion cracking)



Pour que se produise une corrosion fissurante sous tension, les 3 facteurs suivants doivent toujours être présents:

1. des contraintes de traction,
2. un fluide agressif et
3. un matériau sensible à la SCC

La SCC est déclenchée par des contraintes de traction internes ou appliquées de l'extérieur. Les contraintes de compression s'opposent à ce genre de corrosion. La SCC peut même apparaître sur des aciers qui seraient résistants au fluide correspondant en l'absence de contraintes de traction. Elle conduit à la formation de fissures qui se développent en général perpendiculairement à la tension et qui ne sont souvent que difficilement perceptibles à l'œil nu. Comme elle apparaît toujours sur des pièces sollicitées en traction, cela peut conduire à une défaillance catastrophique des pièces concernées (par ex. piscine d'Uster).
Les aciers austénitiques sont très sensibles à ce genre de corrosion, qui est plutôt rare avec les aciers ferritiques et les aciers ferrito-austénitiques.
Les fluides agressifs qui causent souvent ce genre de corrosion sont les solutions contenant du chlore ou des alcalis. L'eau et la vapeur d'eau peuvent aussi conduire dans certains cas à la corrosion fissurante sous tension sur l'austénite. Quand la concentration en ions de chlorure augmente, la sensibilité augmente aussi, et à de hautes températures, de faibles teneurs en chlorure peuvent déjà conduire à des dégâts.

© KOHLER 2021

Afin d'empêcher la corrosion fissurante sous tension, les pièces formées à froid ou soudées devront être recuites pour éliminer les contraintes causées. Les aciers Cr-Ni simples, c'est-à-dire non stabilisés, seront chauffés à cet effet au-dessus de 900°C. A des températures de recuit inférieures, il y a un risque de corrosion intercristalline. Sur les aciers stabilisés au niobium ou au titane ou sur ceux qui présentent une teneur particulièrement basse en C, il est recommandé de faire un recuit de détente à 900°C suivi d'un refroidissement lent. La meilleure méthode est un recuit de mise en solution à 1050°C suivi d'une trempe à l'eau. Sur les aciers fortement alliés au Cr-Ni-Mo (Mo 4.5, resp. 6 %), la résistance à la SCC n'est pratiquement pas influencée par une déformation jusqu'à 30 % environ.
Dans la construction, où l'on demande en plus de la plus haute résistance à la corrosion également une grande résistance à la traction des matériaux, qui ne peut cependant être obtenue que par écrouissage, les aciers 1.4539 (904L) et 1.4547 (254SMO) ont fourni les meilleurs résultats.

2.2.8 Corrosion par fatigue

La corrosion par fatigue est une fatigue mécanique qui est accélérée par la corrosion. Si le matériau est soumis à des charges alternées (par ex. vibrations) dans un milieu corrosif, la couche passive mince se brise à répétition. Elle ne peut ni se renouveler ni se stabiliser, et le fluide a ainsi accès à la structure non protégée du métal.
Ce genre de corrosion s'observe fréquemment sur des échangeurs de chaleurs, des arbres d'agitateurs, des arbres de pompes et dans des conduites qui se trouvent en relation avec une pompe qui cause des vibrations. Par l'emploi d'un élément formé d'un tube de caoutchouc entre la pompe et le système de tuyauterie, les vibrations peuvent être éliminées et le problème sera résolu avec certitude.

2.2.9 Corrosion par érosion

Ce genre de corrosion se produit par une attaque commune d'érosion et de corrosion. Des liquides ou des gaz qui normalement n'attaquent pas un acier peuvent causer de fortes attaques en cas de grandes vitesses d'écoulement (tourbillons). L'attaque est renforcée si le fluide qui s'écoule contient encore des substances abrasives. Il se produit alors des dépressions caractéristiques en forme de fer à cheval qui sont creusées dans le sens de l'écoulement et qui présentent une surface nue exempte de points de corrosion. L'attaque peut dépendre fortement de la température du fluide qui s'écoule.
Ce genre de corrosion peut être contré ou évité en construisant les endroits exposés de telle sorte que la formation de tourbillons ou d'ondes de choc soient réduites. Une vitesse d'écoulement modérée de 1 à 2 m/s est adéquate. Si cela ne permet pas d'atteindre le résultat voulu, il faut choisir au lieu d'un matériau austénitique un acier présentant une résistance accrue à l'abrasion, par ex. un acier duplex ferrito-austénitique.

2.2.10 Rouille erratique

Ce genre de corrosion peut trouver sa cause dans une surface pas complètement décalaminée (cordons de soudure) ou dans les dépôts de fer à la surface de l'acier inoxydable. Nous reviendrons au chapitre 5.5.5 sur le point de la retouche correcte des cordons de soudure.

L'origine des dépôts de fer est souvent difficile à situer. Des causes possibles peuvent être:
- contact avec de l'acier ordinaire lors du stockage ou du transport (par ex. bandes d'acier)
- séparation «noir/blanc» insuffisante lors de l'usinage ou sur le chantier
- nuisances de l'environnement (par ex. poussière de freins de trains).

Selon l'importance de l'attaque, l'acier inoxydable doit être nettoyé. Cela peut se réaliser au moyen de produits de nettoyage spéciaux (voir chapitre 7.12) ou dans des cas tenaces par meulage ou décapage (veillez à respecter les prescriptions d'application et de protection de l'environnement!). Normalement, l'acier inoxydable n'est pas dégradé par la rouille erratique. En cas d'une attaque forte ou qui est restée longtemps sans avoir été éliminée, la matière de base peut subir des dommages.

2.3 Passivité ou «Qu'est-ce qui rend l'acier inoxydable résistant à la corrosion?»

Exposée à l'air humide ou à l'eau contenant un acide, la surface non protégée d'un acier faiblement allié réagit très rapidement, c'est-à-dire qu'elle rouille. La rouille se compose d'un mélange hétérogène d'oxydes et d'hydroxydes de fer. Cette couche étant perméable à l'oxygène et à l'humidité, les hydroxydes et oxydes de fer d'abord formés peuvent continuer à réagir. La surface d'acier se trouvant sous la couche de rouille peut continuer à rouiller jusqu'à ce que tout le fer élémentaire disponible soit transformé en hydroxydes ou oxydes de fer. Les couches de rouille sont en outre fragiles et elles adhèrent mal, c'est-à-dire qu'elles s'écaillent facilement.
Les aciers inoxydables doivent leur résistance entre autres à l'élément d'alliage chrome. Les atomes de chrome de la surface de l'acier réagissent avec l'oxygène de l'air en oxyde de chrome. L'oxyde de chrome forme à la surface une couche de 0,001 à 0,01 µm d'épaisseur (l'épaisseur d'un cheveu humain est de 0,05 mm environ!), qui au contraire de la couche de rouille adhère bien et présente une très bonne résistance et étanchéité chimique. La couche est non seulement très ductile, mais en plus, en présence d'oxygène et si la surface est propre, elle se forme et se répare elle-même. Sous des conditions appropriées, la couche a atteint 80 % de son épaisseur finale après 24 h environ. Dans cet état, l'acier peut être considéré comme passif. Par une passivation (immersion dans l'acide nitrique), la couche passivée peut être encore renforcée artificiellement, de la même manière que l'oxydation anodique de l'aluminium. La couche d'oxyde de chrome a de plus la fonction d'une paroi de séparation entre le fluide et l'acier. Dans un environnement exempt d'oxygène, il ne se produit aucune formation ni réparation de la couche passive, c'est-à-dire que l'acier reste à l'état actif; la vitesse de corrosion dépend de la vitesse de dissolution dans le fluide correspondant. La vitesse de dissolution est réduite par les métaux d'alliage (nickel, molybdène, cuivre).

© KOHLER 2021

2.4 Données sur la corrosion

On a déjà indiqué au chapitre 2.1 que la vitesse de corrosion peut dépendre fortement selon les circonstances de la concentration du fluide, de la température et d'éventuelles impuretés. Des données partielles, par ex. à la température ambiante ou d'ébullition, pouvant donner lieu à des évaluations gravement erronée et des données complètes (courbes d'isocorrosion) étant très volumineuses, nous renonçons délibérément à la publication de données sur la corrosion.
Nos spécialistes des matériaux vous soutiendront cependant volontiers si vous devez être confronté à des problèmes de corrosion lors du projet, de l'acquisition ou dans le cas de dommage. Une acquisition préalable soignée des informations mentionnées dans le chapitre suivant est cependant indispensable pour une réponse prompte à vos questions.

2.5 Informations nécessaires pour les clarifications

2.5.1 Projet, acquisition

- Avec quel fluide le matériau entre en contact? (produits d'exploitation ou de nettoyage, impuretés)
- Dans quelles concentrations se présentent ces fluides
- Quelles sont les températures de service max. à attendre?
- Existe-t-il encore d'autres facteurs qui influencent la corrosion?

2.5.2 Cas de dommage

Malgré toutes les précautions, des cas de dommage ne peuvent pas être exclus. Pour éclaircir un cas de dommage, les indications suivantes sont nécessaires en plus des informations mentionnées au chapitre 2.5.1:

- Numéro et désignation de matière
- Le matériau a-t-il été soumis à un traitement thermique?
- Numéro de commande, de bulletin de livraison, de facture ou de charge
- Est-il possible que de l'air contaminé ait été aspiré (par ex. solvant, aérosols de sel à dégeler en hiver, usure de sols en ciment de bois contenant du chlore, vapeurs de fluides d'exploitation contenant des halogénures) ou que le matériau se soit trouvé en contact avec des substances qui n'ont pas été prévues ou prises en considération lors du projet, par ex. des produits de nettoyage ou de désinfection?

3 CLASSEMENT DES ACIERS INOXYDABLES

3.1 Généralités

Il existe divers critères pour la subdivision des aciers inoxydables, et les désignations sont en conséquence nombreuses:

a) Structure microscopique
- aciers ferritiques
- aciers martensitiques
- aciers austénitiques
- aciers austéno-ferritiques ou duplex
- aciers à durcissement par précipitation

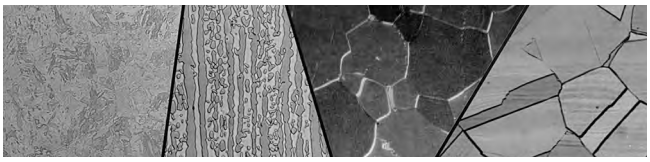
b) Composition chimique (alliage)
- aciers austénitiques au chrome-nickel (aciers V2A, aciers Cr-Ni, série AISI 300)
- aciers austénitiques au chrome-nickel-molybdène (aciers V4A, aciers Cr-Ni-Mo, série AISI 300)
- aciers austénitiques au chrome-manganèse-(nickel) (série AISI 200)
- aciers au chrome, ferritique et martensitique (série AISI 400)
- aciers alliés à l'azote
- aciers stabilisés au titane ou au niobium

c) But et domaine d'utilisation, caractéristiques
- aciers réfractaires
- aciers résistants au froid
- aciers résistants au fluage
- aciers amagnétiques
- aciers trempables
- aciers fortement résistants aux acides
- aciers à usinabilité améliorée (aciers de décolletage)

Ces classements se chevauchant souvent, **on fait en pratique le plus souvent la répartition suivante:**
- aciers ferritiques
- aciers martensitiques
- aciers austénitiques
  - aciers austénitiques au chrome-nickel (V2A)
  - aciers austénit. au chrome-nickel-molybdène (V4A)
- superaustenite ou aciers fortement résistants aux acides
- aciers austéno-ferritiques ou duplex
- aciers réfractaires
- aciers résistants au fluage

Des indications détaillées telles que la composition chimique, les caractéristiques mécaniques et physiques sont données au chapitre 7.

3.2 Structures des aciers inoxydables



Martensite Duplex Ferrite Austénite

3.2.1 Ferrite

La structure ferritique est formée de grains plus ou moins isométriques (sphériques) avec des limites nettement perceptibles.
La ferrite ne peut dissoudre que très peu de carbone, mais par contre de plus grandes quantités d'autres éléments d'alliage

© KOHLER 2021

comme le chrome (Cr), le nickel (Ni) et le manganèse (Mn), qui influencent ses caractéristiques, comme par ex. la résistance à la corrosion.

3.2.2 Martensite

La structure martensitique est une structure en fines aiguilles, non structurée, dure et fragile, c'est-à-dire sans limite des grains clairement perceptible. Elle se produit par un refroidissement rapide d'une structure austénitique (transformation structurale). Le refroidissement doit alors se faire si rapidement que le carbone dissout dans la structure austénitique initiale n'a pas le temps de quitter la maille de fer et ainsi la structure se tend. Cette structure dure tendue présente une grande dureté, mais aussi une fragilité élevée, de telle sorte qu'elle n'est pratiquement pas utilisable. Pour éliminer cette fragilité, la structure doit être chauffée une nouvelle fois (revenue). Par le revenu, on peut régler dans certaines plages les caractéristiques mécaniques (résistance à la traction, dureté, ténacité, etc.).

3.2.3 Austénite

La caractéristique d'une structure austénitique est donnée par une délimitation marquée des grains, partiellement rectilignes et parallèles. Par des teneurs correspondantes en Ni et Mn, cette structure peut aussi être stable à température ambiante. Les structures austénitiques sont (au contraire des structures ferritiques et martensitiques) amagnétiques, tenaces et elles ne peuvent être durcies que par déformation à froid (écrouissage).

3.2.4 Duplex

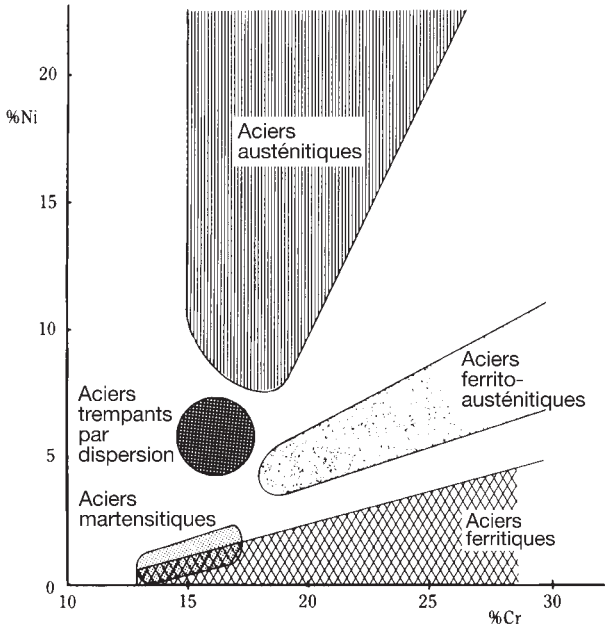
La structure duplex se compose de deux constituants clairement reconnaissables (phases), de 50 % chacun, l'un ferritique et l'autre austénitique. Cette structure réunit en conséquence beaucoup de caractéristiques positives provenant des deux constituants de la structure.

3.2.5 Structure à durcissement par précipitation

Les aciers à durcissement par précipitation contiennent de petites quantités d'éléments d'alliage spéciaux comme par ex. le cuivre (Cu) et le niobium (Nb). Par un recuit de mise en solution, tous les éléments d'alliage sont dissous dans la structure du fer. Par un refroidissement rapide qui suit, ces éléments restent dissous, c'est-à-dire qu'il se produit un état métastable. L'acier tendant cependant à un état stable, ces éléments dissous de force se séparent au cours du temps et forment dans la structure de fines précipitations réparties régulièrement, qui provoquent une augmentation de la résistance. Par un traitement thermique correspondant (vieillissement, maturation), ce processus de précipitation peut être accéléré et influencé selon planification. Les aciers trempables par dispersion présentent une structure austénitique, martensitique ou austénitique-martensitique.

3.3 Les principaux éléments d'alliage et leur influence sur les caractéristiques de l'acier

La structure microscopique des aciers, est fortement influencée d'une part par la composition chimique (alliage) et d'autre part par un éventuel traitement thermique. L'effet des principaux éléments d'alliage sur les aciers inoxydables peut être résumé de la manière suivante. L'influence des éléments favorisant la formation d'austénite ou de ferrite sur la formation de la structure peut être lue sur le diagramme de Schaeffler (voir chap. 7.7) et sur le graphique ci-dessous.



Répartition des aciers inoxydables en fonction de la teneur en chrome et en nickel

3.3.1 Chrome (Cr)

Les aciers inoxydables doivent leur résistance chimique entre autres à l'élément d'alliage Cr, qui forme à la surface de l'acier une couche d'oxyde passive adhérant bien et présentant une très bonne résistance et étanchéité chimique (voir aussi chap. 2.3). A partir d'une teneur en Cr de 12,5 %, on parle d'acier inoxydable. Le Cr augmente en outre notablement la résistance mécanique de l'acier sans diminuer fortement sa ductilité. De plus, la résistance à chaud et à l'oxydation à chaud peuvent être notablement améliorée.

3.3.2 Carbone (C)

Avec une teneur croissante en C, la résistance mécanique de l'acier ainsi que la trempabilité des aciers martensitiques augmentent. Par contre, la soudabilité, la ductilité, l'aptitude au forgeage et à l'usinage diminuent. Le Cr forme facilement des carbures avec C. Pour empêcher que du Cr soit enlevé à la structure par la formation de carbures, et ainsi que la résistance à la corrosion soit localement réduite, la teneur en C des aciers inoxydables doit être tenue très basse ou il faut empêcher la formation de carbures par des éléments stabilisateurs qui forment des carbures encore plus facilement que le Cr. Le C favorise la formation d'austénite.

© KOHLER 2021

3.3.3 Nickel (Ni)
Le Ni améliore la résistance à la corrosion en général et à l'oxydation à chaud ainsi que la résilience aux basses températures. Il augmente en outre la résistance mécanique, entre autres la résistance à chaud et à la fatigue, au détriment de l'aptitude à l'usinage et au forgeage.

3.3.4 Molybdène (Mo)
Le Mo améliore la résistance à la corrosion, en particulier à la corrosion par piqûres dans les solutions contenant des chlorures, de manière considérable déjà pour des teneurs de quelques pour cent. Il agit comme le Ni sur les caractéristiques mécaniques. Le Mo favorise la formation de ferrite.

3.3.5 Cuivre (Cu)
Le Cu augmente déjà à partir de concentrations de 1,5 % la résistance de l'acier aux acides réducteurs, comme par ex. l'acide sulfurique.

3.3.6 Silicium (Si), aluminium (Al)
Le Si et l'Al favorisent la formation de ferrite. Ils augmentent en particulier, pour les aciers ferritiques (aciers inoxydables à relativement basse teneur en C) la résistance à l'oxydation à chaud, c'est-à-dire qu'ils augmentent la température de calaminage.

3.3.7 Titane (Ti), niobium (Nb)
Le Ti et le Nb sont ajoutés aux aciers ferritiques et austénitiques en tant qu'éléments de stabilisation. Ils forment des carbures encore plus facilement que le Cr. Ils empêchent ainsi la formation de carbures aux joints des grains et ils assurent en particulier dans les cordons de soudure une amélioration de la résistance à la corrosion intercristalline. Toutefois l'aptitude à l'usinage et au polissage se trouve quelque peu réduite.

3.3.8 Manganèse (Mn)
Le Mn augmente la résistance mécanique ainsi que la résistance à l'usure des aciers.

3.3.9 Soufre (S)
Le S est en tant qu'élément non métallique est à vrai dire une impureté de l'acier, qui influence négativement diverses caractéristiques de l'acier comme la résistance à la corrosion, la ténacité, l'aptitude à la déformation, au polissage, au soudage et au forgeage. Normalement, la teneur en soufre dans l'acier est tenue aussi basse que possible. Dans les aciers inoxydables de décolletage, on ajoute à dessein jusqu'à 0,35 % S. Le sulfure de manganèse qui se forme améliore notablement l'usinabilité. Une diminution de la résistance à la corrosion étant spécialement indésirable dans les aciers inoxydables, divers aciéristes ajoutent à leurs aciers inoxydables de décolletage une poudre de calcium et de silicium qui assure les mêmes caractéristiques de cassure du copeau que l'addition de S, mais toutefois sans influencer la résistance à la corrosion. Les aciers correspondants sont disponibles sous diverses désignations d'usine, comme par ex. **les aciers PRODEC** ou **VALIMA** (voir chap. 5.3.4).
Selon la norme européenne EN 10088, la teneur maximale en soufre est fixée à 0,030 % pour les barres, fils, profils et semi-ouvrés correspondants et à 0,015 % pour les tôles. Pour tous les produits à usiner, une teneur en soufre réglée de 0,015 à 0,030 % est recommandée et admissible.

3.3.10 Azote (N)
Le N stabilise la structure austénitique à peu près avec la même force que le C et améliore les caractéristiques de résistance, toutefois aux dépens de la ténacité. Le N est ajouté pour augmenter la résistance spécialement dans les aciers à bas carbone, comme par ex. 1.4311 et 1.4429. Le N améliore la résistance à la corrosion des nuances d'aciers austénitiques et Duplex en milieux chlorés.

3.4 Caractéristiques des aciers inoxydables

Des indications détaillées (formes de livraison, caractéristiques techniques) sur les divers alliages et groupes d'acier sont données au chapitre 7.

3.4.1 Aciers ferritiques
Caractéristiques:
Ces aciers restent ferritiques à toutes les températures. Cela est dû à une faible part d'éléments d'alliage favorisant la formation d'austénite, comme le Ni, et à une forte part d'éléments favorisant la ferrite, surtout le Cr. Leurs caractéristiques sont: limite élastique élevée, haute ductilité, bonne aptitude à l'emboutissage profond et bonne soudabilité. Leur résistance peut être augmentée jusqu'à un certain degré par déformation à froid. En comparaison des aciers austénitiques, ils présentent une résistance et une ductilité moindres. Par rapport aux aciers austénitiques, les aciers ferritiques présentent une moins bonne résistance à la corrosion par piqûres, mais par contre ils résistent mieux à la corrosion fissurante sous tension. Les aciers ferritiques usuels sont relativement bon marché.

Applications:
Les aciers ferritiques les plus simples (entre autres 1.4016) sont utilisés de préférence pour les ustensiles ménagers comme les casseroles, les appareils ménagers et les éviers, où les exigences de résistance à la corrosion ne sont pas poussées. D'autres applications sont les revêtements de parois intérieures et les tôles de protection. Les aciers ferritiques avec de très basses teneurs en carbone et en azote ont leur principal domaine d'application sous des conditions d'utilisation présentant des risques de corrosion fissurante sous tension. Les aciers avec de très hautes teneurs en chrome, par ex. 25 % Cr, sont aussi utilisés aux hautes températures, car ils présentent une excellente résistance aux fumées contenant du soufre.

3.4.2 Aciers martensitiques
Caractéristiques:
En raison de leur teneur en carbone relativement élevée, leur résistance et leur dureté peuvent être modifiées par un traitement thermique approprié, respectivement adaptées aux

© KOHLER 2021

exigences. On peut atteindre des résistances à la rupture de plus de 1300 N/mm². La teneur en carbone relativement élevée réduit cependant la résistance à la corrosion, de plus, ces aciers sont difficiles à déformer et à souder. Ces aciers présentent une teneur en C de 0.1 à 1.2 % et une teneur en Cr de 12 à 18 %. Une partie de ces aciers est alliée en outre avec 0.5 à 2.5 % de Ni et jusqu'à 1.2 % de Mo.
Avec la teneur croissante en C, la dureté qui peut être atteinte augmente (0.1 % C → env. 40 HRC, 0.9 % C → env. 58 HRC).

Applications:
Ces aciers sont utilisés principalement pour des éléments de construction soumis à de fortes sollicitations mécaniques comme des éléments de fixation, axes de pompes, pales de turbines et tiges de soupapes ainsi que pour des outils trempés et de coutellerie présentant une résistance accrue aux acides oxydants.

3.4.3 Aciers austénitiques au chrome-nickel («V2A»)

Caractéristiques:
Les aciers austénitiques alliés au chrome-nickel ont une bonne résistance générale à la corrosion, une bonne ténacité pour une basse limite élastique et une bonne marge de sécurité à la rupture fragile également à de basses températures. Leur résistance mécanique peut être augmentée dans certaines limites par une déformation à froid, toutefois cela les rend légèrement magnétiques et leur résistance à la corrosion baisse. Ils sont en outre bien soudables. Un refroidissement lent après un traitement thermique ou après soudage conduit cependant dans le domaine critique de températures de 500 à 900 °C à la précipitation de carbures de chrome à la limite des grains (voir aussi chapitre 2.2.6 «Corrosion intercristalline»).

Applications:
Ces aciers sont utilisés principalement dans des applications soudées, dans le domaine des fluides exempts d'acide et de chlorure, comme par ex. dans l'industrie alimentaire, pour les appareils ménagers et les machines à laver. Ils trouvent en outre une application croissante dans l'architecture intérieure et extérieure.

3.4.4 Aciers austénitiques au chrome-nickel-molybdène («V4A»)

Caractéristiques:
Avec une teneur croissante en molybdène, la résistance à la corrosion de ces matériaux s'améliore fortement. Afin que la structure reste cependant austénitique (le Mo favorise la formation de ferrite), la teneur en Ni doit être augmentée à au moins 10.5 %. Par l'addition de molybdène, la résistance à la corrosion se trouve notablement améliorée, en particulier contre la corrosion par piqûres dans un environnement contenant des chlorures ainsi que dans des acides réducteurs. Les additions de Mo sont plutôt défavorables dans l'acide nitrique et les gaz nitreux.
Ces aciers présentent une très haute ductilité et ténacité pour des valeurs de résistance plutôt basses. Ils ne perdent pas leur ductilité aux températures cryogéniques et ils sont bien soudables.

Applications:
Les matières 1.4404, 1.4432 et 1.4435 sont les aciers les plus fréquemment utilisés en contact avec l'eau adoucie, les acides réducteurs et les fluides dont la composition et l'agressivité ne peuvent être qu'estimées, mais pas définies avec certitude. Dans des fluides contenant de fortes quantités de chlorures, il faut cependant utiliser des matières beaucoup plus fortement alliées (superausténite).
La principale application des ces aciers réside dans les industries chimiques et pharmaceutiques, dans le traitement de l'eau, dans les industries de la cellulose et du caoutchouc ainsi que dans la construction de piscines.

3.4.5 Superausténite

Caractéristiques:
Les aciers superausténites sont hautement alliés avec du Cr, Ni, N et en particulier avec du Mo. La valeur PRE est > 40. Leur haute résistance générale à la corrosion, en particulier dans les acides contenant des halogénures (chlorures, bromures, iodures ou fluorures), dépasse celle des aciers inoxydables usuels. Sous ces conditions de service, les aciers inoxydables usuels sont soumis à des limites étroites. Dans de tels cas, il fallait auparavant recourir à de coûteux alliages à base de nickel ou au titane. Les superausténites sont donc des alternatives économiques et peuvent dans de nombreux cas prendre la place des alliages à base de nickel les plus résistants et du titane.

Applications:
Ces matériaux ont été développés pour répondre aux plus hautes exigences de résistance à la corrosion. Ils sont donc utilisés sous les conditions de corrosion les plus difficiles dans la chimie, la pharmacie et en contact avec l'eau de mer (dessalement de l'eau de mer, offshore) où ils font parfaitement leurs preuves depuis de nombreuses années.

3.4.6 Aciers duplex

Caractéristiques:
Les aciers duplex ont réuni en eux beaucoup des caractéristiques positives des aciers ferritiques et austénitiques. Par leurs teneurs élevées en Cr et Mo, ces aciers présentent une résistance élevée à la corrosion par piqûres et dans les fissures dans les fluides contenant de l'hydrogène sulfuré (par ex. espace d'air de fosses à purin). Ils possèdent en outre une grande résistance mécanique, à la corrosion par fatigue, à l'érosion et à l'usure. En comparaison avec les aciers austénitiques, les aciers duplex présentent une résistance élevée à la corrosion fissurante sous tension.
Les aciers duplex sont sensibles aux précipitations intermétalliques. Dans le domaine de 350 à 525°C, il faut s'attendre à la fragilisation à 475°C, alors que la phase sigma peut se former dans le domaine de 700 à 975°C. Dans le cas de processus normaux de soudage et de traitement thermique, il n'y a cependant aucun risque de fragilisation. Ces aciers ne doivent pas être soumis pendant de longues durées à des températures supérieures à 250°C.

© KOHLER 2021

Applications:
Ces aciers sont utilisés où l'on a besoin de bonnes caractéristiques mécaniques en combinaison avec de bonnes caractéristiques de résistance à la corrosion, comme par ex. pour des arbres de pompes, des pièces de machines, la technique offshore, l'industrie du bâtiment et le dessalement de l'eau de mer.

3.4.7 Récapitulation de diverses propriétés

structure	trempable	magnétisable	soudable
ferritique	–	oui	oui
martensitique	oui	oui	3)
austenitique	1)	2)	oui
superaustenitique	–	–	oui
Duplex	–	oui	oui

1) possible seulement par déformation à froid
2) peut devenir légèrement magnétique en cas de forte déformation à froid
3) seulement avec des mesures spéciales

3.4.8 Aciers réfractaires

Caractéristiques:
- bon comportement à l'oxydation, spécialement pour des conditions de charge cycliques
- haute température de calaminage
- relativement haute limite élastique et résistance à la traction aux hautes températures
- haute résistance au fluage
- bonne stabilité structurelle
- bonne résistance à la corrosion et à l'érosion aux hautes températures en atmosphères moyennement agressives

La plupart des alliages travaillant aux hautes températures ont tendance, après échauffement à des températures de 550–850 °C, à une fragilisation à température ambiante. La cause en est la précipitation de phases intermédiaires, telles que sigma, chi et laves. Afin de réduire la formation de ces phases, les alliages pour hautes températures d'**Outokumpu** (153 MA, 253 MA, 353 MA) sont alliés avec du silicium, de l'azote et du cérium.
Lors de l'emploi aux hautes températures et en contact avec des gaz chauds, il se forme une couche étanche d'oxyde à la surface de l'acier. L'étanchéité est particulièrement importante afin que la couche d'oxydation adhère bien et empêche la poursuite de l'oxydation.
En plus du Cr et Ni, ces nouveaux matériaux sont alliés avec du Si, N et C, et encore avec des micro-quantités de minéraux rares. Cela conduit à un accroissement considérable de la résistance à l'oxydation, en particulier sous des conditions de charge cycliques, ainsi qu'à une haute résistance au fluage et une bonne soudabilité. En raison de leur composition, ces matériaux ne sont pas sensibles à la fissuration à chaud dans les zones d'influence de la chaleur ainsi que dans les parties soudées.
A la suite de leurs conditions d'utilisation particulières, il faut tenir compte pour les aciers réfractaires des mécanismes d'endommagement suivants:

Attaques par le soufre
Le S et ses combinaisons se trouvent souvent dans les fumées ainsi que dans divers gaz de processus et ils attaquent les alliages réfractaires. Dans des environnements oxydants, une teneur élevée en Cr et Si augmente la résistance d'un alliage aux attaques par le soufre. Dans des atmosphères réductrices, où aucune couche d'oxyde protectrice ne peut se former, il faut éviter des matières ayant une haute teneur en nickel. Cela concerne en particulier les alliages avec une teneur en nickel > 50 % et une teneur en Cr < 20 %. Dans les alliages au nickel, une teneur en Cr > 25 % augmente la résistance aux attaques par le soufre.

Absorption de carbone
En petites quantités, le C ainsi que le N peuvent améliorer les caractéristiques mécaniques d'une matière. Une absorption exagérée de ces éléments conduit cependant à une réduction de la résistance à l'oxydation et à une fragilisation de la matière. Cela est dû à la précipitation de carbures et/ou de nitrures de Cr aux joints des grains. L'appauvrissement en Cr de la structure qui en résulte réduit la capacité de régénérer la couche d'oxyde endommagée d'une matière. Les matériaux réfractaires deviennent ainsi plus sensibles aux actions de substances agressives, spécialement dans des atmosphères alternativement carburantes et oxydantes. Des carburations peuvent avoir lieu dans des fours lors du traitement thermique de pièces qui sont souillées de restes d'huile.

Absorption d'azote
Le risque d'une absorption de N est particulièrement grand dans des fours qui travaillent avec des gaz protecteurs sans O_2 (gaz de décomposition d'ammoniac ou mélange N_2/H_2) à de hautes températures. Par l'augmentation de la teneur en Ni, on peut améliorer la résistance d'une matière à l'absorption de C et de N. Le même effet peut cependant aussi être obtenu par l'addition de puissants formateurs d'oxydes comme le Cr, le Si et l'Al.

Corrosion humide
Les aciers réfractaires ne sont en raison de leur composition résistants qu'à la corrosion par des gaz chauds. Sous des conditions chimiques humides, ils tendent à la sensibilisation et à la corrosion intercristalline.

Applications:
Le groupe des alliages pour hautes températures comprend des matériaux sans molybdène, qui sont utilisés principalement dans des fluides gazeux à de hautes températures, comme par ex. des grilles de fours, les conduites d'échappement de fumées, des équipements de chargement, des échangeurs de chaleur à hautes températures.

3.4.9 Aciers inoxydables à usinabilité améliorée
(voir chapitres 3.3.9 et 5.3.4)

© KOHLER 2021

HANS KOHLER SA, Claridenstrasse 20, case postale, CH-8022 Zurich, téléphone 044 207 11 11, fax 044 207 11 10

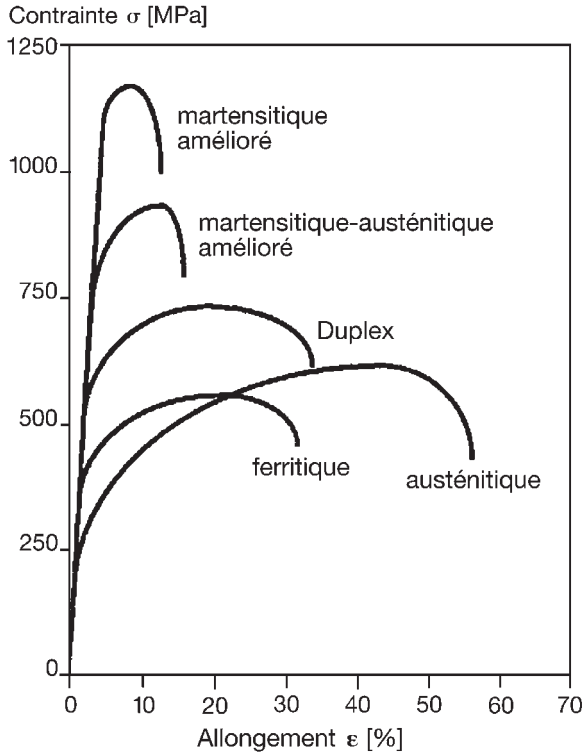
4 ESSAI DES MATÉRIAUX

(Pour des valeurs mécaniques et des aides de calcul sur les matériaux livrables, voir au chapitre 7.)

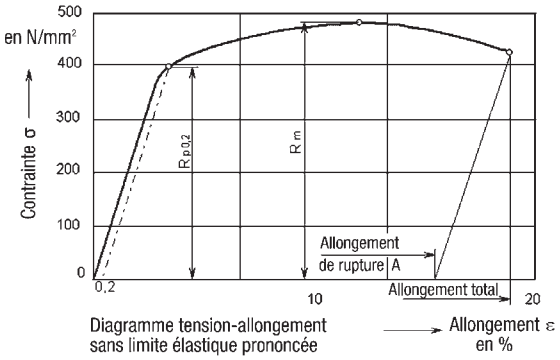
4.1 Essais mécaniques (destructifs)

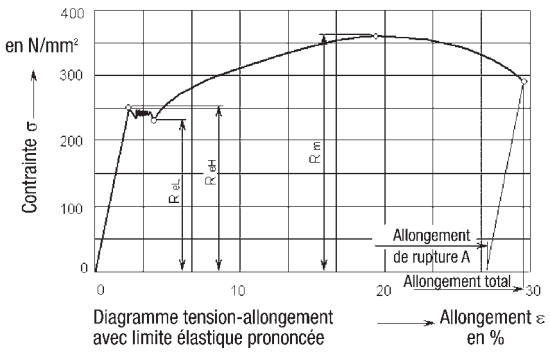
On détermine avec ces essais des caractéristiques des matériaux qui sont nécessaire d'une part pour la construction et d'autre part pour la comparaison de divers matériaux entre eux concernant certaines propriétés ou permettant leur aptitude pour une application donnée. Les valeurs déterminées par ces essais dépendent dans la plupart des cas de la température, de l'état de traitement thermique et des conditions d'essai. Pour une indication correcte et la comparaison avec d'autres valeurs, l'indication de la température d'essai, de l'état de traitement thermique et des conditions d'essai sont indispensable, s'ils sont différents des conditions standard définies par les normes.

4.1.1 Essai de traction (EN ISO 6892, parties 1 à 3)
L'essai de traction détermine le comportement de la matière au cours d'une sollicitation axiale en traction. On soumet alors une éprouvette confectionnée selon DIN 50125 à un allongement sur une machine d'essai, lentement jusqu'à la rupture, et on enregistre le diagramme tension-allongement (aussi nommé diagramme σ-ϵ). Ce dernier présente pour pratiquement tous les aciers une partie linéaire (déformation élastique réversible). Le graphique suivant montre les courbes typiques tension-allongement pour différentes sortes d'aciers inoxydables.



Contraintes [N/mm²]
Dans le domaine technique, les contraintes résultant de la force de traction (= force appliquée divisée par la section) se rapportent toujours à la section initiale de l'éprouvette. Les unité de mesure usuelles aujourd'hui pour les contraintes sont indiquées en N/mm² ou MPa (1 N/mm² = 1 MPa). Les principales caractéristiques de la matière mesurée par cet essai sont:





© KOHLER 2021

Energie de rupture KV [J]

Limite élastique apparente R_e /
Limite conventionnelle d'élasticité R_p [N/mm²]
Les deux valeurs indiquent la contrainte mesurée au passage de la déformation élastique à la déformation plastique, c'est-à-dire qu'après avoir passé cette contrainte, une déformation permanente subsiste. Cette tension est aussi appelée limite élastique apparente. Pour les contraintes de compression, le terme de „limite d'écrasement" est utilisé. Pour déformer durablement un métal (pliage, emboutissage, refoulement, etc.), sa limite élastique apparente doit toujours être dépassée. L'écoulement est toujours accompagné d'un écrouissage de la matière.
La limite apparente d'élasticité Re est déterminée sur les aciers non alliés ou faiblement alliés à l'endroit où, sur le diagramme tension-allongement, la contrainte de traction reste constante ou diminue pour la première fois quand l'allongement augmente (voir chapitre 4.1.1.1, diagramme à droite).
Sur les aciers fortement alliés, comme les aciers inoxydables, ce passage n'est pas si nettement prononcé. La limite conventionnelle d'élasticité Rp est donc déterminée pour un allongement non proportionnel défini qui doit être indiqué (voir chapitre 4.1.1.1, diagramme du haut).

$R_{p0.2}$ allongement plastique à 0.2 %
base usuelle de dimensionnement
$R_{p0.01}$ allongement plastique à 0.01 %
limite technique d'élasticité
$R_{p1.0}$ allongement plastique à 1.0 %
utilisé fréquemment pour les aciers austénitiques

Résistance à la traction R_m [N/mm²]
La résistance à la traction est la contrainte obtenue en divisant la force de traction maximale par la section initiale.

Allongement à la rupture A [%]
L'allongement à la rupture est une mesure de l'allongement d'un matériau (ductilité). L'éprouvette est en l'occurrence sollicitée par un essai de traction. L'allongement à la rupture est défini comme le quotient de l'allongement résiduel à la rupture par rapport à la longueur initiale, noté en pour cent.
En fonction de la forme du produit et du test standard, différentes éprouvettes sont utilisées pour ces essais. En Europe on utilise généralement des jauges étalonnées en longueur $L_0 = 5{,}65 \sqrt{S_0}$ (S_0 = section transversale). Lors d'essais sur du feuillard mince (épaisseurs <3 mm) on peut utiliser des jauges non proportionnelles avec une longueur de 80 mm ($A_{80\ mm}$). Les normes américaines telles que ASTM A370 préconisent quant à elles une longueur de jauge de 2 pouces, soit ($A_{50\ mm}$).

Constantes élastiques E, G, K, μ
Dans le domaine élastique (linéaire) du diagramme tension-allongement, la loi de Hooke $\sigma = E \times \epsilon$ s'applique. Cette loi dit que, dans le domaine élastique, l'allongement ϵ est proportionnel à la tension σ appliquée. La constante de proportionnalité correspondante s'appelle module d'élasticité E ou plus brièvement module E. Le module E est une mesure de la résistance qu'oppose une matière à son allongement élastique. Pour les aciers inoxydables austénitiques, la valeur du module E est de 200 kN/mm² environ.
La loi de Hooke s'applique aussi aux déformations au cisaillement et en compression, dans le domaine élastique. Les facteurs de proportionnalité correspondants sont le module de glissement G et le module de compression K. G et K représentent une mesure de la résistance qu'oppose une matière à son glissement élastique au cisaillement ou à une variation hydrostatique élastique de volume.

Les 3 constantes élastiques sont liées entre elles par les relations suivantes:

$$E = 2G(1+\mu)$$
$$E = 3K(1-2\mu)$$

μ est appelé coefficient de contraction transversale ou constante de Poisson. Pour les aciers inoxydables, μ se situe vers 0.3.
Les caractéristiques des matériaux établis par l'essai de traction peuvent être utilisées directement pour le calcul de constructions, alors que les valeurs mentionnées par la suite servent entre autres à la comparaison de divers matériaux.

Striction Z [%]
L'éprouvette de traction brisée présente à l'endroit de la rupture un rétrécissement plus ou moins prononcé (contraction de section) qui peut montrer selon l'éprouvette une cassure plutôt ductile ou plutôt fragile. La striction de rupture Z est égale à la différence entre les sections initiale et de rupture divisée par la section initiale. Elle est une mesure pour l'aptitude à la déformation de la matière.

Ténacité à la rupture K_{1c} [MNm$^{-3/2}$]
La ténacité à la rupture renseigne sur la résistance d'une matière à la propagation d'une fissure présente dans la matière ou à l'influence de discontinuités (entailles, rainures, perçages, hétérogénéités de matière) sur le comportement à la rupture. Plus la ténacité à la rupture est basse, plus une fissure présente s'agrandira facilement. La ténacité à la rupture se mesure sur des éprouvettes spéciales avec amorce de fissure au cours d'un essai de traction spécial commandé par ordinateur. L'essai étant complexe, les valeurs de ténacité à la rupture ne sont disponibles que dans une mesure limitée.

4.1.2 Estimation des diverses résistances
Pour l'**estimation approximative** des diverses valeurs de résistance, on peut utiliser les équations suivantes:

Résistance à la traction R_m	[N/mm²]	=	3.4	×	dureté Brinell HB
Limite élastique apparente R_e	[N/mm²]	=	0.8	×	résist. à la traction R_m
Résistance à la fatigue	[N/mm²]	=	0.6	×	résist. à la traction R_m
Résistance à la torsion	[N/mm²]	=	0.3	×	résist. à la traction R_m

4.1.3 Essai de dureté
La dureté désigne la résistance d'une matière contre la pénétration d'un corps encore plus dur. Pour déterminer la dureté, on applique un pénétrateur dur avec une force définie à la surface de l'éprouvette et on mesure l'empreinte qui en résulte.

© KOHLER 2021

HANS KOHLER SA, Claridenstrasse 20, case postale, CH-8022 Zurich, téléphone 044 207 11 11, fax 044 207 11 10

A l'aide d'un tableau correspondant, on peut déduire la dureté de l'éprouvette en fonction de la dimension de l'empreinte. Sur les appareils modernes, cette conversion est effectuée au moyen d'un ordinateur. Dans le domaine de l'acier, les quatre méthodes de mesure de dureté suivantes sont usuelles:

Essai Brinell
Cette méthode ne convient en raison de la dureté limitée de la bille d'acier que pour des duretés moyennes jusqu'à 500 HB environ. On peut déterminer la résistance à la traction à partir de la dureté Brinell, à l'aide de la formule suivante:

$$\text{Résistance à la traction } R_m \approx \alpha \times \text{dureté HB}$$

Le facteur de conversion α dépend de la matière et il est de 3.6 pour les aciers au carbone et de 3.4 pour les aciers inoxydables.

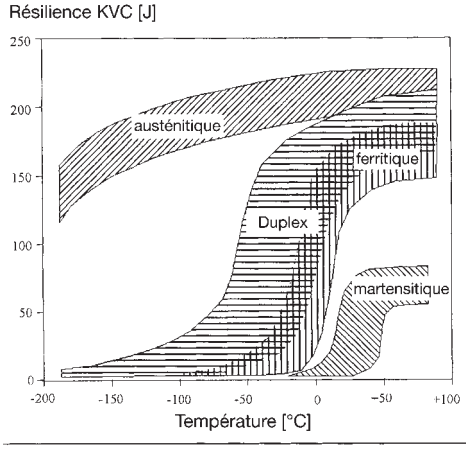
Essai Vickers
Cette méthode convient en raison de la dureté extrêmement élevée de la pyramide de diamant (env. 10000 HV) pour toutes les plages de dureté. Par réduction de la charge, cette méthode convient parfaitement pour déterminer la dureté de feuilles minces, de couches de revêtement dures et de constituants de structures (petite charge, respectivement microdureté). Pour des duretés jusqu'à env. 300 HB/HV, les valeurs mesurées par les deux méthodes sont pratiquement égales, c'est-à-dire HB $\approx$ HV.

Essai Rockwell
Au contraire des deux autres méthodes, dans l'essai Rockwell, la charge est appliquée en deux étapes (charge préalable et charge principale, ceci pour la compensation d'effets de surface et du mouvement élastique de ressort de la matière de l'éprouvette. La dureté est définie à partir de la différence des profondeurs de pénétration sous les charges préalable et principale, et elle peut être lue directement sur un comparateur. On supprime ainsi la mesure de l'empreinte, ce qui conduit à des temps de mesure plus courts et permet d'automatiser l'essai de dureté. Les empreintes Rockwell étant relativement profondes, il n'est pas possible de mesurer des matériaux minces ou des couches de revêtement.

- Rockwell B (B = bille)
  plage de mesure recommandée: 35 – 100 HRB, ne convient que pour des matériaux de dureté moyenne
- Rockwell C (C = cône)
  plage de mesure recommandée: 20 – 67 HRB, ne convient que pour des matériaux durs. Pour l'essai de couches minces en surface, on peut appliquer la méthode Super-Rockwell, qui travaille avec des charges réduites et produit en conséquence des empreintes moins profondes .

4.1.4 Essai de flexion par choc (EN ISO 148-1)

On examine avec cette méthode d'essai si un matériau présente un comportement plutôt ductile ou plutôt fragile. Une matière fragile n'est sous certaines circonstances pas en mesure de compenser des contraintes par une déformation. En cas de dépassement d'une charge critique, il se produit alors sans avertissement une rupture fragile dangereuse, explosive. Afin d'examiner sur la base d'une éprouvette un comportement ductile ou fragile, on choisit la sollicitation de telle sorte que la matière soit confrontée à toutes les influences favorisant une rupture fragile, comme une sollicitation brusque, multiaxiale, et éventuellement à basse température. Selon la matière, on travaille avec des éprouvettes entaillées ou non. Ces éprouvettes sont brisées sur un mouton-pendule. On mesure l'énergie nécessaire pour casser l'éprouvette. Par cet essai, on peut aussi tester l'influence de diverses fragilisations, comme celles dues aux basses températures, au revenu, etc. Selon l'alliage, la température peut avoir une influence importante sur la résilience, comme le montre le graphique suivant. Les aciers martensitiques, ferritiques et duplex présentent avec une température descendante une zone de température relativement étroite pour laquelle la résilience tombe brusquement à presque zéro (fragilisation aux basses températures). Selon l'alliage, cette baisse a déjà lieu à des températures supérieures au point de congélation. Les aciers austénitiques ne présentent pas une baisse de résilience si marquée avec une température descendante, c'est-à-dire qu'ils conservent aussi aux basses températures la plus grande partie de leur haute résilience (appelés aciers ductiles à froid).



Energie de divers types d'aciers inoxydables en fonction de la température

Energie de rupture [J]
C'est l'énergie consommée par l'essai de flexion par choc indiquée en J. De basses valeurs signalent un comportement fragile, des valeurs élevées un comportement ductile. Il faut toujours indiquer si les valeurs ont été mesurées avec une éprouvette entaillée ou non. Pour les éprouvettes entaillées, il faut encore indiquer la forme de l'entaille.

Résilience [J/cm²]
La résilience est l'énergie de rupture par choc divisé par la section d'essai et elle est exprimée en J/cm².

4.1.5 Essais d'endurance (DIN 50100)

Les essais d'endurance, appelés aussi de Wöhler ou de fatigue, examinent le comportement d'un matériau sous une sollicitation oscillante permanente sous une charge qui se situe au-dessous de la limite élastique. La sollicitation peut dans

© KOHLER 2021

ce cas se trouver dans le domaine de la compression ou de la traction, avec ou sans précontrainte. Le but de l'essai est de constater sous quelle charge la matière supporte sans se rompre un nombre défini de cycles de charge, le plus souvent dans une plage de 10^5 à 10^8. Etant donné qu'un grand nombre d'éprouvettes doivent être essayées, de tels essais sont très complexes et les données correspondantes ne sont que difficilement ou même pas du tout disponibles. Pour des essais dit en service, par exemple pour la simulation de cycles de décollage et d'atterrissage, les sollicitations sont variées en fonction des sollicitations réelles apparaissant en service. Les résultats de telles séries d'essais sont rassemblés dans des diagrammes dit de Wöhler.

Limite de fatigue [N/mm²]
Abréviation pour limite de fatigue sous charge alternée. Elle est aussi appelée limite d'endurance et indique la plus grande sollicitation alternée qu'une matière supporte indéfiniment sans déformation inadmissible ni rupture.

Fatigue
Elle est produite principalement par une sollicitation alternée. La structure de la matière se trouve disloquée, ce qui conduit finalement à la rupture.

4.1.6 Essai de fluage (EN 10291)

Le fluage est un processus activé par la chaleur, qui peut conduire à la rupture. On entend par-là un écoulement, c'est-à-dire une déformation plastique de la matière, sous l'effet de tensions inférieures à la limite élastique. La vitesse de fluage dépend de la contrainte appliquée, de la température et du temps, c'est-à-dire que la vitesse de fluage n'est pas constante. L'essai de fluage sert à déterminer le comportement de la matière sous une sollicitation statique au-dessous de la limite élastique et à une température pour laquelle la durée de sollicitation a une influence importante sur la résistance. Le but de l'essai est de déterminer la résistance à la rupture sous charge permanente.
Les essais de fluage étant très complexes, ils ne sont réalisés que dans des cas particuliers, par exemple pour des matières travaillant à haute température pour des aubes de turbines.

Résistance à la rupture sous charge permanente [N/mm²]
La résistance à la rupture sous charge permanente est la plus grande contrainte sous une température définie pour laquelle un écoulement initial s'arrête et qui conduit en cas de dépassement à la rupture de l'éprouvette. Cette valeur ne pouvant pas être constatée, on détermine la résistance au fluage.

Résistance au fluage [N/mm²]
On entend par-là la contrainte sous une température définie pour laquelle la rupture se produit après une durée de charge définie (10^3 à 10^6 h). Cet essai sert principalement à déterminer le comportement de la matière à haute température sous une sollicitation constante (statique). Les indications du temps et de la température sont indispensables.

Allongement de rupture par fluage A_u [%]
Il indique l'allongement permanent après la rupture de l'éprouvette et il est exprimé en %.

Striction de rupture par fluage Z_u [%]
C'est le quotient de la réduction de section à l'endroit de la rupture par la section initiale. L'indication est donnée en %.

Limite de fluage [N/mm²]
La limite de fluage est la contrainte statique qui conduit à une valeur donnée de fluage sous une température définie, après une durée de charge définie. Les indications du temps et de la température sont indispensables.

4.1.7 Essais spéciaux

En plus de ces méthodes générales d'essais mécaniques, il existe encore une quantité d'autres procédés d'essais mécaniques, qui sont souvent fortement liés à la méthode de mise en forme envisagée pour la matière et qui sont décrits en détail dans les normes correspondantes. On donnera encore comme exemples les méthodes d'essai suivantes:

Essai au mandrin
Dans cet essai, l'extrémité d'un tube est élargie au moyen d'un mandrin conique et on examine dans quelle mesure le tube peut être élargi sans se fissurer.

Essai sur éprouvette soudée
Dans ce processus, on examine la capacité de déformation (ductilité) d'un cordon de soudure. On plie une tôle avec un cordon de soudure appliqué jusqu'à ce que le cordon de soudure commence à se fissurer.

Essai d'emboutissage
Dans cet essai, on presse une bille d'un diamètre de 2 cm environ dans une tôle jusqu'à ce que la partie bombée de la tôle présente des marques d'écoulement ou des fissures.

4.1.8 Essais d'usinage

Dans ces essais, on détermine les paramètre optimaux pour l'usinage (vitesse de coupe, avance, angle de coupe, etc.) pour les diverses méthodes d'usinage (fraisage, perçage, tournage, rectification, érosion, soudage, etc.). Des informations détaillées pour les diverses matières sont disponibles sur demande ou auprès de vos fournisseurs d'outils.

4.2 Essais physiques

Les caractéristiques physiques (conductibilité électrique, dilatation thermique, perméabilité magnétique, etc.) sont vérifiées par des méthodes physiques correspondantes, sur lesquelles nous n'entrerons pas plus en détail ici.

© KOHLER 2021

4.3 Essais chimiques

Les essais chimiques servent à déterminer la composition chimique d'un acier et d'éventuelles impuretés ainsi qu'à vérifier sa résistance aux milieux agressifs.

4.3.1 Analyse spectrale

L'analyse spectrale est aujourd'hui la méthode la plus rapide et la plus rationnelle pour déterminer la composition chimique d'un alliage.
Dans ce procédé, on allume un arc électrique court entre l'objet à examiner et une électrode. Les composants de l'alliage en s'évaporant influencent le rayonnement de l'arc, chaque élément émettant une couleur de lumière qui lui est propre. L'intensité dépend de sa teneur. La lumière produite est transmise par des fibres optiques vers un analyseur optique qui détermine le spectre (distribution des couleurs). On peut déduire de la répartition spectrale les éléments d'alliage renfermés dans l'objet à examiner. Avec des appareils de laboratoire très modernes, il est possible de déterminer simultanément jusqu'à 64 éléments. Par comparaison avec les spectres normaux enregistrés dans l'ordinateur de contrôle, on peut aussi déterminer la désignation de la matière.

4.3.2 Analyses chimiques

Les analyses chimiques ne sont encore exécutées aujourd'hui plus que dans des cas exceptionnels, car elles ne saisissent qu'un seul élément et elles sont très complexes. Elles sont encore utilisées le plus fréquemment pour des éléments qui ne peuvent pas être détectés par l'analyse spectrale, comme par ex. C, Si, Mn, P, S ainsi que les gaz O_2, H_2 et N_2. Des appareils modernes d'analyse spectrale sont cependant toujours plus en mesure de déterminer aussi ces éléments.
Des tests chimiques rapides spéciaux servent fréquemment à constater la présence ou l'absence d'un élément défini, par ex. le molybdène, pour faire une distinction rapide entre des aciers V2A et V4A.

4.3.3 Essais de corrosion

Font partie des essais de corrosion les tests de cuisson selon Huey ou Strauss, les tests de corrosion au brouillard salin, au brouillard d'eau, à la corrosion dans les fissures et à la corrosion fissurante sous tension, ainsi éventuellement de l'examen de la corrosion intercristalline. Ces tests de laboratoire servent à vérifier la résistance à la corrosion d'une matière donnée, sous des conditions de corrosion définies (fluide, concentration, température, contrainte, etc.).
Depuis peu, des appareils sont disponibles avec lesquels la résistance relative à la corrosion peut être examinée sans destruction sur la pièce terminée, par ex. pour la vérification des cordons de soudure.

4.4 Examens structurels

Ces méthodes permettent d'examiner la macrostructure et la microstructure d'un matériau.

4.4.1 Macrostructure (examen non destructif)

Ces procédés servent au contrôle de défauts éventuels internes et externes des pièces, sans les endommager ni les détruire.

Défauts de surface

Ces procédés sont utilisés le plus souvent sur des pièces terminées ou presque pour la détection de défauts qui s'étendent jusqu'à leur surface, comme par ex. des fissures. Les procédés utilisés à cet effet sont:

- Poudre magnétique (ne convient que pour des matériaux magnétisables): dans ce procédé, la pièce est pulvérisée au moyen d'un liquide fluorescent magnétisable, puis magnétisée. Des défauts en surface conduisent à des perturbations des lignes de champ magnétiques et à un enrichissement de liquide en ces endroits. En les examinant à la lumière UV, ces défauts sont bien visibles.
- Ressuage (convient pour tous les matériaux): la pièce est pulvérisée avec un liquide rouge qui pénètre dans les défauts en raison de sa grande capacité de pénétration. Après un moment d'attente, le liquide est essuyé et la surface est recouverte par un spray d'un «révélateur» blanc qui aspire la couleur restée dans les défauts et les rend ainsi visibles.

Défauts internes

Pour détecter des défauts qui ne s'étendent pas jusqu'à la surface (criques, grandes inclusions, défauts de soudure, grands pores), on applique les méthodes suivantes:

- Ultrasons (procédé utilisable pour tous les matériaux présentant une surface relativement lisse): la pièce est exposée à des ultrasons de l'ordre de grandeur de quelques 100 kHz à quelques MHz. Le son est réfléchi aux endroits des défauts. L'écho est affiché sur un écran. Le procédé convient bien pour un emploi mobile, mais une interprétation correcte exige cependant une certaine expérience.
- Examen aux rayons X, isotopiques ou gamma: l'affichage se faisant sur film, ces procédés seront utilisés si le résultat doit être conservé durablement. Ils sont toutefois limités à des épaisseurs de matière jusqu'à 150 mm. En raison de la nécessité d'équipements de protection contre les radiations, ces procédés sont coûteux et nécessitent en conséquence des spécialistes. Des applications mobiles sont possibles.
- Tomographie par ordinateur: ce procédé connu en médecine permet la représentation en 3 dimensions des défauts. Les inconvénients en sont un appareillage complexe ainsi que la nécessité d'équipements de protection et en conséquence de spécialistes.

© KOHLER 2021

4.4.2 Structure fine et microstructure

Pour l'examen de la structure fine et de la microstructure, on utilise des méthodes métallographiques en relation avec des microscopes optiques ou électroniques. Ces méthodes sont utilisées d'une part dans la recherche fondamentale et le développement, et d'autre part, elles servent aussi à l'éclaircissement de défauts (par ex. défauts de traitement thermique ou de structure) et de dégâts ainsi que de leurs causes.

5 MISE EN FORME ET USINAGE

5.1 Principes généraux de mise en forme et d'usinage

Les aciers inoxydables présentent en raison de leur part d'alliage élevée en chrome, nickel et molybdène des caractéristiques de mise en forme et d'usinage qui se différencient nettement de celles des aciers faiblement alliés et qu'il s'agit de prendre en considération pour un emploi fructueux de ces matériaux. Les aciers inoxydables sont le plus souvent mis en forme à l'état de livraison.
La mise en forme des aciers inoxydables doit être absolument séparée de celle des aciers non alliés, ce qu'on appelle la „séparation noir/blanc". Sinon il existe un grand risque que la surface de l'acier inoxydable soit souillée par des particules de fer, ce qui conduit inévitablement à la rouille erratique. Cette séparation ne s'applique pas aux seuls locaux, mais aussi aux outils utilisés. Egalement pour le stockage et le transport des aciers inoxydables, tout contact avec des aciers non alliés doit être évité (bandes d'acier pour la fixation, supports en fer non protégés, etc.).

5.2 Mise en forme par formage

5.2.1 Formage à chaud

Un formage à chaud est possible pour tous les aciers inoxydables. En raison de leur mauvaise conductibilité thermique, l'échauffement doit se faire lentement jusqu'à env. 800–850 °C, au-dessus, il peut avoir lieu rapidement.
Les aciers ferritiques sont très tendres aux températures usuelles de formage et tendent à la «formation de fentes» ainsi qu'à une croissance rapide du grain, ce qui ne peut être empêché que par une forte déformation. Les pièces en acier ferritique sont le plus souvent refroidies à l'air libre.
Le formage à chaud des aciers martensitiques ne pose en général pas de problème, si l'on tient compte au chauffage et au refroidissement du comportement au changement de structure. Afin de réduire le risque de fissuration des aciers martensitiques, il faut éviter un refroidissement trop rapide.
Les matières austénitiques devraient être chauffées régulièrement. L'atmosphère ne doit pas contenir de soufre ni avoir une action carburante. Ceci est particulièrement important pour les sortes à haute teneur en nickel. Les pièces d'une section de plus de 3 mm sont trempées à l'eau.
Pour obtenir des propriétés optimales du matériau, les pièces formées à chaud devraient être soumises à un traitement thermique ultérieur. Les températures de traitement correspondantes sont indiquées dans le tableau 7.6.

5.2.2 Formage à froid

Les procédés les plus usuels de formage à froid sont le laminage, le matriçage, le pliage et l'emboutissage. En principe, tous les aciers inoxydables conviennent au formage à froid. Le degré de déformation admissible est cependant spécifique à la matière, de même que l'écrouissage qui en résulte.
Ceci est très marqué pour les aciers austénitiques. Dans le cas d'une très forte déformation, il est donc nécessaire de prévoir entre les diverses étapes de déformation un recuit intermédiaire à 1000 °C environ. Une fois le formage terminé, il faudrait procéder à un recuit à 1050 °C suivi d'une trempe à l'eau. Les modifications de propriétés dues à la déformation à froid sont ainsi annulées et les caractéristiques normales de la matière rétablies. Dans de nombreux cas, un écrouissage est cependant souhaité, par ex. pour les fils et bandes en dureté de ressort. Une augmentation extrême de la résistance peut cependant nuire à la résistance à la corrosion et rendre l'acier légèrement magnétique. Si nécessaire, ces effets peuvent être annulés par un recuit de mise en solution. Lors du pliage des aciers inoxydables, il faut tenir compte qu'ils ont un effet de ressort plus important que les aciers au carbone.
Sur les aciers ferritiques, la déformation à froid est rendue plus difficile par leur sensibilité à l'entaille. Un chauffage à env. 100–200°C améliore notablement la capacité de déformation.
Sur les aciers martensitiques, une déformation à froid doit avoir lieu avant la trempe.

5.3 Usinage par enlèvement de copeaux

5.3.1 Usinage par enlèvement de copeaux des aciers inoxydables

En raison de leurs caractéristiques différentes, les aciers inoxydables présentent d'autres caractéristiques d'usinage que les aciers ordinaires au carbone. On peut dire en général que l'usinage devient plus difficile quand la teneur en éléments d'alliage augmente, c'est-à-dire qu'il faut choisir pour chaque groupe d'alliage des données d'usinage différentes. Les caractéristiques spéciales des aciers inoxydables influencent tous les quatre facteurs d'usinage, soit la force de coupe, l'usure de l'outil, la forme du copeau et la finition de surface.
Les caractéristiques spéciales suivantes des aciers inoxydables, entre autres les austénitiques, doivent être prises en considération lors de leur usinage:

– tendance marquée à l'écrouissage: lors de passes successives, l'outil rencontre une surface nettement plus dure qu'à la première passe, ce qui entraîne une augmentation de la force de coupe. Cela peut conduire à des problèmes lors de la finition en raison de la faible profondeur de coupe.

© KOHLER 2021

– basse conductibilité thermique: ce fait conduit à une plus forte charge thermique du tranchant des outils.
– forte ténacité: les efforts de coupe plus élevés entraîne une plus grande charge thermique des outils.
– encrassement, grippage: les aciers fortement alliés ont tendance à former des arêtes rapportées, qui conduisent à une mauvaise qualité de surface ainsi qu'à une sollicitation supplémentaire des arêtes des outils.
– de mauvaises propriétés de bris des copeaux conduisent à la formation de longs copeaux en boucles qui ne se laissent que difficilement enlever de l'outil et qui empêchent de laisser la machine travailler sans surveillance (voir aussi chap. 5.3.3).

5.3.2 Principes généraux de l'usinage

Les principes suivants doivent être respectés lors de l'usinage des aciers inoxydables.

– Pour éviter des vibrations (broutage), seules des machines de construction rigide doivent être utilisées, d'une puissance jusqu'à 50 % supérieure à ce qui est nécessaire pour l'usinage des aciers au carbone.
– Les outils et les pièces doivent être serrés solidement.
– Les outils doivent être fixés le plus court possible et être affûtés ou remplacés assez tôt.
– Les aciers inoxydables présentant une plus basse conductibilité thermique que les aciers au carbone, il faut assurer un refroidissement suffisant avec un réfrigérant approprié. Sinon des dégâts dus à la surchauffe sont inévitables tant sur l'outil que sur la pièce.
– Les aciers inoxydables tendent à durcir en cours d'usinage. La profondeur de coupe doit donc être choisie de façon que la couche durcie de la passe précédente soit enlevée sûrement.
– Des coupes interrompues doivent être évitées autant que possible, car elles conduisent à un écrouissage supplémentaire.
– Les fournisseurs ou les fabricants de liquides de coupe et de refroidissement renseignent sur le choix adéquat

5.3.3 Usinabilité

Aciers ferritiques

Ceux-ci ont tendance à l'encrassement et il peut donc être avantageux d'augmenter leur résistance à environ 200 HB.

Aciers martensitiques

Ils présentent des caractéristiques d'usinage analogues à celles des aciers de construction ordinaires. L'usinage par enlèvement de copeaux se fait le plus souvent à l'état non trempé.

Aciers austénitiques de fabrication conventionnelle

Ils présentent en conséquence de leur grande ténacité et de leur teneur élevée en Ni une tendance marquée au soudage à froid et à l'écrouissage. Comme ils tendent en outre à former de longs copeaux en boucles, leur usinage par enlèvement de copeaux est nettement plus difficile que celui des aciers faiblement alliés. Pour empêcher la formation d'arêtes rapportées et pour réduire l'écrouissage, on travail avec de basses vitesses de coupe et de fortes avances. Un refroidissement suffisant est alors très important.

Aciers de décolletage

Comme on l'a déjà mentionné, les aciers inoxydables austénitiques sont en raison de leur teneur élevée en Ni entre autres, plus difficiles à usiner que les aciers au carbone ordinaires. De manière analogue aux aciers de décolletage faiblement alliés, les aciers de décolletage inoxydables sont alliés au soufre (jusqu'à 0.35 %). Ce dernier forme du sulfure de manganèse dur et fragile qui sert de brise-copeaux de telle sorte que seuls des copeaux courts se produisent, comme c'est souhaité pour le décolletage. Ces aciers sont donc principalement utilisés dans le domaine du décolletage. Mais le soufre influence cependant négativement d'autres propriétés, comme:

– les aciers de décolletage ne sont pas soudables
– risque de rupture fragile lors de la déformation à froid
– réduction de la résistance à la corrosion
– les aciers de décolletage (même sans teneur accrue en soufre, voir chap. 5.3.4) sont difficiles à polir et ne se prêtent pas au polissage électrolytique)

5.3.4 Aciers inoxydables à usinabilité améliorée sans teneur accrue en soufre

Les inconvénients cités plus haut des aciers de décolletage alliés au soufre ont conduit au développement d'aciers inoxydables sans teneur accrue en soufre (par ex. les qualité PRODEC ou VALIMA). Dans ces aciers, on réalise grâce à une métallurgie particulière de fusion par addition de poudre de calcium et de silicium des oxydes de CaSiAl et des sulfures de CaMn fins, tendres, arrondis et répartis régulièrement.

Les avantages de ces aciers sont:
– des caractéristiques optimales d'usinage par coupe
– le choix de paramètres de coupe plus performants
– la plus longue durée de coupe des outils en raison de l'effet lubrifiant et de la dureté plus basse des inclusions brise-copeaux
– ainsi moins d'interruptions de production et des temps de production plus courts
– réduction des frais de production
– pas de diminution de la résistance à la corrosion et de la soudabilité
– capacité concurrentielle accrue

5.4 Polissage

5.4.1 Polissage des divers groupes d'acier

Une surface parfaitement polie ne peut s'obtenir sur des pièces d'acier inoxydable que par l'emploi d'alliages non stabilisés. Les aciers stabilisés au Ti ou au Ta/Nb (par ex. 1.4541 et 1.4571) forment des carbures durs inclus dans une matrice plus tendre de ferrite ou d'austénite. Lors du polissage

© KOHLER 2021

brillant, ces particules dures sont soit moins enlevées et font saillie, soit arrachées en laissant des empreintes en queues de comètes. Les sortes martensitiques (par ex. 1.4034) ne peuvent être parfaitement polies qu'à l'état trempé.
Tant lors du meulage que du polissage des aciers austénitiques, il faut tenir compte de la plus faible conductibilité thermique et du plus grand coefficient de dilatation. En cas de trop fortes vitesses de meulage ou de trop fortes pressions d'appui, il peut se produire des accumulations de chaleur et des colorations.

5.4.2 Polissage mécanique

La condition nécessaire à un excellent résultat du polissage est une surface exempte de griffures, d'endommagements mécaniques et de défauts, c'est-à-dire que la surface doit avoir été parfaitement meulée avec un grain de 400 au moins. Un meulage trop grossier ne peut pas être corrigé par le polissage. De petits sillons, stries ou inégalités sont cependant égalisés et remplis. Pour les diverses étapes du polissage, on utilise des disques de polissage de diverses matières, comme les brosses de fibres, de cordes de sisal, des disques de sisal imprégnés, des disques de coton durs ou tendres.
Pour le polissage des aciers inoxydables, on emploie diverses pâtes à polir, comme de l'argile fondue («chaux de Vienne», tendre) ou de l'oxyde de chrome («vert de chrome», dur).

5.4.3 Polissage électrochimique

On entend par polissage électrochimique un traitement électrochimique qui conduit à une égalisation et au brillant d'une surface à l'origine mate et rugueuse. Il s'agit en principe d'une inversion du procédé galvanique, où la pièce à traiter se trouve au pôle positif (anode) d'une source de courant continu. La caractéristique décisive du procédé est un enlèvement préférentiel des pointes de rugosité, qui conduit d'abord à une réduction de la micro-rugosité et à la suite de la prolongation de la durée de traitement, aussi à une élimination de la macro-rugosité. Le polissage électrolytique des aciers inoxydables conduit en outre à une passivation de la surface, ce qui a une répercussion positive sur le comportement à la corrosion.
En principe, tous les aciers inoxydables peuvent être soumis au polissage électrolytique, indépendamment de leur composition d'alliage et de leur caractéristiques mécaniques. Pour un résultat satisfaisant, les conditions suivantes doivent toutefois être remplies:

- structure la plus fine, régulière et homogène possible, avec le moins possible d'inclusions non métalliques et d'autres défauts
- bonne conductibilité électrique
- comportement de dissolution anodique identique des divers composants de l'alliage
- aucun composant d'alliage résistant électrochimiquement
- structure identique des parties ajoutés, par exemple parties soudées
- épaisseur de couche suffisante des matières plaquées

Dans la pratique, cela signifie que les aciers stabilisés au Nb ou au Ti (par ex. 1.4541, 1.4571) ou les aciers de décolletage (par ex. 1.4305) ne conviennent que sous conditions ou pas du tout au polissage électrolytique. Des inclusions non métalliques auxquelles il faut toujours s'attendre avec les aciers produits en gros sont attaquées plus ou moins fortement que la matrice et sont donc visibles après le polissage électrolytique. Dans les aciers de décolletage cependant, indépendamment de leur mode de production, des inclusions sont produites intentionnellement comme brise-copeaux. Les aciers de décolletage ne peuvent donc pas permettre un polissage électrolytique satisfaisant.
Un acier qui doit fournir d'excellents résultats au polissage électrolytique doit être très pur, c'est-à-dire produit par un procédé spécialement pur, au moyen de ferrailles spécialement pures:

[S] < 0.005 % (EN 10088-3: [S] < 0.030 %)
[P] < 0.010 % (EN 10088-3: [P] < 0.045 %)

Les aciers présentant de si basses teneurs en soufre et en phosphore doivent être produits par un procédé particulier dans une charge spéciale.

5.5 Soudage

5.5.1 Généralités

Lors du soudage d'aciers inoxydables, il est important de limiter l'apport de chaleur afin de garder aussi petites que possibles les zones influencées par la chaleur (ZIC). Des procédés automatiques tels que le soudage MIG et WIG sont avantageux dans ce cas.
Des assemblages soudés d'aciers inoxydables avec des aciers non alliés sont parfaitement possibles, mais il faut toutefois absolument tenir compte du problème d'une éventuelle corrosion de contact.
Des indications pour le calcul des indices de ferrite ainsi qu'un diagramme de Schaeffler se trouvent au chapitre 7.

5.5.2 Procédés de soudage

Les procédés de soudage les plus courants pour les aciers inoxydables sont:

- soudage manuel à l'arc électrique
- soudage WIG / TIG
- soudage MIG / MAG

D'autres procédés pour des applications spéciales, que nous ne traiterons pas en détail, sont:

- soudage sous poudre
- soudage électrique sous laitier
- soudage au plasma
- soudage au laser
- soudage par faisceau d'électrons (sous vide)
- soudage de grande puissance

© KOHLER 2021

Soudage à l'arc électrique
Le soudage à l'arc électrique avec une électrode enrobée est le procédé le plus simple et le plus répandu. La source de chaleur efficace (température de l'arc de 6000°C environ), la simplicité de la méthode et l'application dans n'importe quelle position soutiennent ce procédé. Cette méthode est utilisée pour des épaisseurs de matière de plus de 1 mm.

Soudage WIG / TIG
(**W**olfram/**T**ungsten **I**nert **G**as)
Dans ce procédé, la chaleur nécessaire est produite par un arc électrique allumé entre une électrode de tungstène qui ne fond pas et la pièce. On utilise comme gaz protecteur de préférence de l'argon pur ou de l'argon avec une addition d'un pour cent d'hydrogène. Des tôles jusqu'à une épaisseur de matière de 2 mm peuvent être soudées sans métal d'apport. Pour de plus fortes épaisseurs de tôle, on utilise un fil de métal d'apport.

Soudage MIG / MAG
(**M**etal **I**nert/**A**ctive **G**as)
L'arc est ici allumé entre le métal d'apport (fil) et la pièce. On travaille dans le procédé MIG avec des mélanges inertes hélium-argon, alors que dans le procédé MAG, on a recours à des mélanges réactifs hélium-argon-gaz carbonique. Ce procédé se recommande pour des épaisseurs de matière de plus de 5 mm.

5.5.3 Soudabilité des divers aciers inoxydables

Aciers ferritiques
Les aciers ferritiques ne présentent aucun changement de structure. Ils ne sont donc pas trempants ou que sous conditions. Cela facilite le soudage en comparaison des aciers martensitiques. Les aciers ferritiques ont cependant tendance au grossissement du grain, qui conduit à une fragilisation, c'est-à-dire à une ténacité réduite après le soudage.
Il est donc recommandé de préchauffer les pièces avant le soudage à 200°C environ et ensuite de les recuire à 750°C. On utilise comme métal d'apport des matériaux ferritiques, ferrito-austénitiques ou austénitiques. Si les possibilités de préchauffer ou de recuire les pièces ne sont pas offertes, il faut utiliser un métal d'apport austénitique.

Aciers martensitiques
En raison de leur teneur élevée en C, ces aciers présentent au refroidissement depuis la température de soudage un changement de structure et tendent à se fissurer par trempe. C'est uniquement en prenant des précautions particulières que la formation de fissures peut être évitée. Un préchauffage de la pièce avant le soudage à 200–300 °C et ensuite un recuit à 700–750 °C sont recommandés. Pour les aciers qui présentent une teneur en C de plus de 0.30 %, il faudrait déconseiller le soudage.

Aciers austénitiques
Les aciers austénitiques sont très bien soudables. Comme on l'a déjà mentionné au chapitre «Corrosion», il faut tenir compte du risque de précipitation de carbures aux joints des grains et de la corrosion intercristalline.
Les aciers austénitiques présentent un coefficient élevé de dilatation ou mieux dit de rétraction. Il faut prendre ce phénomène en considération pour le présoudage (agrafage) de grandes constructions en acier inoxydable; sinon il faut s'attendre à ce que la construction se déforme massivement.

Aciers austéno-ferritiques (Duplex)
Ces aciers se situent quant à leur soudabilité entre les matériaux ferritiques et austénitiques. Si ces aciers sont soumis lors du soudage à un échauffement prolongé dans le domaine de 650–850 °C, il se produit une précipitation intermétallique, dite «phase sigma», qui entraîne une réduction de la ténacité. Par un recuit de recristallisation à 950–1000 °C, la phase sigma peut de nouveau être dissoute et la matière peut être régénérée à sa ténacité normale. Pour le soudage, on utilise comme métal d'apport des matériaux austénitiques ou ferrito-austénitiques.

5.5.4 Couleur de revenu et défauts de soudure

Comme on l'a déjà mentionné au chapitre 2.3, les aciers inoxydables se protègent par la formation d'une couche d'oxyde de chrome très résistante et stable (couche passive).
Des couleurs de revenu se produisent lors de traitement thermiques ou du soudage sans protection suffisante contre l'oxydation, par réaction de l'acier avec l'oxygène résiduel adhérent à la surface. La couche passive est alors détruite et remplacée par une nouvelle couche ayant en principe une autre constitution et entre autres aucun effet protecteur. La structure de cette nouvelle couche et ainsi également sa résistance à la corrosion dépendent en premier lieu de la température maximale atteinte ainsi que de l'évolution de la température en fonction du temps.
Il ressort d'essais de corrosion correspondants que les couleurs de revenu ne sont aucunement des couches passives et qu'elles réduisent notablement la résistance locale à la corrosion. Les couleurs de revenu doivent donc être soit empêchées par des mesures appropriées (par ex. à l'intérieur de tubes soudés par activation) soit éliminées complètement après-coup, afin que la couche passive puisse se former avec la résistance à la corrosion d'origine aussi dans la zone du cordon de soudure.
Des défauts de soudure aussi peuvent réduire localement la résistance à la corrosion et ils doivent donc être éliminé complètement. On trouve par exemple parmi les défauts de soudure:

- des fusions incomplètes
- des cratères de brûlure
- des pores
- des inclusions de laitier
- des cratères d'amorçage

Les défauts de soudure doivent être éliminés par meulage et/ou par des soudures de réparation.

© KOHLER 2021

5.5.5 Traitements après le soudage

Afin que les aciers inoxydables puissent former une couche passive parfaite, ils doivent présenter une surface propre et régulière. Toute espèce d'impureté, comme par exemple des empreintes de doigts, des traces de craie, de graisse ou d'huile ou des restes de couleurs de revenu empêche l'accès de l'oxygène à la surface et ainsi la formation de la couche passive.

L'étendue et la méthode du traitement sont définies par la résistance exigée à la corrosion et par la qualité de surface, ainsi que par les possibilités offertes. Une construction correcte ainsi que de bons processus de planification et de fabrication réduisent le besoin de traitement et ainsi également les frais.

Il existe des processus de nettoyage mécaniques et chimiques, qui peuvent être appliqués séparément ou en combinaison selon les exigences.

Méthodes mécaniques de traitement

MEULAGE

Le meulage est habituellement la seule méthode pour éliminer les défauts de soudure et les griffures profondes. Une meule à lamelles suffit pour enlever les couleurs de revenu et les impuretés.

Il y a lieu d'observer ce qui suit:

- utiliser des meules auto-affûteuses exemptes de fer, qui sont utilisées exclusivement pour le meulage d'aciers inoxydables
- ne jamais utiliser un abrasif qui a été utilisé auparavant pour de l'acier non allié
- éviter un grain trop grossier: meulage grossier avec K40–K60, puis meulage fin avec K180 ou plus fin
- pour les hautes exigences, un polissage peut être nécessaire
- ne pas surchauffer la surface par une trop forte pression de meulage, afin d'éviter des fissures de meulage et des colorations
- les défauts doivent être éliminés complètement
- rugosité de surface: les cordons de soudure et les surfaces qui ont été meulées ou grenaillées trop grossièrement favorisent les dépôts. Le risque d'une corrosion et de la contamination d'un produit augmente. Un meulage grossier conduit à de trop fortes tensions de traction dans la surface. Le risque de corrosion fissurante sous tension et de corrosion par piqûres est fortement augmenté. Pour une série d'applications, il existe en outre des prescriptions sur la rugosité de surface maximale admissible (valeurs R_a).

GRENAILLAGE

Le grenaillage avec des billes de verre ou d'acier convient pour éliminer les impuretés d'oxydes de chauffage et de fer. Les billes doivent cependant être complètement propres, c'est-à-dire qu'elles ne doivent pas avoir été utilisées auparavant pour de l'acier non allié. La rugosité de la surface représente le facteur de limitation de cette méthode. Avec peu de pression et un faible angle d'incidence, on peut obtenir de bons résultats. Le grenaillage avec des billes de verre fournit pour l'élimination de la couleur de revenu une meilleure qualité de surface que le meulage.

Lors du grenaillage, il se produit des contraintes supplémentaires de compression en surface, qui au contraire des contraintes de traction ont une action positive sur la résistance à la corrosion fissurante sous tension et à la fatigue.

BROSSAGE

Pour ce traitement, il ne faut utiliser que des brosses en acier inoxydable ou en matière plastique. Cette méthode n'attaque que peu la surface: la couleur de revenu est bien enlevée, mais il n'y a aucune garantie de l'élimination de la couche appauvrie en chrome.

Méthodes chimiques de traitement

Les méthodes chimiques permettent d'enlever les oxydes produits par l'action des hautes températures ainsi que les impuretés de fer, sans attaquer notablement la surface. Les produits chimiques éliminent la couche en surface par une corrosion contrôlée. Ils enlèvent sélectivement les zones de la surface les moins résistantes à la corrosion, comme les couleurs de revenu et la couche appauvrie en chrome, et ils permettent ainsi la formation d'une couche passive résistante. Un traitement par des moyens chimiques doit donc être préférée en raison de la rugosité de surface nettement plus fine qui résulte d'un traitement grossier seulement mécanique.

Lors de procédés chimiques, il faut respecter absolument les prescriptions correspondantes de protection de l'environnement (voir aussi *chapitre* «Neutralisation / Elimination»). Cela nécessite des locaux de décapage équipés en conséquence et éventuellement une protection adéquate des personnes (vêtement de protection, masque respiratoire).

DECAPAGE

C'est la méthode chimique la plus fréquemment utilisée pour enlever la couleur de revenu et les impuretés de fer. On utilise normalement pour le décapage les mélanges d'acides suivants:

8–20 % d'acide nitrique (HNO3)
0.5–5 % d'acide fluorhydrique (HF)
reste: eau

Les solutions chlorées comme l'acide chlorhydrique (HCl) ne doivent pas être utilisées en raison du risque de corrosion par piqûres!

© KOHLER 2021

Aptitude au décapage des diverses matières:

matière	C max. [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	aptitude au décapage
1.4301	0.07	18.3	9.3	–	1
1.4306	0.030	19.0	11.0	–	1
1.4307	0.030	18.5	9.0	–	1
1.4404	0.030	17.5	11.5	2.2	2
1.4571	0.08	17.5	12.0	2.2	2
1.4432	0.030	17.5	11.5	2.7	2
1.4435	0.030	18.0	13.7	2.7	2
1.4462	0.030	22.0	5.5	3.0	3
1.4439	0.030	17.5	13.5	4.5	3
1.4539	0.020	20.0	25.0	4.5	3
254 SMO	0.020	20.0	18.0	6.5	4
654 SMO	0.020	24.0	22.0	7.3	pas apte

Aptitude au décapage: 1 = très facile, ... 4 = très difficile

Les facteurs suivants sont important pour un décapage efficace:
- Surfaces: elles doivent être exemptes d'impuretés organiques.
- Température: l'action de la solution décapante augmente fortement avec la température; la vitesse de décapage s'en trouve notablement augmentée. La température devrait se situer entre 25°C et 65°C au maximum.
- Mélange d'acides: composition, concentration et teneur en ions métalliques libres.
- Sortes d'acier: des matières fortement alliées, résistantes à la corrosion, exigent un mélange d'acides agressif et / ou une température du bain plus élevée.
- Genre et épaisseur de la couche d'oxydes: celle-ci dépend dans une grande mesure de la méthode de soudage. Selon l'apport de chaleur, il se forme divers oxydes au soudage. Avec l'utilisation d'un gaz protecteur, la formation d'oxyde est la plus réduite.
- Caractéristiques de surface: une surface grossière, laminée à chaud, peut être plus difficile à décaper qu'une surface lisse laminée à froid ou rectifiée.

METHODES DE DECAPAGE

– Bain de décapage:

Le décapage au bain est une méthode commode pour autant que les dimensions de la pièce le permettent. Avec de trop fortes températures, il peut se produire pour des aciers faiblement ou fortement alliés un décapage excessif, ce qui a pour conséquence une surface rugueuse. L'effet de décapage dépend non seulement de la concentration de l'acide et de la température, mais aussi de la teneur en ions métalliques libres (le plus souvent Fe) dans la solution décapante.

La relation suivante peut être considérée comme valeur indicative: la teneur en Fe libre en mg/l ne devrait pas dépasser la température du bain en °C.

Si la teneur en ions métalliques est trop forte, le liquide décapant devrait être remplacé complètement ou partiellement par de l'acide frais.

– Solution de décapage pulvérisée

Elle se compose normalement d'acide nitrique (HNO3) et d'acide fluorhydrique (HF) mélangés avec un liant et des substances tensioactives afin qu'elle ne s'écoule pas trop rapidement de la pièce. Elle est pulvérisée sur de larges surfaces. Pour des caractéristiques décapantes moins fortes, on peut aussi utiliser de l'acide phosphorique. Cette méthode convient pour de grandes pièces qui ne trouvent pas de place dans un bain. Pour la pulvérisation de décapant, on a besoin entre autres de locaux spéciaux équipés en conséquence (écoulement des eaux usées, ventilation, vêtement de protection pour le personnel).

– Pâte décapante

La pâte se compose habituellement d'un mélange d'acides de HNO3 et HF avec un liant. Elle convient pour le décapage de zones limitées, principalement dans les zones soudées. A des températures inférieures à +5°C, l'action est très faible. A des températures de la matière de plus de 40°, il y a un risque d'évaporation de la pâte. L'action décapante s'en trouve fortement diminuée et le rinçage est rendu plus difficile.

– Passivation / décontamination

Cette procédure se réalise de la même manière que le décapage. La substance active n'est cependant dans ce procédé que de l'acide nitrique à 18–20 % à environ 20 °C. Ce traitement renforce la couche passive. Il est particulièrement important s'il y a un risque d'impuretés due au fer, car l'acide nettoie la surface de ces impuretés. Pour cette raison, on parle aussi d'une décontamination. Comme après le décapage, un rinçage à l'eau est nécessaire.

– Polissage électrolytique

Ce processus électrochimique assure une résistance optimale à la corrosion. La surface acquiert un brillant élevé et un micro-profil équilibré qui répond aux plus hautes exigences d'hygiène (voir aussi chapitre 5.4.3).

Après tout traitement chimique, la pièce doit être correctement nettoyée sous haute pression. L'eau de rinçage doit être recueillie séparément, neutralisée et éliminée.

– Neutralisation / Elimination

Les liquides de rinçage contiennent des acides et sont polluées par des métaux lourds, principalement le chrome et le nickel, et ils doivent donc être neutralisés. La neutralisation se fait avec un produit alcalin, au mieux avec de la chaux technique éteinte ou avec un produit de neutralisation du commerce. **Les boues résiduelles doivent être traitées comme des déchets spéciaux contenant des métaux lourds et éliminées conformément aux prescriptions en vigueur.**

– Impuretés organiques

Les impuretés de ce genre sont les graisses, les huiles, les restes de colle, les empreintes de doigts, les peintures et divers dépôts. De telles impuretés peuvent causer dans un environnement agressif une corrosion dans les fissures et empêcher un décapage correct, car les acides décapants

© KOHLER 2021

n'agissent que sur les impuretés inorganiques! Les impuretés organiques doivent être enlevées avant le décapage au moyen de produits de nettoyage et de dégraissage **exempts de chlorures.**

5.6 Brasage

Par l'emploi de brasures spéciales à l'argent et de flux, le brasage techniquement impeccable des aciers inoxydables est possible. Il faut toutefois tenir compte que les aciers inoxydables et les brasures à l'argent ont des propriétés fondamentales fortement différentes. Il ne faut donc pas s'attendre à ce que les pièces d'acier inoxydable brasées se comportent comme des pièces d'un seul bloc.
Si les assemblages brasés entrent en contact avec de l'air humide ou des liquides, les relations doivent être examinées attentivement. Les brasures contenant du zinc comme par exemple la brasure usuelle à l'argent L-Ag40Cd ne doivent en aucun cas être utilisées pour de telles applications, car elles entraîneraient une destruction rapide de l'assemblage par une corrosion aux surfaces limites – appelée aussi corrosion de la lame de couteau. Pour certaines applications, par exemple l'industrie alimentaire, la chimie, la pharmacie et les conduites d'eau potables, il faut en outre tenir compte que les brasures ne doivent contenir aucune substance toxique (cadmium, plomb, etc.).
Dans le cas de brasage durant longtemps à des températures entre 600 et 800°C, il faut veiller aussi à la décomposition du grain déjà cités pour les aciers non stabilisés. Les directives générales pour les constructions brasées s'appliquent aussi aux aciers inoxydables. Si la construction, le processus de brasage et la technique de travail concordent, des assemblages extrêmes brasés sont aussi possibles, comme le montre par exemple les fonds en aluminium ou en cuivre brasés sur des casseroles en acier inoxydable.

5.7 Collage

Les aciers inoxydables peuvent être collés sans problème, à condition que l'on emploie des colles et des procédés appropriés. Pour éclaircir en vue d'un cas d'application précis la colle et la méthode qui conviennent, on s'adressera aux fabricants et fournisseurs correspondants.

5.8 Rivetage, vissage

Lors du rivetage ou du vissage d'aciers inoxydables, il faut veiller à ce que les rivets, vis et rondelles soient si possible d'une matière identique ou plus noble. Si l'on utilise des vis ou des rivets de matière moins noble, par ex. des vis galvanisées ou des rivets d'aluminium, il y a un risque de corrosion de contact, si le joint entre en contact avec un liquide conducteur d'électricité. En raison des rapports de surface différents (grande surface d'acier inoxydable – petite surface non noble des vis ou rivets), la corrosion des vis ou rivets non nobles se trouve renforcée.
Pour les vis en acier inoxydable, il faut remarquer que l'acier inoxydable a une tendance marquée au grippage (soudage à froid). Cela peut conduire dans un assemblage vissé à ce qu'il ne soit pas assez serré ou qu'il ne puisse plus être desserré plus tard. Ce problème peut être évité en graissant suffisamment le filet avant le serrage. Au besoin, le lubrifiant doit être adapté à l'application correspondante (par exemple domaine alimentaire).

5.9 Problèmes de contacts de l'acier inoxydable avec d'autres matériaux

Le risque de corrosion de contact doit aussi être pris en considération dans l'assemblage de matériaux moins nobles avec de l'acier inoxydable (par ex. raccords de tubes en acier inoxydable au moyen de tubes galvanisés ou de robinetterie en bronze, raccord de profils en acier inoxydable avec des profils galvanisés). Dans ce cas, les facteurs suivants jouent un rôle:

- présence éventuelle de fluide corrosif conducteur d'électricité
- potentiels de corrosion des matériaux utilisé dans le fluide en question
- rapport des surfaces: plus le rapport des surfaces entre la matière noble et la matière non noble est grand, plus la vitesse de corrosion du partenaire non noble est grande.

Selon le risque de corrosion, il peut être nécessaire de séparer électriquement les différentes parties, par ex. par interposition de rondelles, douilles et joints de matière plastique (voir aussi le tableau du chapitre 2.2.5).

5.10 Traitement thermique

Un traitement thermique peut modifier les caractéristiques d'un acier. Avec les aciers inoxydables, les changements suivants sont possibles:
- annulation partielle ou complète des modifications produite par une déformation à froid (écrouissage, caractéristiques physiques comme magnétisme, etc.)
- élimination des auto-contraintes
- homogénéisation de la structure et dissolutions de carbures et d'autres précipitations intermétalliques
- adaptation des caractéristiques mécaniques pour les alliages trempables

Sur les aciers non stabilisés au titane, il faut absolument veiller à ce qu'ils ne soient pas maintenus plus longtemps que ce qui est absolument nécessaire à des températures dans le domaine de 480–760 °C, car sinon il peut se former des carbures aux joints des grains, qui entraînent une réduction de la résistance à la corrosion dans le domaine des limites des grains (corrosion aux joints des grains).

© KOHLER 2021

5.10.1 Aciers ferritiques

Les aciers ferritiques sont soumis à un recuit doux dans le domaine de 750–850°C pour une durée de maintien de 1 h par 25 mm d'épaisseur de matière. Ils sont ensuite refroidis à l'air. Les aciers ferritiques ne sont pas trempables en raison de leur basse teneur en carbone.

5.10.2 Aciers martensitiques

Ces aciers sont utilisés normalement à l'état amélioré. On obtient ainsi une bonne combinaison entre la résistance (dureté), la ténacité et la résistance à la corrosion. Lors de l'amélioration, l'acier subit deux traitements thermiques différents:

1. Trempe
2. Revenu

Lors de la trempe, l'acier est chauffé à 1000 °C environ et ensuite trempé dans l'huile ou l'eau. Par le changement de structure d'austénite en martensite, l'acier devient dur, mais aussi plus fragile. Afin d'assurer une bonne ténacité, les contraintes dues à la trempe dans la structure doivent être éliminées par un traitement thermique supplémentaire. Cela s'obtient par un revenu à une température définie. Par le choix de la température de revenu, on peut varier la dureté dans certaines limites. Elle est déterminée sur le diagramme de revenu dans les brochures des produits. En général, la dureté et la résistance à la corrosion diminuent quand la température de revenu augmente, la ténacité est par contre diminuée. Après le revenu, on laisse le matériel se refroidir à l'air.

5.10.3 Aciers austénitiques et duplex

La température de recuit des aciers austénitiques se situe vers 1070–1170°C, et celle des aciers austéno-ferritiques vers 1000–1100°C. Les aciers austénitiques et austéno-ferritiques sont refroidis dans l'eau après le recuit. Les sections minces peuvent se refroidir à l'air libre. Ces aciers ne durcissent pas par la trempe, mais il est néanmoins possible, par un processus spécial (**Kolstérisation®**), d'obtenir une surface mince dure (entre 1000 et 1200 $HV_{0.05}$, correspondant à 74 HRC env.), qui améliore en outre le comportement au grippage et partiellement aussi la résistance à la corrosion de ces matières.

5.10.4 Aciers à durcissement par précipitation

Pour les aciers à durcissement par précipitation, on produit par un traitement thermique spécial des précipitations très fines, finement réparties dans la structure, qui produisent une augmentation correspondante de la dureté et de la résistance.

5.11 Nettoyage et entretien

Une méthode simple et efficace pour prolonger la durée de vie de produits en acier inoxydable est d'empêcher des concentrations (dépôts) de matières nocives (par ex. chlorures) par un rinçage régulier et à fond à l'eau propre.
Comme déjà lors de la mise en oeuvre, il faut veiller aussi lors du nettoyage de l'acier inoxydable à ce que celui-ci n'entre pas en contact avec de l'acier non allié (par ex. brosses d'acier, abrasifs, etc.). Il faut donc utiliser des brosses en acier inoxydable ou en plastique ou des abrasifs (par ex. ScotchBrite) qui n'ont pas été auparavant en contact avec de l'acier non allié. Si la surface est nettoyée au moyen d'abrasifs, l'abrasif doit être plus dur que la saleté, mais plus tendre que la surface de l'acier, sinon la couche passive sera blessée. En cas de dégâts à la couche passive, il faut s'assurer de la régénération parfaite d'une couche passive (exempte de graisse). Pour le nettoyage chimique de surfaces d'acier inoxydable, on a indiqué dans le tableau 7.12 une série de produits de nettoyage. On trouve aussi sur le marché des produits de nettoyage spéciaux pour éliminer la rouille erratique ainsi que des produits d'entretien ayant des propriétés protectrices.
L'acide chlorhydrique (HCl) et l'acide fluorhydrique (HF) ne conviennent pas comme produit de nettoyage car ils conduisent à une attaque prononcée de la surface déjà à une concentration faible. Il faut également observer que les produits de désinfection et de nettoyage qui sont utilisés dans la branche alimentaire et les piscines contiennent souvent de l'hypochlorite de sodium qui peut aussi causer de la corrosion.

Nettoyage sur chantier d'installations en acier inoxydable
Les aciers inoxydables ne peuvent développer pleinement leur résistance à la corrosion que si leur surface est réellement propre. Il est donc extrêmement important de veiller non seulement lors de la mise en oeuvre, mais déjà au transport et au stockage, à ce que l'acier inoxydable n'entre pas en contact avec de l'acier non allié.
Les parties de construction qui sont montées sur le chantier sont souvent souillées lors de la mise en oeuvre même, ou par des influences extérieures, comme par exemple:

- travail et montage d'autres pièces et matières
- contact avec des engins de levage en acier non allié → utiliser des sangles
- appui en acier non allié (supports d'étagères, bords de ponts de chargement)
- stockage avec des aciers non alliés → stocker séparément et couvrir!
- travail avec des outils déjà utilisés pour des aciers non alliés → toujours utiliser des outils séparés pour l'acier inoxydable
- utilisation de brosses en acier ordinaire ou en laine d'acier → utiliser des brosses en acier inoxydable ou en plastique, respectivement du ScotchBrite propre
- utilisation de grenaille (sable) pollué par des aciers non alliés
- utilisation de papier abrasif ou de meules contenant de l'oxyde de fer.

Les particules de fer adhérant sur la surface d'acier inoxydable se corrodent sous l'influence de l'humidité de l'air après peu de temps et cause ce qu'on appelle de la rouille erratique ou même éventuellement des piqûres de corrosion.

Mais des problèmes de corrosion peuvent aussi être causés sur les objets finis par des souillures par des

© KOHLER 2021

- matières organiques comme les huiles, graisses, peintures, solvants, marques, empreintes de pieds et de mains
- produits de nettoyage ou désinfectants agressifs ou contenant du chlore ou du brome qui n'ont pas été complètement rincés ou neutralisés
- fils et bandes d'attache en acier ordinaire → utiliser des bandes en plastique
- couleurs de revenu à la suite de surchauffe lors du soudage, tronçonnage, meulage, chauffage → décaper, meuler
- résidus de soudure comme laitiers ou gouttes froides
- restes de colle de rubans adhésifs ou d'étiquettes.

Dans de tels cas, il est souvent extrêmement difficile et lié à des frais élevés et des désagréments de devoir déterminer ultérieurement la cause effective de la corrosion.

En général, le fournisseur n'est responsable que des défauts de matière prouvés et seulement dans l'étendue de la valeur du matériel livré et non pas pour les dégâts consécutifs!

Il s'ensuit qu'un nettoyage impeccable après la fabrication peut épargner beaucoup de désagréments et des frais élevés. Selon l'étendue des souillures, le nettoyage peut se faire avec les produits suivants, éventuellement combinés:

- brosses en acier inoxydable ou en plastique
- meulage avec des abrasifs utilisés exclusivement pour l'acier inoxydable
- grenaillage avec des grenailles exemptes d'oxyde de fer, par ex. des billes de verre
- éponges abrasives comme ScotchBrite
- décapage avec de la pâte ou au bain.

Pour le nettoyage après le montage, mais aussi en cours d'exploitation, on peut utiliser selon le problème de nettoyage les produits de nettoyage récapitulés dans le tableau 7.12. Pour obtenir des résultats impeccables, il faut d'une part respecter exactement les instructions de service et d'autre part, les surfaces nettoyées doivent être rincées soigneusement avec de l'eau propre, si possible à haute pression. Les restes de produits de nettoyage qui n'ont pas été rincés ou neutralisés peuvent aussi conduire à de la corrosion. Les fournisseurs compétents vous conseilleront volontiers.

6 NORMES

6.1 EN 10088

La série de normes EN 10088 fut introduite en 1995 au niveau européen (pays membres du CEN – Comité Européen de Normalisation) pour les produits d'aciers inoxydables utilisés à des fins générales, et afin de veiller à ce que les différentes normes nationales soient progressivement remplacées.
Une première révision majeure complétée a été introduite à l'automne 2005. En 2009 furent introduites les parties 4 et 5 et en fin 2014 les parties 1 à 3 furent complètement révisées pour la seconde fois.

La norme EN 10088 est actuellement composée des éléments suivants:

Partie 1
Liste des aciers inoxydables.
On y relève 132 aciers résistants à la corrosion, 21 aciers réfractaires et 29 aciers résistants à la chaleur avec leur composition chimique et des informations sur leurs caractéristiques physiques. En outre, d'autres tabelles contiennent une cartographie des produits en aciers inoxydables aux normes européennes et permettent une comparaison avec d'autres systèmes de désignation (ISO, UNS, JIS, ISC).

Partie 2
Conditions techniques de livraison pour tôles et bandes en aciers inoxydables pour un usage général.

Partie 3
Conditions techniques de livraison pour les semi-produits, barres, fils machines, fils tréfilés, profils et produits transformés à froid en acier résistant à la corrosion pour un usage général.

Partie 4
Conditions techniques de livraison des tôles et bandes en acier résistant à la corrosion, pour usage de construction.

Partie 5
Conditions techniques de livraison pour les barres, fils machine, profils et produits en acier résistant à la corrosion, pour usage de construction.

Les parties 2 à 5 contiennent les caractéristiques des différents produits. En outre on discerne les nuances standardisées et les nuances spéciales, et de ce fait la disponibilité des nuances d'acier normées s'en trouve définie.

Des aciers inoxydables pour une application dans le domaine des équipements sous pression, soumis à autorisation sont définis dans d'autres normes.

Le tableau ci-dessous vous donne un aperçu des normes des matériaux pour les aciers inoxydables.

Toutes les normes nationales importantes des pays membre du «CEN» ont été entretemps remplacées par les normes européennes correspondantes.

© KOHLER 2021

6.2 Autres normes

Qui sont à prendre en considération dans la gamme des aciers inoxydables:

6.2.1 Norme bâloise BN 2

Cette norme, élaborée par l'industrie chimique bâloise (BCI), définie les exigences techniques à des produits en aciers austénitiques CrNiMo se basant sur 1.4435 selon EN 10088 respectivement à ASTM 316L mais avec une teneur de ferrite définie. Par cette norme on cherche à garantir que lors de l'utilisation de produits de différentes provenances et charges une résistance à la corrosion constante.

6.2.2 AD 2000 W 2

Cette fiche technique élaborée par le «Groupe de travail pour appareils à pression» s'applique à des aciers austénitiques et austéno-ferritiques (Duplex) pour des semi-produits et des éléments d'assemblage destinés à la construction des réservoirs sous pression.

6.2.3 SEW 400

La fiche de matière acier-fer (STAHL-EISEN-Werkstoffblatt) 400 comprend les aciers inoxydables à laminer ou à forger et qui ne sont pas pris en considération dans la norme EN 10088. Il s'agit en général des nuances d'aciers qui ont une sphère d'application limitée.

produits	**aciers inoxydables**		
	aciers résistants à la corrosion	aciers réfractaires	aciers résistants au fluage
produits plats pour appareils sous pression	EN 10028-7		EN 10028-7
produits plats à usage général	EN 10088-2		
produits longs à usage général	EN 10088-3		
produits plats pour usage de construction	EN 10088-4		
produits longs pour usage de construction	EN 10088-5		
aciers et alliages de nickel réfractaires		EN 10095	
bandes pour ressorts	EN 10151		
tubes sans soudures pour appareils sous pression	EN 10216-5		EN 10216-5
tubes soudés pour appareils sous pression	EN 10217-7		
pièces forgées pour appareils sous pression	EN 10222-5		EN 10222-5
pièces forgées à usage général	EN 10250-4		
fil machine, barres et fils en acier pour transformation à froid et extrusion à froid	EN 10263-5		
fils pour câbles	EN 10264-4	EN 10264-4	
éléments de fixations utilisés à température élevée et/ou à basse température	EN 10269		EN 10269
fils pour ressorts mécaniques	EN 10270-3		
barres pour appareils sous pression	EN 10272		
tubes ronds soudés à usage général	EN 10296-2		
tubes ronds sans soudures à usage général	EN 10297-2		
aciers et alliages de nickel et cobalt résistant au fluage			EN 10302
tubes soudés pour le transport d'eau et d'autres liquides aqueux	EN 10312		

© KOHLER 2021

Tabelles et informations techniques

Table de matières		page
7	**Tabelles et informations techniques**	**168**
7.1	Equivalence des normes	**169**
7.2	Compositions chimiques *(en % poids)*	**170**
7.3	Valeurs mécaniques à 20°C	**171**
7.4	Valeurs mécaniques à température élevée	**170**
7.5	Caractéristiques physiques	**173**
7.6	Formages à chaud et traitements thermiques	**174**
7.7	Calcul de la ferrite/diagramme de Schaeffler	**175**
7.8	EN 10088 – nouvelles désignations des surfaces	**176**
7.9	Désignations pour tubes soudés longitudinalement	**177**
7.10	Tabelle des équivalences de duretés	**178**
7.11	Nettoyage et entretien	**179-180**
7.12	Documents de contrôle selon EN 10204	**181**
7.13	Tabelle des poids pour aciers inoxydables ronds, carrés et hexagonaux	**182**
7.14	Tabelle des poids pour aciers inoxydables plats	**183**

Responsabilité
Origines des données et informations:

Les indications dans cette partie du catalogue se basent sur le niveau actuel de nos connaissances et ne donnent que des indications générales sur nos produits et leurs possibilités d'application. Elles ne peuvent pas servir de garantie ni pour les caractéristiques spécifiques des produits décrits, ni pour leurs aptitudes aux possibilités d'application citées comme exemple. Les données indiquées, qui proviennent de diverses sources, en partie non vérifiables, se basent sur des essais en laboratoire et doivent être comprises comme indicatives et non comme propriétés garanties. Elles peuvent varier d'une charge à l'autre et d'une usine à l'autre. La construction, la mise en œuvre et les conditions d'utilisation ainsi que des normes et règlements nationaux et internationaux peuvent limiter les valeurs et propriétés admissibles dans la pratique.
Pour des aciers qui sont contenus dans la norme EN 10088, les valeurs chimiques, mécaniques et physiques ont été reprises de EN 10088. Pour les autres aciers, les données ont été tirées de la Clé des aciers ou d'indications d'usine.
La garantie de caractéristiques définies et de l'aptitude pour une application définie nécessite dans chaque cas une convention spéciale écrite.

L'utilisation des ces informations et données se fait à la responsabilité exclusive de l'utilisateur.
La maison HANS KOHLER SA décline expressément toute responsabilité pour des pertes, des dégâts et leurs conséquences résultant de l'utilisation des ces informations et données.

© KOHLER 2021

HANS KOHLER SA, Claridenstrasse 20, case postale, CH-8022 Zurich, téléphone 044 207 11 11, fax 044 207 11 10

7.1 Equivalence des normes

matières		Europe		Outokumpu	USA (ASTM/AISI)		désignation nationale obsolète				matière d'apport
		EN	désignation symbolique		Type	UNS	Allemagne DIN	U.K. BS	France NF	Suède SS	
Ferrite	**1.4000**	1.4000	X6Cr13	4000	410S	S41008	1.4000	403 S 17	Z 8 C 12	2301	308L / P5
	1.4003	1.4003	X2CrNi12	4003	---	S40977	1.4003	---	---	---	---
	1.4016	1.4016	X6Cr17	4016	430	S43000	1.4016	430 S 17	Z 8 C 17	2320	308L / MVR / 309L
	1.4509	1.4509	X2CrTiNb18	4509	---	S43940	---	---	Z 3 CTNb 18	---	308L / 430LNb
	1.4510	1.4510	X3CrTi17	4510	439	S43035	1.4510	---	Z 4 CT 17	---	308L / 309L
	1.4512	1.4512	X2CrTi12	4512	409	S40900	1.4512	409 S 19	Z 3 CT 12	---	308L / 430LNb
	1.4520	1.4520	X2CrTi17	4520	439	S43035	---	---	Z 3 CT 20	---	308L / 430LNb
	1.4521	1.4521	X2CrMoTi18-2	4521	444	S44400	1.4521	---	Z 3 CDT 18-02	2326	316L / SKR / P5
Martensite	**1.4005**	1.4005	X12CrS13	4005	416	S41600	---	416 S 21	Z 11 CF 13	2380	---
	1.4006	1.4006	X12Cr13	4006	410	S41000	1.4006	410 S 21	Z 10 C 13	2302	307 / 308L / 309L
	1.4021	1.4021	X20Cr13	4021	420	S42000	---	420 S 29	Z 20 C 13	2303	739 S
	1.4028	1.4028	X30Cr13	4028	420	S42000	---	420 S 45	Z 33 C 13	2304	739 S
	1.4034	1.4034	X46Cr13	---	---	---	1.4034	---	Z 44 C 14	---	---
	1.4057	1.4057	X17CrNi16-2	---	431	S43100	---	431 S 29	Z 15 CN 16-02	2321	---
	1.4104	1.4104	X14CrMoS17	---	430F	S43020	1.4104	---	Z 13 CF 17	2383	---
	1.4112	1.4112	X90CrMoV18	---	---	---	---	---	X 89 CrMoV 18-1	---	---
	1.4122	1.4122	X39CrMo17-1	4122	---	---	1.4122	---	Z 38 CD 16-01	---	---
	1.4313	1.4313	X3CrNiMo13-4	4313	---	S41500	1.4313	---	Z 6 CN 13-04	2384	248 SV
	1.4418	1.4418	X4CrNiMo16-5-1	248 SV	---	---	---	---	Z 6 CND 16-05-01	2387	248 SV
	1.4542	1.4542	X5CrNiCuNb16-4	17- 4 PH	630	S17400	1.4542	---	Z 7 CNU 15-05	---	---
Duplex	**1.4162**	1.4162	X2CrMnNiN21-5-1	LDX 2101®	---	S32101	---	---	---	---	LDX 2101® / 2205
	1.4362	1.4362	X2CrNiN23-4	DX 2304	---	S32304	---	---	Z 3 CN 23-04 Az	2327	2304 / 2205
	1.4410	1.4410	X2CrNiMoN25-7-4	SDX 2507	---	S32750	---	---	Z 3 CND 25-06 Az	2328	2507 / P100
	1.4460	1.4460	X3CrNiMoN27-5-2	---		S31200	1.4460	---	Z 5 CND 27-05 Az	2324	453S / 2205
	1.4462	1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	DX 2205	---	S32205*	1.4462	318 S 13	Z 3 CND 22-05 Az	2377	2205
	1.4501	1.4501	X2CrNiMoCuWN25-7-4	SDX 100	---	S32760	---	---	Z 3 CNDU 25-06 Az	---	2507 / P100
	1.4662	1.4662	X2CrNiMnMoCuN24-4-3-2	LDX 2404®	---	S82441	---	---	---	---	22 9 3 NL
Austénite	**1.4305**	1.4305	X8CrNiS18-9	4305	303	S30300	1.4305	303 S 31	Z 8 CNF 18-09	2346	308L / MVR
	1.4310	1.4310	X10CrNi18-8	4310	301	S30100	1.4310	301 S 21	Z 11 CN 17-08	2331	308L / MVR
	1.4318	1.4318	X2CrNiN18-7	4318	301LN	S30153	---	---	Z 3 CN 18-07 Az	---	308L / MVR
	1.4372	1.4372	X12CrMnNiN17-7-5	4372	201	S20100	---	---	Z 12 CMN 17-07 Az	---	307 / 309L
Standard Cr-Ni / V2A	**1.4301**	1.4301	X5CrNi18-10	4301	304	S30400	1.4301	304 S 31	Z 7 CN 18-09	2333	308L / MVR
	1.4303	1.4303	X4CrNi18-12	4303	305	S30500	1.4303	305 S 19	Z 5 CN 18-11 FF	---	308L / MVR
	1.4306	1.4306	X2CrNi19-11	4306	304L	S30403	1.4306	304 S 11	Z 3 CN 19-11	2352	308L / MVR
	1.4307	1.4307	X2CrNi18-9	4307	304L	S30403	1.4307	304 S 11	Z 3 CN 18-10	2352	308L / MVR
	1.4311	1.4311	X2CrNiN18-10	4311	304LN	S30453	1.4311	304 S 61	Z 3 CN 18-10 Az	2371	308L / MVR
	1.4315	1.4315	X5CrNiN19-9	4315	304N	S30451	1.4315	304 S 61	Z 6 CN 19-09 Az	2371	308L / MVR
	1.4541	1.4541	X6CrNiTi18-10	4541	321	S32100	1.4541	321 S 31	Z 6 CNT 18-10	2337	347 / MVNb
	1.4550	1.4550	X6CrNiNb18-10	4550	347	S34700	1.4550	347 S 31	Z 6 CNNb 18-10	2338	347 / MVNb
	1.4567	1.4567	X3CrNiCu18-9-4	4567	304Cu	S30430	1.4567	394 S 17	Z 3 CNU 18-10	---	308L / MVR
Standard Cr-Ni-Mo / V4A	**1.4401**	1.4401	X5CrNiMo17-12-2	4401	316	S31600	1.4401	316 S 31	Z 7 CND 17-11-02	2347	316L / SKR
	1.4404	1.4404	X2CrNiMo17-12-2	4404	316L	S31603	1.4404	316 S 11	Z 3 CND 17-11-02	2348	316L / SKR
	1.4406	1.4406	X2CrNiMoN17-11-2	4406	316LN	S31653	1.4406	316 S 61	Z 3 CND 17-11 Az	---	316L / SKR
	1.4408	1)	GX5CrNiMo19-11-2	---	CF-8M	J92900	---	316 C 16	---	---	316L / SKR
	1.4429	1.4429	X2CrNiMoN17-13-3	4429 / SKR-4	316LN	S31653	1.4429	316 S 63	Z 3 CND 17-12 Az	2375	316L / SKR
	1.4432	1.4432	X2CrNiMo17-12-3	4432	316L	S31603	1.4432	316 S 13	Z 3 CND 17-13-03	2353	316L / SKR
	1.4435	1.4435	X2CrNiMo18-14-3	4435 / 724L	316L	S31603	1.4435	316 S 13	Z 3 CND 18-14-03	2353	316L / SKR
	1.4435 BN2	1.4435	X2CrNiMo18-14-3	4435	316L	S31603	1.4435	316 S 13	Z 3 CND 18-14-03	2353	316L / SKR
	1.4436	1.4436	X3CrNiMo17-13-3	4436	316	S31600	1.4436	316 S 33	Z 6 CND 18-12-03	2343	316L / SKR
	1.4571	1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	4571	316Ti	S31635	1.4571	320 S 31	Z 6 CNDT 17-12	2350	318
hautem. alliées	**1.4434**	1.4434	X2CrNiMoN18-12-4	---	317LN	S31753	---	---	Z 3 CND 19-14 Az	---	317L / SNR
	1.4438	1.4438	X2CrNiMo18-15-4	4438	317L	S31703	1.4438	317 S 12	Z 3 CND 19-15-04	2367	317L / SNR
	1.4439	1.4439	X2CrNiMoN17-13-5	4439	317LMN	S31726	1.4439	---	Z 3 CND 18-14-05 Az	---	904L
	1.4466	1.4466	X1CrNiMoN25-22-2	725LN	310MoLN	S31050	1.4466	---	Z 2 CND 25-22 Az	---	254 SFER
	1.4539	1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	904L	904L	N08904	1.4539	904 S 13	Z 2 NCDU 25-20	2562	904L
Superausténite	**1.4529**	1.4529	X1NiCrMoCuN25-20-7	Ultra 6XN	---	N08926**	1.4529	---	---	---	P12
	1.4547	1.4547	X1CrNiMoCuN20-18-7	254 SMO	---	S31254	---	---	---	2378	P12, P16
	1.4562	1)	X1NiCrMoCu32-28-7	---	---	N08031	1.4562	---	---	---	1.4562
	1.4565	1.4565	X2CrNiMnMoN25-18-6-5	4565	---	S34565	1.4565	---	---	---	P16
	1.4652	1.4652	X1CrNiMoCuN24-22-8	654 SMO	---	S32654	---	---	---	---	P16
aciers réfractaires – Ferrite	**1.4713**	1.4713	X10CrAlSi7	4713	---	---	1.4713	---	---	---	307 / 309
	1.4724	1.4724	X10CrAlSi13	4724	---	---	1.4724	---	Z 13 C 13	---	309
	1.4742	1.4742	X10CrAlSi18	4742	---	---	1.4742	---	Z 12 CAS 18	---	309
	1.4762	1.4762	X10CrAlSi25	4762	446	S44600	1.4762	---	Z 12 CAS 25	2322	309 / 310
aciers réfractaires – Austénite	**1.4818**	1.4818	X6CrNiSiNCe19-10	153 MA	---	S30415	1.4891	---	---	2372	253MA
	1.4828	1.4828	X15CrNiSi20-12	4828	309	S30900	1.4828	309 S 24	Z 17 CNS 20-12	---	253MA
	1.4833	1.4833	X12CrNi23-13	4833	309S	S30908	1.4833	309 S 16	Z 15 CN 23-13	---	309
	1.4835	1.4835	X9CrNiSiNCe21-11-2	253 MA	---	S30815	1.4893	---	---	2368	253MA
	1.4841	1.4841	X15CrNiSi25-21	4841	314	S31400	1.4841	314 S 25	Z 15 CNS 25-20	---	1.4842
	1.4845	1.4845	X8CrNi25-21	4845	310S	S31008	1.4845	310 S 24	Z 8 CN 25-20	2361	310
	1.4854	1.4854	X6NiCrSiNCe35-25	353 MA	---	S35315	---	---	---	---	353MA
	1.4878	1.4878	X8CrNiTi18-10	4878	321H	S32109	1.4878	321 S 51	Z 6 CNT 18-10	2337	347 / MVNb
rés. au fluage – Austénite	**1.4941**	1.4941	X6CrNiTiB18-10	4941	---	---	1.4941	---	---	---	---
	1.4948	1.4948	X6CrNi18-10	4948	304H	S30409	1.4948	304 S 51	Z 6 CN 18-09	2333	308 / 308H
	1.4950	1.4950	X6CrNi23-13	4950	309H	S30909	---	---	---	---	309
	1.4951	1.4951	X6CrNi25-20	4951	310H	S31009	---	---	---	---	310
aciers spéciaux	**1.3805**	1), 2)	X35Mn18	3805	---	---	1.3805	---	---	---	307 / 1.3954
	1.3964	1), 3)	X2CrNiMnMoNNb21-16-5-3	3964	---	---	1.3964	---	---	---	P54 / 1.3954

L'analyse chimique des nuances d'acier selon les normes nationales peut différer partiellement des nuances d'acier selon les normes européennes. L'interchangeabilité des aciers comparés doit se juger de cas en cas.

* également disponible comme S31803
1) pas contenu dans EN 10088
2) acier non magnétisable sans Cr, sans Ni, non résistant à la corrosion
3) acier non magnétisable, résistant à l'eau de mer jusqu'à 40 °C

© KOHLER 2021

7.2 **Compositions chimiques** *(en % poids)*

matières		Outokumpu	C Max.	Si Max.	Mn Max.	P Max.	S Max.	Cr	Mo	Ni	N Max.	Cu	Ti / autres	PRE_{16} moyen
Ferrite	**1.4000**	4000	0.08	1.00	1.00	0.040	0.015*	12.0 - 14.0	---	---	---	---	---	13
	1.4003	4003	0.030	1.00	1.50	0.040	0.015*	10.5 - 12.5	---	0.30 - 1.00	0.030	---	---	12
	1.4016	4016	0.08	1.00	1.00	0.040	0.015*	16.0 - 18.0	---	---	---	---	---	17
	1.4509	4509	0.030	1.00	1.00	0.040	0.015	17.5 - 18.5	---	---	---	---	0.10 - 0.60 Nb: [3xC+0.30] à 1.00	18
	1.4510	4510	0.05	1.00	1.00	0.040	0.015*	16.0 - 18.0	---	---	---	---	[4x(C+N)+0.15] à 0.80	17
	1.4512	4512	0.030	1.00	1.00	0.040	0.015	10.5 - 12.5	---	---	---	---	6x(C+N) à 0.65	11
	1.4520	4520	0.025	0.50	0.50	0.040	0.015	16.0 - 18.0	---	---	0.015	---	[4x(C+N)+0.15] à 0.80	17
	1.4521	4521	0.025	1.00	1.00	0.040	0.015	17.0 - 20.0	1.80 - 2.50	---	0.030	---	[4x(C+N)+0.15] à 0.80	26
Martensite	**1.4005**	4005	0.06 - 0.15	1.00	1.50	0.040	0.15 - 0.35	12.0 - 14.0	# 0.60	---	---	---	---	13
	1.4006	4006	0.08 - 0.15	1.00	1.50	0.040	0.015*	11.5 - 13.5	---	# 0.75	---	---	---	13
	1.4021	4021	0.16 - 0.25	1.00	1.50	0.040	0.015*	12.0 - 14.0	---	---	---	---	---	13
	1.4028	4028	0.26 - 0.35	1.00	1.50	0.040	0.015*	12.0 -14.0	---	---	---	---	---	13
	1.4034	4034	0.43 - 0.50	1.00	1.00	0.040	0.015*	12.5 - 14.5	---	---	---	---	---	14
	1.4057	---	0.12 - 0.22	1.00	1.50	0.040	0.015*	15.0 - 17.0	---	1.50 - 2.50	---	---	---	16
	1.4104	---	0.10 - 0.17	1.00	1.50	0.040	0.15 - 0.35	15.5 - 17.5	0.20 - 0.60	---	---	---	---	17
	1.4112	---	0.85 - 0.95	1.00	1.00	0.040	0.015*	17.0 - 19.0	0.90 - 1.30	---	---	---	V: 0.07 - 0.12	21
	1.4122	---	0.33 - 0.45	1.00	1.50	0.040	0.015*	15.5 - 17.5	0.80 - 1.30	# 1.00	---	---	---	20
	1.4313	4313	0.05	0.70	1.50	0.040	0.015	12.0 - 14.0	0.30 - 0.70	3.5 - 4.5	$ 0.020	---	---	15
	1.4418	248 SV	0.06	0.70	1.50	0.040	0.015*	15.0 - 17.0	0.80 - 1.50	4.0 - 6.0	$ 0.020	---	---	19
	1.4542	17- 4 PH	0.07	0.70	1.50	0.040	0.015*	15.0 - 17.0	# 0.60	3.0 - 5.0	---	3.0 - 5.0	Nb: 5xC à 0.45	16
Duplex	**1.4162**	LDX 2101®	0.04	1.00	4.0 - 6.0	0.040	0.015	21.0 - 22.0	0.10 - 0.80	1.35 - 1.90	0.20 - 0.25	0.10 - 0.80	---	26
	1.4362	DX 2304	0.030	1.00	2.00	0.035	0.015	22.0 - 24.5	0.10 - 0.60	3.5 - 5.5	0.05 - 0.20	0.10 - 0.60	---	27
	1.4410	SDX 2507	0.030	1.00	2.00	0.035	0.015	24.0 - 26.0	3.0 - 4.5	6.0 - 8.0	0.24 - 0.35	---	---	42
	1.4460	---	0.05	1.00	2.00	0.035	0.015*	25.0 - 28.0	1.30 - 2.00	4.5 - 6.5	0.05 - 0.20	---	---	34
	1.4462	DX 2205	0.030	1.00	2.00	0.035	0.015	21.0 - 23.0	2.50 - 3.5	4.5 - 6.5	0.10 - 0.22	---	---	34
	1.4501	SDX 100	0.030	1.00	1.00	0.035	0.015	24.0 - 26.0	3.0 - 4.0	6.0 - 8.0	0.20 - 0.30	0.50 - 1.00	W: 0.50 - 1.00	41
	1.4662	LDX 2404®	0.030	0.70	2.5 - 4.0	0.035	0.005	23.0 - 25.0	1.00 - 2.00	3.0 - 4.5	0.20 - 0.30	0.10 - 0.80	---	34
Austénite	**1.4305**	4305	0.10	1.00	2.00	0.045	0.15 - 0.35	17.0 - 19.0	---	8.0 - 10.0	0.10	# 1.00	---	18
	1.4310	4310	0.05 - 0.15	2.00	2.00	0.045	0.015	16.0 - 19.0	# 0.80	6.0 - 9.5	0.10	---	---	18
	1.4318	4318	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015	16.5 - 18.5	---	6.0 - 8.0	0.10 - 0.20	---	---	20
	1.4372	4372	0.15	1.00	5.5 - 7.5	0.045	0.015	16.0 - 18.0	---	3.5 - 5.5	0.05 - 0.25	---	---	19
Standard Cr-Ni / V2A	**1.4301**	4301	0.07	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.5 - 19.5	---	8.0 - 10.5	0.10	---	---	19
	1.4303	4303	0.06	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.0 - 19.0	---	11.0 - 13.0	0.10	---	---	19
	1.4306	4306	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	18.0 - 20.0	---	10.0 - 12.0	0.10	---	---	20
	1.4307	4307	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.5 - 19.5	---	8.0 - 10.5	0.10	---	---	19
	1.4311	4311	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.5 - 19.5	---	8.5 - 11.5	0.12 - 0.22	---	---	21
	1.4315	4315	0.06	1.00	2.00	0.045	0.015	18.0 - 20.0	---	8.0 - 11.0	0.12 - 0.22	---	---	22
	1.4541	4541	0.08	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.0 - 19.0	---	9.0 -12.0	---	---	5xC à 0.70	18
	1.4550	4550	0.08	1.00	2.00	0.045	0.015	17.0 - 19.0	---	9.0 - 12.0	---	---	Nb: 10xC à 1.00	18
	1.4567	4567	0.04	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.0 - 19.0	---	8.5 - 10.5	0.10	3.0 - 4.0	---	19
Standard Cr-Ni-Mo / V4A	**1.4401**	4401	0.07	1.00	2.00	0.045	0.015*	16.5 - 18.5	2.00 - 2.50	10.0 - 13.0	0.10	---	---	26
	1.4404	4404	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	16.5 - 18.5	2.00 - 2.50	10.0 - 13.0	0.10	---	---	26
	1.4406	4406	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	16.5 - 18.5	2.00 - 2.50	10.0 - 12.5	0.12 - 0.22	---	---	28
	1.4408	---	0.07	1.50	1.50	0.040	0.030	18.0 - 20.0	2.00 - 2.50	9.0 - 12.0	---	---	---	26
	1.4429	4429 / SKR-4	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015	16.5 - 18.5	2.50 - 3.00	10.5 - 14.0	0.12 - 0.22	---	---	29
	1.4432	4432	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	16.5 - 18.5	2.50 - 3.00	10.5 - 13.0	0.10	---	---	27
	1.4435	4435 / 724L	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.0 - 19.0	2.50 - 3.00	12.5 - 15.0	0.10	---	---	27
	1.4435 BN2	4435	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.0 - 19.0	2.5 - 3.0	12.5 - 15.0	0.10	---	# 0.05	27
	1.4436	4436	0.05	1.00	2.00	0.045	0.015*	16.5 - 18.5	2.50 - 3.00	10.5 - 13.0	0.10	---	-	27
	1.4571	4571	0.08	1.00	2.00	0.045	0.015*	16.5 - 18.5	2.00 - 2.50	10.5 - 13.5	---	---	5xC à 0.70	25
hochlegiert	**1.4434**	---	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015	16.5 - 19.5	3.0 - 4.0	10.5 - 14.0	0.10 - 0.20	---	---	32
	1.4438	4438	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.5 - 19.5	3.0 - 4.0	13.0 - 16.0	0.10	---	---	32
	1.4439	4439	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015	16.5 - 18.5	4.0 - 5.0	12.5 - 14.5	0.12 - 0.22	---	---	35
	1.4466	725LN	0.020	0.70	2.00	0.025	0.010	24.0 - 26.0	2.00 - 2.50	21.0 - 23.0	0.10 - 0.16	---	---	34
	1.4539	904L	0.020	0.70	2.00	0.030	0.010	19.0 - 21.0	4.0 - 5.0	24.0 - 26.0	0.15	1.20 - 2.00	---	37
Superausténite	**1.4529**	Ultra 6XN	0.020	0.50	1.00	0.030	0.010	19.0 - 21.0	6.0 - 7.0	24.0 - 26.0	0.15 - 0.25	0.50 - 1.50	---	45
	1.4547	254 SMO	0.020	0.70	1.00	0.030	0.010	19.5 - 20.5	6.0 - 7.0	17.5 - 18.5	0.18 - 0.25	0.50 - 1.00	---	45
	1.4562	---	0.015	0.30	2.00	0.020	0.010	26.0 - 28.0	6.0 - 7.0	30.0 - 32.0	0.15 - 0.25	1.00 - 1.40	---	52
	1.4565	4565	0.030	1.00	5.0 - 7.0	0.030	0.015	24.0 - 26.0	4.0 - 5.0	16.0 - 19.0	0.30 - 0.60	---	Nb: # 0.15	47
	1.4652	654 SMO	0.020	0.50	2.00 - 4.0	0.030	0.005	23.0 - 25.0	7.0 - 8.0	21.0 - 23.0	0.45 - 0.55	0.30 - 0.60	---	57
aciers réfractaires, Ferrite	**1.4713**	4713	0.12	0.50 - 1.00	1.00	0.040	0.015	6.0 - 8.0	---	---	---	---	Al: 0.50 - 1.00	1)
	1.4724	4724	0.12	0.70 - 1.40	1.00	0.040	0.015	12.0 - 14.0	---	---	---	---	Al: 0.70 - 1.20	1)
	1.4742	4742	0.12	0.70 - 1.40	1.00	0.040	0.015	17.0 - 19.0	---	---	---	---	Al: 0.70 - 1.20	1)
	1.4762	4762	0.12	0.70 - 1.40	1.00	0.040	0.015	23.0 - 26.0	---	---	---	---	Al: 1.20 - 1.70	1)
aciers réfractaires, Austénite	**1.4818**	153 MA	0.04 - 0.08	1.00 - 2.00	1.00	0.045	0.015	18.0 - 20.0	---	9.0 - 11.0	0.12 - 0.20	---	Ce: 0.03 - 0.08	1)
	1.4828	4828	0.20	1.50 - 2.50	2.00	0.045	0.015	19.0 - 21.0	---	11.0 - 13.0	0.10	---	---	1)
	1.4833	4833	0.15	1.00	2.00	0.045	0.015	22.0 - 24.0	---	12.0 - 14.0	0.10	---	---	1)
	1.4835	253 MA	0.05 - 0.12	1.40 - 2.50	1.00	0.045	0.015	20.0 - 22.0	---	10.0 - 12.0	0.12 - 0.20	---	Ce: 0.03 - 0.08	1)
	1.4841	4841	0.20	1.50 - 2.50	2.00	0.045	0.015	24.0 - 26.0	---	19.0 - 22.0	0.10	---	---	1)
	1.4845	4845	0.10	1.50	2.00	0.045	0.015	24.0 - 26.0	---	19.0 - 22.0	0.10	---	---	1)
	1.4854	353 MA	0.04 - 0.08	1.20 - 2.00	2.00	0.040	0.015	24.0 - 26.0	---	34.0 - 36.0	0.12 - 0.20	---	Ce: 0.03 - 0.08	1)
	1.4878	4878	0.10	1.00	2.00	0.045	0.015	17.0 - 19.0	---	9.0 - 12.0	---	---	5xC à 0.80	1)
rés. au fluage, Austénite	**1.4941**	4941	0.04 - 0.08	1.00	2.00	0.035	0.015	17.0 - 19.0	---	9.0 - 12.0	---	---	5xC à 0.80 B: 0.0015 - 0.0050	1)
	1.4948	4948	0.04 - 0.08	1.00	2.00	0.035	0.015	17.0 - 19.0	---	8.0 - 11.0	0.10	---	---	1)
	1.4950	4950	0.04 - 0.08	0.70	2.00	0.035	0.015	22.0 - 24.0	---	12.0 - 15.0	0.10	---	---	1)
	1.4951	4951	0.04 - 0.08	0.70	2.00	0.035	0.015	24.0 - 26.0	---	19.0 - 22.0	0.10	---	---	1)
aciers spéciaux	**1.3805**	3805	0.30 - 0.40	1.00	17.0 - 19.0	0.060	0.030	---	---	# 1.00	0.10	---	---	1)
	1.3964	3964	0.030	1.00	4.0 - 6.0	0.025	0.010	20.0 - 21.5	3.0 - 3.5	15.0 - 17.0	0.20 - 0.35	---	Nb: # 0.25	36

* pour tous les produits destinés à être usinés, une teneur en soufre contrôlée comprise entre 0.015 - 0.030 % est recommandée et autorisée
1) acier ne convenant pas pour la corrosion humide

© KOHLER 2021

HANS KOHLER SA, Claridenstrasse 20, case postale, CH-8022 Zurich, téléphone 044 207 11 11, fax 044 207 11 10

7.3 Valeurs mécaniques à 20ºC

(valeurs indicatives pour des matériaux recuits à 20 °C; épaisseur ou diamètre < 160 mm, longitudinal)

1 MPa = 1 N/mm²

matière		résistance à la traction			allonge-ment de rupture	rési-lience (ISO-V)	dureté	tôle laminée à chaud				bande laminée à froid		
		$R_{p0.2}$	$R_{p1.0}$	R_m	A_5	KV	recuit	$R_{p0.2}$	$R_{p1.0}$	R_m	KV (tr.)	$R_{p0.2}$	$R_{p1.0}$	R_m
		MPa min.	MPa min.	MPa	% min.	J min.	HB max.	MPa min.	MPa min.	MPa	J min.	MPa min.	MPa min.	MPa
Ferrite	1.4000	220	---	400 - 630	19	---	200	220	---	400 - 600	---	240	---	400 - 600
	1.4003	250	---	450 - 650	18	---	200	250	---	450 - 650	---	280	---	450 - 650
	1.4016	240	---	400 - 630	18	---	200	240	---	430 - 630	---	260	---	450 - 600
	1.4509	200	---	420 - 620	18	---	200	---	---	---	---	230	---	430 - 630
	1.4510	230	---	420 - 600	23	---	---	230	---	420 - 600	---	230	---	420 - 600
	1.4512	210	---	380 - 560	25	---	---	210	---	380 - 560	---	210	---	380 - 560
	1.4520	200	---	420 - 620	20	---	200	---	---	---	---	180	---	380 - 530
	1.4521	280	---	400 - 640	20	---	200	280	---	420 - 620	---	300	---	420 - 640
Martensite	1.4005	1)	1)	max. 730	1)	1)	220	---	---	---	---	---	---	---
	1.4006	1)	1)	max. 730	1)	1)	220	1)	---	1)	1)	---	---	max. 600
	1.4021	1)	1)	max. 760	1)	1)	230	1)	---	1)	1)	---	---	max. 700
	1.4028	1)	1)	max. 800	1)	1)	245	1)	---	1)	1)	---	---	max. 740
	1.4034	1)	1)	max. 800	1)	1)	245	1)	---	1)	1)	---	---	max. 780
	1.4057	1)	1)	max. 950	1)	1)	295	---	---	---	---	---	---	---
	1.4104	1)	1)	max. 730	1)	1)	220	---	---	---	---	---	---	---
	1.4112	1)	1)	1)	1)	1)	265	---	---	---	---	---	---	---
	1.4122	1)	1)	max. 900	1)	1)	280	1)	---	1)	1)	---	---	max. 900
	1.4313	1)	1)	max. 1100	1)	1)	320	1)	---	1)	1)	1)	---	1)
	1.4418	1)	1)	max. 1100	1)	1)	320	1)	---	1)	1)	1)	---	1)
	1.4542	1)	1)	max. 1200	1)	1)	360	1)	---	1)	1)	1)	---	1)
Duplex	1.4162	450	490	650 - 900	30	60	290	450	490	650 - 850	60	530	570	700 - 900
	1.4362	400	---	600 - 830	25	100	260	400	---	630 - 800	60	450	---	650 - 850
	1.4410	530	---	730 - 930	25	100	290	530	---	730 - 930	60	550	---	750 - 1000
	1.4460	450	---	620 - 880	20	85	260	---	---	---	---	---	---	---
	1.4462	450	---	650 - 880	25	100	270	460	---	640 - 840	60	500	---	700 - 950
	1.4501	530	---	730 - 930	25	100	290	530	---	730 - 930	60	---	---	---
	1.4662	480	---	680 - 900	25	---	290	480	---	680 - 900	---	550	---	750 - 900
Austénite	1.4305	190	225	500 - 750	35	---	230	190	230	500 - 700	---	---	---	---
	1.4310	195	230	500 - 750	40	---	230	---	---	---	---	250	280	600 - 950
	1.4318	330	370	650 - 850	35	90	---	330	370	630 - 830	60	350	380	650 - 850
	1.4372	330	370	680 - 880	40	100	260	330	370	680 - 880	60	350	380	680 - 880
Austénite – Standard Cr-Ni / V2A	1.4301	190	225	500 - 700	45	100	215	210	250	520 - 720	60	230	260	540 - 750
	1.4303	190	225	500 - 700	45	100	215	---	---	---	---	220	250	500 - 650
	1.4306	180	215	460 - 680	45	100	215	200	240	500 - 700	60	220	250	520 - 700
	1.4307	175	210	500 - 700	45	100	215	200	240	500 - 700	60	220	250	520 - 700
	1.4311	270	305	550 - 760	40	100	230	270	310	550 - 750	60	290	320	550 - 750
	1.4315	270	310	550 - 750	40	100	215	270	310	500 - 750	60	290	320	500 - 750
	1.4541	190	225	500 - 700	40	100	215	200	240	500 - 700	60	220	250	520 - 720
	1.4550	205	240	510 - 740	40	100	230	200	240	500 - 700	60	220	250	520 - 720
	1.4567	175	210	450 - 650	45	---	215	---	---	---	---	---	---	---
Austénite – Standard Cr-Ni-Mo / V4A	1.4401	200	235	500 - 700	40	100	215	220	260	520 - 670	60	240	270	530 - 680
	1.4404	200	235	500 - 700	40	100	215	220	260	520 - 670	60	240	270	530 - 680
	1.4406	280	315	580 - 800	40	100	250	280	320	580 - 780	60	300	330	580 - 780
	1.4408	185	210	440 - 640	30	60	130 - 200	---	---	---	---	---	---	---
	1.4429	280	315	580 - 800	40	100	250	280	320	580 - 780	60	300	330	580 - 780
	1.4432	200	235	500 - 700	40	100	215	220	260	520 - 670	60	240	270	550 - 700
	1.4435	200	235	500 - 700	40	100	215	220	260	520 - 670	60	240	270	550 - 700
	1.4435 BN2	200	235	500 - 700	35	85	---	220	260	520 - 700	55	240	270	550 - 700
	1.4436	200	235	500 - 700	40	100	215	220	260	530 - 730	60	240	270	550 - 700
	1.4571	200	235	500 - 700	40	100	215	220	260	520 - 670	60	240	270	540 - 690
Austénite – hautem. alliées	1.4434	270	310	540 - 740	40	100	---	270	310	540 - 740	60	290	320	570 - 770
	1.4438	200	235	500 - 700	40	100	215	220	260	520 - 720	60	240	270	550 - 700
	1.4439	280	315	580 - 800	35	100	250	270	310	580 - 780	60	290	320	580 - 780
	1.4466	250	290	540 - 740	35	100	240	250	290	540 - 740	60	---	---	---
	1.4539	230	260	530 - 730	35	100	230	220	260	520 - 720	60	240	270	530 - 730
Super-austénite	1.4529	300	340	650 - 850	40	100	250	300	340	650 - 850	60	---	---	---
	1.4547	300	340	650 - 850	35	100	260	300	340	650 - 850	60	320	350	650 - 850
	1.4562	280	310	650 - 850	40	120	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4565	420	460	800 - 950	35	100	---	420	460	800 - 950	90	420	460	800 - 950
	1.4652	430	470	750 - 1000	40	100	310	430	470	750 - 1000	60	430	470	750 - 1000
aciers réfractaires – Ferrite	1.4713	220	---	420 - 620	20	---	192	---	---	---	---	---	---	---
	1.4724	250	---	450 - 650	15	---	192	---	---	---	---	---	---	---
	1.4742	270	---	500 - 700	15	---	212	---	---	---	---	---	---	---
	1.4762	280	---	520 - 720	10	---	223	---	---	---	---	---	---	---
aciers réfractaires – Austénite	1.4818	290	330	600 - 800	40	---	210	---	---	---	---	---	---	---
	1.4828	230	270	550 - 750	30	---	223	---	---	---	---	---	---	---
	1.4833	210	250	500 - 700	35	---	192	---	---	---	---	---	---	---
	1.4835	310	350	650 - 850	40	---	210	---	---	---	---	---	---	---
	1.4841	230	270	550 - 750	30	---	223	---	---	---	---	---	---	---
	1.4845	210	250	500 - 700	35	---	192	---	---	---	---	---	---	---
	1.4854	300	340	650 - 850	40	---	210	---	---	---	---	---	---	---
	1.4878	190	230	500 - 720	40	---	215	---	---	---	---	---	---	---
rés. au fluage – Austénite	1.4941	175	210	490 - 690	40	100	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4948	195	230	490 - 690	45	100	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4950	200	240	510 - 710	35	100	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4951	200	240	510 - 710	35	100	---	---	---	---	---	---	---	---
aciers spéciaux	1.3805	240	---	650 - 900	22	55	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.3964	365	---	700 - 950	35	85	---	---	---	---	---	---	---	---

--- valeurs non disponibles

1) à l'état traité (trempé et revenu), les valeurs sont dépendants du traitement thermique, voir EN 10088 parties 2 & 3

© KOHLER 2021

7.4 Valeurs mécaniques à température élevée

(valeurs indicatives pour des matériaux recuits)

1 MPa = 1 N/mm²

matières		limite d'élasticité minimale $R_{p0.2}$ MPa													limite d'élasticité minimale $R_{p1.0}$ MPa													résistance à la traction minimale R_m MPa												
	°C	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
Ferrite	1.4000	220	215	210	205	200	195	190	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4003	240	235	230	220	215	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4016	220	215	210	205	200	195	190	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4509	230	220	210	205	200	180	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4510	195	190	185	175	165	155	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4512	200	195	190	185	180	160	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4520	195	180	170	160	155	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4521	250	240	230	220	210	205	200	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Martensite	1.4005	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4006	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4021	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4028	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4034	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4057	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4104	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4112	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4122	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4313	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4418	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4542	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
Duplex	1.4162	365	325	295	275	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	400	360	335	320	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	590	560	540	540	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)
	1.4362	330	300	280	265	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	---	---	---	---	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	540	520	500	490	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)
	1.4410	450	420	400	380	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	---	---	---	---	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	680	660	640	630	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)
	1.4460	360	335	310	295	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	---	---	---	---	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	---	---	---	---	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)
	1.4462	360	335	315	300	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	---	---	---	---	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	590	570	570	540	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)
	1.4501	450	420	400	380	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	---	---	---	---	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	680	660	660	630	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)
	1.4662	385	345	325	315	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	---	---	---	---	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	615	590	575	---	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)
Austénite	1.4305	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4310	210	200	190	185	180	180	---	---	---	---	---	---	---	230	215	205	200	195	195	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4318	265	200	185	180	170	165	---	---	---	---	---	---	---	300	235	215	210	200	195	---	---	---	---	---	---	---	530	490	460	450	40	430	---	---	---	---	---	---	---
	1.4372	295	260	230	220	205	185	---	---	---	---	---	---	---	325	295	265	250	230	205	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Standard Cr-Ni / V2A	1.4301	157	142	127	118	110	104	98	95	92	90	---	---	---	191	172	157	145	135	129	125	122	120	120	---	---	---	450	420	400	390	380	380	380	370	360	330	---	---	---
	1.4303	155	142	127	118	110	104	98	95	92	90	---	---	---	188	172	157	145	135	129	125	122	120	120	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4306	147	132	118	108	100	94	89	85	81	80	---	---	---	181	162	147	137	127	121	116	112	109	108	---	---	---	410	380	360	350	340	340	---	---	---	---	---	---	---
	1.4307	147	132	118	108	100	94	89	85	81	80	---	---	---	181	162	147	137	127	121	116	112	109	108	---	---	---	410	380	360	350	340	340	---	---	---	---	---	---	---
	1.4311	205	175	157	145	136	130	125	121	119	118	---	---	---	240	210	187	175	167	161	156	152	149	147	---	---	---	490	460	430	420	410	410	---	---	---	---	---	---	---
	1.4315	205	175	157	145	136	130	125	121	119	118	---	---	---	240	210	187	175	167	161	156	152	149	147	---	---	---	490	460	430	420	410	410	---	---	---	---	---	---	---
	1.4541	176	167	157	147	136	130	125	121	119	118	---	---	---	208	196	186	177	167	161	156	152	149	147	---	---	---	440	410	390	385	375	375	375	370	360	330	---	---	---
	1.4550	177	167	157	147	136	130	125	121	119	118	---	---	---	211	196	186	177	167	161	156	152	149	147	---	---	---	435	400	370	350	340	335	330	320	310	300	---	---	---
	1.4567	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Standard Cr-Ni-Mo / V4A	1.4401	177	162	147	137	127	120	115	112	110	108	---	---	---	211	191	177	167	156	150	144	141	139	137	---	---	---	430	410	390	385	380	380	---	---	---	---	---	---	---
	1.4404	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98	---	---	---	199	181	167	157	145	139	135	130	128	127	---	---	---	430	410	390	385	380	380	380	---	360	---	---	---	---
	1.4406	211	185	167	155	145	140	135	131	128	127	---	---	---	246	218	198	83	175	169	164	160	158	157	---	---	---	520	490	460	450	440	435	---	---	---	---	---	---	---
	1.4408	150	---	120	---	100	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4429	211	185	167	155	145	140	135	131	129	127	---	---	---	246	218	198	183	175	169	164	160	158	157	---	---	---	520	490	460	450	440	435	435	---	430	---	---	---	---
	1.4432	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98	---	---	---	199	181	167	157	145	139	135	130	128	127	---	---	---	430	410	390	385	380	380	380	---	360	---	---	---	---
	1.4435	165	150	137	127	119	113	108	103	100	98	---	---	---	200	180	165	153	145	139	135	130	128	127	---	---	---	420	400	380	375	370	370	---	---	---	---	---	---	---
	1.4435 BN2	165	150	137	127	119	113	108	103	100	98	---	---	---	200	180	165	153	145	139	135	130	128	127	---	---	---	420	400	380	375	370	370	---	---	---	---	---	---	---
	1.4436	177	162	147	137	127	120	115	112	110	108	---	---	---	211	191	177	167	156	150	144	141	139	137	---	---	---	460	440	420	415	410	410	410	---	390	---	---	---	---
	1.4571	185	177	167	157	145	140	135	131	129	127	---	---	---	218	206	196	186	175	169	164	160	158	157	---	---	---	440	410	390	385	375	375	375	370	360	330	---	---	---
hautement alliées	1.4434	211	185	167	155	145	140	135	131	129	127	---	---	---	---	218	198	183	175	169	164	160	158	157	---	---	---	500	470	440	430	420	415	415	415	410	390	---	---	---
	1.4438	172	157	147	137	127	120	115	112	110	108	---	---	---	206	188	177	167	156	148	144	140	138	136	---	---	---	430	410	390	385	380	380	---	---	---	---	---	---	---
	1.4439	225	200	185	175	165	155	150	---	---	---	---	---	---	255	230	210	200	190	180	175	---	---	---	---	---	---	520	490	460	450	440	435	---	---	---	---	---	---	---
	1.4466	195	170	160	150	140	135	---	---	---	---	---	---	---	225	205	190	180	170	165	---	---	---	---	---	---	---	490	475	460	450	440	435	---	---	---	---	---	---	---
	1.4539	205	190	175	160	145	135	125	115	110	105	---	---	---	235	220	205	190	175	165	155	145	140	135	---	---	---	500	480	460	450	440	435	---	---	---	---	---	---	---
Superausténite	1.4529	230	210	190	180	170	165	160	---	---	---	---	---	---	270	245	225	215	205	195	190	---	---	---	---	---	---	550	535	520	500	480	475	---	---	---	---	---	---	---
	1.4547	230	205	190	180	170	165	160	153	148	---	---	---	---	270	245	225	212	200	195	190	184	180	---	---	---	---	615	587	560	542	525	517	510	502	495	---	---	---	---
	1.4562	210	195	180	172	165	158	150	142	135	125	---	---	---	240	225	210	202	195	188	400	172	165	155	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4565	350	310	270	255	240	225	210	210	210	200	---	---	---	400	355	310	290	270	255	240	240	240	230	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4652	350	320	315	310	300	295	295	285	280	275	---	---	---	390	370	355	345	335	330	330	320	310	305	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
aciers réfractaires Ferrite	1.4713	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4724	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4742	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4762	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Austénite	1.4818	200	---	165	---	150	---	140	---	130	---	120	---	110	235	---	195	---	180	---	170	---	160	---	150	---	135	525	---	485	---	475	---	470	---	435	---	385	---	300
	1.4828	140	128	116	108	100	94	91	86	85	84	82	---	---	185	167	154	146	139	132	126	123	121	118	114	---	---	470	450	430	420	410	405	400	385	370	350	320	---	---
	1.4833	140	128	116	108	100	94	91	86	85	84	82	---	---	185	167	154	146	139	132	126	123	121	118	114	---	---	470	450	430	420	410	405	400	385	370	350	320	---	---
	1.4835	230	---	185	---	170	---	160	---	150	---	140	---	130	265	---	215	---	200	---	190	---	180	---	170	---	155	585	---	545	---	535	---	530	---	495	---	435	---	360
	1.4841	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4845	140	128	116	108	100	94	91	86	85	84	82	---	---	185	167	154	146	139	132	126	123	121	118	114	---	---	470	450	430	420	410	405	400	385	370	350	320	---	---
	1.4854	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4878	162	152	142	137	132	127	123	118	113	108	103	---	---	201	191	181	176	172	167	162	157	152	147	142	---	---	410	390	370	360	350	345	340	335	330	320	300	---	---
rés. au fluage Austénite	1.4941	162	152	142	137	132	127	123	118	113	108	103	---	---	201	191	181	176	172	167	162	157	152	147	142	---	---	410	390	370	360	350	345	340	335	330	320	300	---	---
	1.4948	157	142	127	117	18	103	98	93	88	83	78	---	---	191	172	157	147	137	132	127	122	118	113	108	---	---	440	410	390	385	375	375	375	370	360	330	300	---	---
	1.4950	140	128	116	108	100	94	91	86	85	84	82	---	---	185	167	154	146	139	132	126	123	121	118	114	---	---	470	450	430	420	410	405	400	385	370	350	320	---	---
	1.4951	140	128	116	108	100	94	91	86	85	84	82	---	---	185	167	154	146	139	132	126	123	121	118	114	---	---	470	450	430	420	410	405	400	385	370	350	320	---	---
aciers spéciaux	1.3805	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.3964	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

--- valeurs non disponibles

1) à l'état traité (trempé et revenu), les valeurs sont dépendantes du traitement thermique, voir EN 10088 parties 2 & 3

2) température max. d'utilisation permanente 250 °C selon Directive européenne pour équipements sous pression (DESP)

Caractéristiques aux basses températures et caractéristiques au fluage sur demande.

© KOHLER 2021

7.5 Caractéristiques physiques

1 GPa = 1 kN/mm²

matières		densité	module d'élasticité à GPa											coefficient moyen de dilatation linéique entre 20 °C et x 10-6 / °C										conductivité thermique W/m °C			* J/kg °C	résistivité électrique V mm²/m	magné-tisable
	°C	kg/dm³ 20	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	200	400	1000	20	20	(recuit)
Ferrite	1.4000	7.7	220	215	210	205	195	---	---	---	---	---	---	10.5	11.0	11.5	12.0	12.0	---	---	---	---	---	30	---	---	460	0.60	oui
	1.4003	7.7	220	215	210	205	195	---	---	---	---	---	---	10.4	10.8	11.2	11.6	11.9	---	---	---	---	---	25	---	---	430	0.60	oui
	1.4016	7.7	220	215	210	205	195	---	---	---	---	---	---	10.0	10.0	10.5	10.5	11.0	---	---	---	---	---	25	25	---	460	0.60	oui
	1.4509	7.7	220	215	210	205	195	---	---	---	---	---	---	10.0	10.0	10.5	10.5	---	---	---	---	---	---	25	---	---	460	0.60	oui
	1.4510	7.7	220	215	210	205	195	---	---	---	---	---	---	10.0	10.0	10.5	10.5	11.0	---	---	---	---	---	25	---	---	460	0.60	oui
	1.4512	7.7	220	215	210	205	195	---	---	---	---	---	---	10.5	11.0	11.5	12.0	12.0	---	---	---	---	---	25	---	---	460	0.60	oui
	1.4520	7.7	220	215	210	205	195	---	---	---	---	---	---	10.4	10.8	11.2	11.6	11.9	---	---	---	---	---	20	---	---	430	0.70	oui
	1.4521	7.7	220	215	210	205	195	---	---	---	---	---	---	10.4	10.8	11.2	11.6	11.9	---	---	---	---	---						oui
Martensite	1.4005	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.5	11.0	11.5	12.0	---	---	---	---	---	---	30	---	---	460	0.60	oui
	1.4006	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.5	11.0	11.5	12.0	---	---	---	---	---	---	30	---	---	460	0.60	oui
	1.4021	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.5	11.0	11.5	12.0	---	---	---	---	---	---	30	25	---	460	0.60	oui
	1.4028	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.5	11.0	11.5	12.0	---	---	---	---	---	---	30	25	---	460	0.65	oui
	1.4034	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.5	11.0	11.5	12.0	---	---	---	---	---	---	30	---	---	460	0.55	oui
	1.4057	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.0	10.5	10.5	10.5	---	---	---	---	---	---	25	---	---	460	0.70	oui
	1.4104	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.0	10.5	10.5	10.5	---	---	---	---	---	---	25	---	---	460	0.70	oui
	1.4112	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.4	10.8	11.2	11.6	---	---	---	---	---	---	15	---	---	430	0.80	oui
	1.4122	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.4	10.8	11.2	11.6	---	---	---	---	---	---	15	---	---	430	0.80	oui
	1.4313	7.7	200	195	185	175	170	---	---	---	---	---	---	10.5	10.9	11.3	11.6	---	---	---	---	---	---	25	---	---	430	0.60	oui
	1.4418	7.7	200	195	185	175	170	---	---	---	---	---	---	10.3	10.8	11.2	11.6	---	---	---	---	---	---	15	---	---	430	0.80	oui
	1.4542	7.8	200	195	185	175	170	---	---	---	---	---	---	10.9	---	11.1	---	---	---	---	---	---	---	16	---	---	500	0.71	oui
Duplex	1.4162	7.8	205	200	190	180	172	---	---	---	---	---	---	13.0	13.5	14.0	14.5	---	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	oui
	1.4362	7.8	200	194	186	180	172	---	---	---	---	---	---	13.0	13.5	14.0	14.5	---	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.80	oui
	1.4410	7.8	200	194	186	180	172	---	---	---	---	---	---	13.0	13.5	14.0	14.5	---	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.80	oui
	1.4460	7.8	200	194	186	180	172	---	---	---	---	---	---	13.0	13.5	14.0	14.5	---	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.80	oui
	1.4462	7.8	200	194	186	180	172	---	---	---	---	---	---	13.0	13.5	14.0	14.5	---	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.80	oui
	1.4501	7.8	200	194	186	180	172	---	---	---	---	---	---	13.0	13.5	14.0	14.5	---	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.80	oui
	1.4662	7.7	205	200	190	180	---	---	---	---	---	---	---	13.0	13.5	14.0	---	---	---	---	---	---	---	15	---	---	500	0.80	oui
Austénite	1.4305	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	non 1)
	1.4310	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	17.0	17.0	18.0	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	non 1)
	1.4318	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	non 1)
	1.4372	7.8	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	---	---	17.5	---	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.70	non 1)
Standard Cr-Ni / V2A	1.4301	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	non 1)
	1.4303	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	non 1) 2)
	1.4306	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	non 1)
	1.4307	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	non 1)
	1.4311	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	non 1) 2)
	1.4315	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	---	---	500	0.73	non 1)
	1.4541	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	non 1)
	1.4550	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	---	---	500	0.73	non 1)
	1.4567	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.7	17.2	17.7	18.1	18.4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	non 1)
Standard Cr-Ni-Mo / V4A	1.4401	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	non 1)
	1.4404	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	non 1)
	1.4406	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	non 1) 2)
	1.4408	7.9	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	15.8	---	17	---	17.7	---	---	---	---	---	15	---	---	530	---	non 1)
	1.4429	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	14	20	---	500	0.85	non 1)
	1.4432	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	non 1)
	1.4435	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	non 1)
	1.4435 BN2	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	non 1)
	1.4436	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	non 1)
	1.4571	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.5	17.5	18.0	18.5	19.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	non 1)
hautement alliées	1.4434	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---		16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	---	---	500	0.75	non 1)
	1.4438	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	14	20	---	500	0.85	non 1)
	1.4439	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	14	20	---	500	0.85	non 1)
	1.4466	8.0	195	190	182	174	166	158	---	---	---	---	---	15.7	---	17.0	---	---	---	---	---	---	---	14	17	---	500	0.80	non 1)
	1.4539	8.0	195	190	182	174	166	158	---	---	---	---	---	15.8	16.1	16.5	16.9	17.3	---	---	---	---	---	12	18	---	450	1.00	non 1)
Superausténite	1.4529	8.1	195	190	182	174	166	158	---	---	---	---	---	15.8	16.1	16.5	16.9	17.3	---	---	---	---	---	12	18	---	450	1.00	non 1)
	1.4547	8.0	195	190	182	174	166	158	---	---	---	---	---	16.5	17	17.5	18	18	---	---	---	---	---	14	18	---	500	0.85	non 1)
	1.4562	8.0	198	189	183	176	170	163	---	---	---	---	---	14.3	14.7	15.1	15.5	15.7	---	---	---	---	---	11.7	---	---	450	1.03	non 1)
	1.4565	8.0	190	186	177	170	165	158	---	---	---	---	---	14.5	15.5	16.3	16.8	17.2	---	---	---	---	---	12	18	---	450	0.92	non 1)
	1.4652	8.0	190	184	177	170	164	158	---	---	---	---	---	15.0	15.4	15.8	16.2	16.4	---	---	---	---	---	8.6	14.5	---	500	0.78	non 1)
aciers réfractaires, Ferrite	1.4713	7.7	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	11.5	---	12.0	---	12.5	---	13.0	---	---	23	---	---	450	0.70	oui
	1.4724	7.7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	10.5	---	11.5	---	12.0	---	12.5	---	---	21	---	---	500	0.75	oui
	1.4742	7.7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	10.5	---	11.5	---	12.0	---	12.5	---	13.5	19	---	---	500	0.93	oui
	1.4762	7.7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	10.5	---	11.5	---	12.0	---	12.0	---	13.5	17	---	---	500	1.1	oui
aciers réfractaires, Austénite	1.4818	7.8	200	---	---	---	---	163	155	---	---	---	120	---	16.5	---	18.0	---	18.5	---	19.0	---	20.0	15	---	29.0	500	0.85	non 1)
	1.4828	7.9	196	---	---	---	---	---	150	---	---	---	120	---	16.5	---	17.5	---	18.0	---	18.5	---	19.5	15	---	27.5	500	0.85	non 1)
	1.4833	7.9	196	---	---	---	---	158	150	---	---	---	120	---	16.0	---	17.5	---	18.0	---	18.5	---	19.5	15	---	27.5	500	0.78	non 1)
	1.4835	7.8	200	---	---	---	---	163	155	---	---	---	120	---	17.0	---	18.0	---	18.5	---	19.0	---	19.5	15	---	29.0	500	0.85	non 1)
	1.4841	7.9	196	---	---	---	---	158	150	---	---	---	120	---	15.5	---	17.0	---	17.5	---	18.0	---	19.0	15	---	27.8	500	0.90	non 1)
	1.4845	7.9	196	---	---	---	---	158	150	---	---	---	120	---	15.5	---	17.0	---	17.5	---	18.5	---	19.0	15	---	27.1	500	0.85	non 1)
	1.4854	7.9	190	---	---	---	---	160	155	---	---	---	130	---	15.5	---	16.5	---	17.0	---	17.5	---	18.0	11	---	26.0	450	1.0	non 1)
	1.4878	7.9	196	--	---	---	---	158	150	---	---	---	---	---	17.0	---	18.0	---	18.5	---	19.0	---	---	15	---	27.5	472	0.73	non 1)
rés. au fluage, Austénite	1.4941	7.9	200	190	185	175	170	160	155	145	140	135	125	16.3	16.9	17.3	17.8	18.2	18.5	18.7	---	---	---	17	---	---	450	0.71	non 1)
	1.4948	7.9	200	190	185	175	170	160	155	145	140	135	125	16.3	16.9	17.3	17.8	18.2	18.5	18.7	---	---	---	17	---	28.8	450	0.71	non 1)
	1.4950	7.9	200	190	185	175	170	160	155	145	140	135	125	---	16.0	16.8	17.5	18.0	18.0	18.3	18.5	19.0	19.5	15	---	---	500	0.78	non 1)
	1.4951	7.9	200	190	185	175	170	160	155	145	140	135	125	---	15.5	16.3	17.0	17.3	17.5	18.0	18.5	18.8	19.0	15	---	---	500	0.85	non 1)
aciers spéciaux	1.3805	7.8	190	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	16.5	18.3	19.4	20.3	---	---	---	---	---	---	15	---	---	---	0.7	non
	1.3964	7.9	195	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	15.7	17	17.5	17.8	---	---	---	---	---	---	14	---	---	---	0.8	non

--- valeurs non disponibles
1) de faibles quantités de ferrite et/ou martensite provenant de la déformation à froid augmenteront le magnétisme
2) approprié pour basse perméabilité magnétique m = max. 1.005

* capacité thermique massique

© KOHLER 2021

7.6 Formages à chaud et traitements thermiques

matières		formage à chaud		symbole de traitement thermique 1)	recuit, hypertrempe		symbole de traitement thermique 1)	trempe		revenu	température d'ecaillage à l'air
		°C	type de refroidissement		°C	type de refroid.		°C	type de refroid.	°C	°C
Ferrite	1.4000	1100 - 800	air	+A	750 - 810	air, eau	---	---	---	---	---
	1.4003	1100 - 800	air	+A	700 - 760	air, eau	---	---	---	---	---
	1.4016	1100 - 800	air	+A	770 - 830	air, eau	---	---	---	---	800
	1.4509	1100 - 800	air	+A	870 - 930	air, eau	---	---	---	---	950
	1.4510	1100 - 800	air	+A	770 - 830	air, eau	---	---	---	---	900
	1.4512	1100 - 800	air	+A	770 - 830	air, eau	---	---	---	---	---
	1.4520	1100 - 800	air	+A	820 - 880	air, eau	---	---	---	---	---
	1.4521	1100 - 800	air	+A	820 - 880	air, eau	---	---	---	---	---
Martensite	1.4005	1100 - 800	air	+A	745 - 825	air	+QT650	950 - 1000	huile, air	680 - 780	2)
	1.4006	1100 - 800	air	+A	750 - 810	air	+QT650	950 - 1010	huile, air	620 - 700	2)
	1.4021	1100 - 800	refroidissement lent	+A	745 - 825	air	+QT750	950 - 1010	huile, air	620 - 700	2)
	1.4028	1100 - 800	refroidissement lent	+A	745 - 825	air	+QT800	950 - 1010	huile, air	650 - 730	2)
	1.4034	1100 - 800	refroidissement lent	+A	750 - 850	four, air	+QT850	950 - 1050	huile, air	650 - 700	2)
	1.4057	1100 - 800	refroidissement lent	+A	680 - 800	four, air	+QT900	950 - 1050	huile, air	600 - 650	2)
	1.4104	1100 - 800	air	+A	750 - 850	four, air	+QT650	950 - 1070	huile, air	550 - 650	2)
	1.4112	1100 - 800	refroidissement lent	+A	780 - 840	four, air	---	---	---	---	2)
	1.4122	1100 - 800	refroidissement lent	+A	750 - 850	four, air	+QT750	950 - 1050	huile, air	600 - 650	2)
	1.4313	1150 - 900	air	+A	600 - 650	four, air	+QT900	950 - 1050	huile, air, eau	510 - 590	2)
	1.4418	1150 - 900	air	+A	600 - 650	four, air	+QT840	900 - 1000	huile, air, eau	570 - 650	2)
	1.4542	1150 - 900	air	---	---	---	+P1300	1025 - 1055	air	470 - 490 (1h)	2)
Duplex	1.4162	1100 - 900	air	+AT	1020 - 1100	eau, air 3)	---	---	---	---	2)
	1.4362	1200 - 1000	air	+AT	950 - 1050	eau, air 3)	---	---	---	---	2)
	1.4410	1200 - 1000	air	+AT	1040 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	2)
	1.4460	1200 - 950	air	+AT	1020 - 1100	eau, air 3)	---	---	---	---	2)
	1.4462	1200 - 950	air	+AT	1020 - 1100	eau, air 3)	---	---	---	---	2)
	1.4501	1200 - 1000	air	+AT	1040 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	2)
	1.4662	1120 - 900	air	+AT	1080 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	2)
Austénite	1.4305	1200 - 900	air	+AT	1000 - 1100	eau, air 3)	---	---	---	---	2)
	1.4310	1200 - 900	air	+AT	1000 - 1100	eau, air 3)	---	---	---	---	2)
	1.4318	1150 - 850	air	+AT	1020 - 1100	eau, air 3)	---	---	---	---	2)
	1.4372	1150 - 850	air	+AT	1000 - 1100	eau, air 3)	---	---	---	---	2)
Standard Cr-Ni / V2A	1.4301	1200 - 900	air	+AT	1000 - 1100	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4303	1200 - 900	air	+AT	1000 - 1100	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4306	1200 - 900	air	+AT	1000 - 1100	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4307	1200 - 900	air	+AT	1000 - 1100	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4311	1200 - 900	air	+AT	1000 - 1100	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4315	1150 - 850	air	+AT	1000 - 1100	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4541	1200 - 900	air	+AT	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4550	1150 - 850	air	+AT	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4567	1200 - 900	air	+AT	1000 - 1100	eau, air 3)	---	---	---	---	850
Standard Cr-Ni-Mo / V4A	1.4401	1200 - 900	air	+AT	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4404	1200 - 900	air	+AT	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4406	1200 - 900	air	+AT	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4408	---	---	---	1080 - 1150	eau, air 3)	---	---	---	---	---
	1.4429	1200 - 900	air	+AT	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4432	1200 - 900	air	+AT	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4435	1200 - 900	air	+AT	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4435 BN2	1200 - 900	air	+AT	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4436	1200 - 900	air	+AT	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4571	1200 - 900	air	+AT	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	850
hautem. alliées	1.4434	1150 - 850	air	+AT	1070 - 1150	eau, air 3)	---	---	---	---	---
	1.4438	1150 - 850	air	+AT	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	---
	1.4439	1200 - 900	air	+AT	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	---
	1.4466	1150 - 850	air	+AT	1070 - 1150	eau, air 3)	---	---	---	---	1000
	1.4539	1200 - 900	air	+AT	1050 - 1150	eau, air 3)	---	---	---	---	1000
Superausténite	1.4529	1200 - 950	air	+AT	1120 - 1180	eau, air 3)	---	---	---	---	---
	1.4547	1200 - 1000	air	+AT	1140 - 1200	eau, air 3)	---	---	---	---	1000
	1.4562	1200 - 1050	air	---	1130 - 1180	eau, air 3)	---	---	---	---	---
	1.4565	1200 - 950	air	+AT	1120 - 1170	eau, air 3)	---	---	---	---	---
	1.4652	1200 - 1000	air	+AT	1150 - 1200	eau, air 3)	---	---	---	---	1000
aciers réfractaires Ferrite	1.4713	1100 - 750	air	+A	780 - 840	air, eau	---	---	---	---	800
	1.4724	1100 - 750	air	+A	800 - 860	air, eau	---	---	---	---	850
	1.4742	1100 - 750	air	+A	800 - 860	air, eau	---	---	---	---	1000
	1.4762	1100 - 750	air	+A	800 - 860	air, eau	---	---	---	---	1150
aciers réfractaires Austénite	1.4818	1150 - 900	air	+AT	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	1050
	1.4828	1150 - 950	air	+AT	1050 - 1150	eau, air 3)	---	---	---	---	1000
	1.4833	1150 - 950	air	+AT	1050 - 1150	eau, air 3)	---	---	---	---	1000
	1.4835	1150 - 900	air	+AT	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	1150
	1.4841	1150 - 980	air	+AT	1050 - 1150	eau, air 3)	---	---	---	---	1150
	1.4845	1150 - 980	air	+AT	1050 - 1150	eau, air 3)	---	---	---	---	1050
	1.4854	1150 - 980	air	+AT	1050 - 1150	eau, air 3)	---	---	---	---	1170
	1.4878	1150 - 850	air	+AT	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	850
rés. au fluage Austénite	1.4941	1150 - 850	air	+AT	1050 - 1110	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4948	1150 - 850	air	+AT	1050 - 1110	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4950	1150 - 850	air	+AT	1050 - 1150	eau, air 3)	---	---	---	---	850
	1.4951	1150 - 850	air	+AT	1050 - 1150	eau, air 3)	---	---	---	---	850
aciers spéciaux	1.3805	1150 - 950	---	---	1000 - 1100	eau, air 3)	---	---	---	---	---
	1.3964	1150 - 950	---	---	1020 - 1120	eau, air 3)	---	---	---	---	---

--- valeurs non disponibles

1) +A = recuit, +AT = recuit de mise en solution, +QT = trempé et revenu, +P = durcissement par précipitation; d'autres traitements thermiques voir EN 10088 parties 2 & 3

2) non approprié pour des applications à température élevée

3) refroidissement assez rapide

© KOHLER 2021

HANS KOHLER SA, Claridenstrasse 20, case postale, CH-8022 Zurich, téléphone 044 207 11 11, fax 044 207 11 10

7.7 Calcul de la ferrite/diagramme de Schaeffler

La structure, respectivement la teneur en ferrite des aciers inoxydable, dépend premièrement de la composition chimique. Les divers éléments d'alliage y jouent des rôles différents. On distingue entre les éléments qui favorisent la formation d'austénite et ceux qui soutiennent la ferrite:

favorisent l'austénite: Ni, C, Mn, Cu, Co, N
soutiennent la ferrite: Cr, Mo, Si, Ti, Nb

A partir des éléments qui favorisent la formation d'austénite, on calcule le nickel équivalent et pour ceux qui soutiennent la ferrite le chrome équivalent, c'est-à-dire que les éléments correspondants agissent sur la formation d'austénite et de ferrite comme le Ni et le Cr, mais avec une intensité différente. C'est pourquoi ils sont aussi pondérés différemment dans les formules correspondantes ([Cr] = teneur en Cr en % poids).

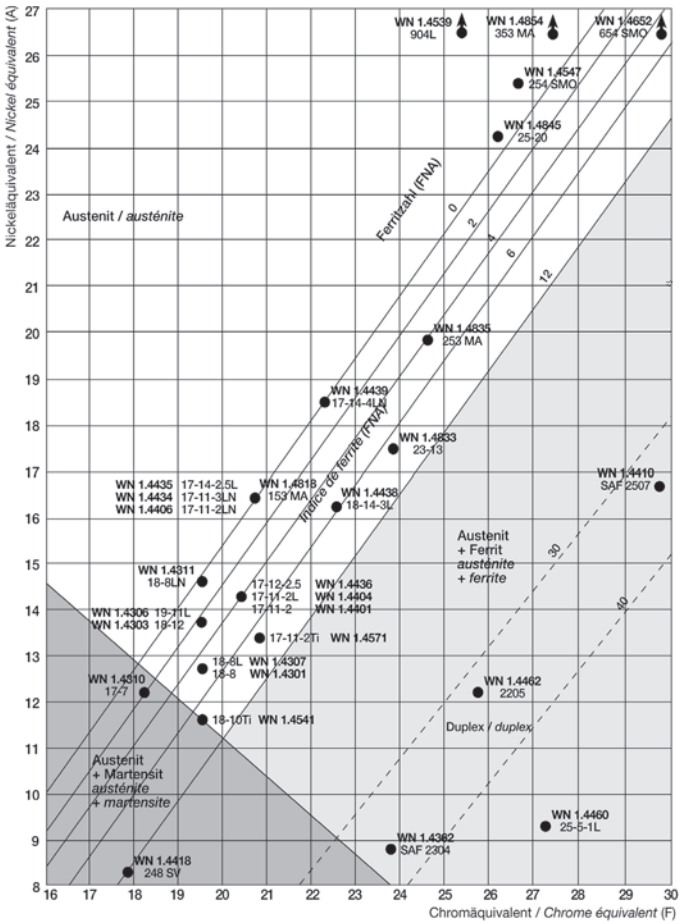
Cr – équivalent F = [Cr] + 1.5[Si] + [Mo] + 2[Ti] + 0.5[Nb]
Ni – équivalent A = [Ni] + 0.5{[Mn] + [Cu] + [Co]} + 30{[N] + [C]}

Au moyen des diagrammes de Schaeffler (du nom de son créateur), il est possible de lire la teneur en ferrite sur la base de ces équivalents. Le problème est ici qu'il existe différents diagrammes de ce genre (originaux et modifiés), qui se différencient entre autres dans le calcul des éléments qui interviennent et dans leur pondération, et que ces diagrammes se rapportent entre autres à une soudure solidifiée rapidement. La teneur en ferrite étant influencée par la vitesse de refroidissement de la matière en fusion et d'éventuels traitements thermiques suivants, ces diagrammes doivent être appréciés avec prudence pour le substrat, c'est-à-dire que la teneur effective en ferrite peut s'écarter des valeurs du diagramme. Etant donné que la teneur en ferrite influence négativement la résistance à la corrosion, il est recommandé, dans le cas d'une application exigeant une teneur en ferrite spécialement basse ou définie, de commander le matériel selon la norme éditée par l'industrie chimique bâloise (dite norme bâloise BN 2)

Indices de ferrite selon Outokumpu:
Outokumpu, notre principal fournisseur de matériel inoxydable, travaille en outre avec des indices de ferrite FNA (**F**errite **N**umber **A**vesta). Ils se calculent à partir des équivalents Cr et Ni avec les formules suivantes:

FNA = 3.34F – 2.46A – 28.6 (für FNA <6.0)
FNA = 4.44F – 3.39A – 38.4 (für FNA =6.0–12.0)
FNA = 4.06F – 3.23A – 32.2 (für FNA >12.0)

L'acier austénitique standard d'Outokumpu a normalement une valeur FNA de 6.0 au maximum. La relation entre le FNA et la teneur effective en ferrite en % ne peut pas être expliquée simplement. Pour FNA < 12, le FNA correspond assez exactement à la teneur effective en ferrite en %, c'est-à-dire que FNA = 12 correspond à une teneur en ferrite de 12 % environ. Pour des valeurs supérieures de FNA, cette comparaison ne joue plus. Au FNA appartient naturellement le diagramme de Schaeffler modifié correspondant (voir ci-dessous).



© KOHLER 2021

7.8 EN 10088 – nouvelles désignations des surfaces
Abréviations pour gamme de fabrication et finition de surface

produits	EN 10088	type d'état de livraison	fini de surface	gamme de produit					DIN 17440 DIN 17441
	abréviations			produits plats	fil laminé	barres	profils	semi-produits	anciennes abréviations
laminé à chaud, formé à chaud	1U	formé à chaud, sans traitement thermique, non décalaminé	avec la calamine du laminage	×	×	×	×	×	a1
	1C	formé à chaud, traité thermiquement, non décalaminé	avec la calamine du laminage	×	×	×	×	×	b (Ic)
	1E	formé à chaud, traité thermiquement, décalaminé mécaniquement	exempt de calamine	×	×	×	×	×	c1 (IIa)
	1D	formé à chaud, traité thermiquement, décapé	exempt de calamine	×	×	×	×		c2 (IIa)
	1X	formé à chaud, traité thermiquement, usiné (pré-tourné/tourné)	aspect métallique propre			×	×		
laminé à froid, fini à froid	2H	écroui	brillant	×		×	×		f (IIIa)
	2C	laminé à froid, traité thermiquement, non décalaminé	lisse, avec la calamine du traitement therm.	×					
	2E	laminé à froid, traité thermiquement, décalaminage mécanique	rugueux et mat	×					
	2D	fini à froid, traité thermiquement, décapé	lisse	×		×	×		h (IIIb)
	2B	traité thermiquement, usiné (scalpé), lissage mécanique	plus lisse que 1E, 1D, 1X			×	×		n (IIIc)
	2B	laminé à froid, traité thermiquement, décapé, rélaminé à froid	plus lisse que 2D	×					n (IIIc)
	2R	laminé à froid, recuit brillant	lisse, brillant et réfléchissant	×					m (IIId)
	2Q	laminé à froid, trempé et revenu sans calamine	exempt de calamine	×					
exécutions spéciales, finitions particulières	1G/2G	meulé	exécution uniforme	×		×	×		o (IV)
	1J/2J	brossé ou poli mat	plus lisse que meulé	×					q
	1K/2K	poli satiné mat	mat	×					p (V)
	1P/2P	lustré	lustré	×		×	×		p (V)
	2F	laminé à froid, traité thermiquement, rélaminé à froid avec cylindre rugueux	mat, non réfléchissant	×					
	1M/2M	à motifs sur un côté	à convenir	×					
	2W	ondulé	à convenir	×					
	2L	coloré	à convenir	×					
	1S/2S	surface revêtue	sur une seule face	×					

Des indications détaillées sont données dans la norme EN 10088, parties 2 & 3

© KOHLER 2021

HANS KOHLER SA, Claridenstrasse 20, case postale, CH-8022 Zurich, téléphone 044 207 11 11, fax 044 207 11 10

7.9 Désignations pour tubes soudés longitudinalement

EN 10217-7 abréviations	**type d'état de livraison**[a]	**fini de surface**	**DIN 17457** anciennes abrév.
W0[b]	soudé de tôles ou bandes laminées à froid ou à chaud 1D, 2D, 2E, 2B	soudé	d0 / k0
W1[b]	soudé de tôles ou bandes laminées à chaud 1D, décalaminé	décalaminé	d1
W1A[b]	soudé de tôles ou bandes laminées à chaud 1D, traité thermiquement, décalaminé	décalaminé	d2
W1R[b]	soudé de tôles ou bandes laminées à chaud 1D, recuit brillant	brillant	d3
W2[b]	soudé de tôles ou bandes laminées à froid 2D, 2E, 2B, décalaminé	décalaminé	k1
W2A[b]	soudé de tôles ou bandes laminées à froid 2D, 2E, 2B, traité thermiquement, décalaminé	sauf pour la soudure, nettement plus lisse que W1 et W1A	k2
W2R[b]	soudé de tôles ou bandes laminées à froid 2D, 2E, 2B, recuit brillant	brillant	k3
WCA	soudé de tôles ou bandes laminées à froid ou à chaud 1D, 2D, 2E, 2B, éventuellement traité thermiquement, formé à froid à au moins 20 %, traité thermiquement avec métal de soudure recristalisé, décalaminé	décalaminé, cordon de soudure à peine visible	l1
WCR	soudé de tôles ou bandes laminées à froid ou à chaud 1D, 2D, 2E, 2B, éventuellement traité thermiquement, formé à froid à au moins 20 %, recuit brillant, avec métal de soudure recristalisé	brillant, cordon de soudure à peine visible	l2
WG	meulé[c]	meulé brillant; le type de meulage et la rugosité à atteindre sont à convenir lors de la demande et à la commande[d]	o
WP	poli[c]	poli brillant; le type de polissage et la rugosité à atteindre sont à convenir lors de la demande et à la commande[d]	p

a symbole des produits plats selon EN 10088-2

b lorsque les tubes sont commandés avec le cordon de soudure raclé, la lettre «b» doit être ajoutée à l'abréviation (exemple W2Ab)

c habituellement la matière initiale est utilisée en exécution W2, W2A, W2R, WCA ou WCR

d pour les commandes de tubes meulés ou polis, il convient de stipuler s'ils doivent l'être à l'intérieur ou à l'extérieur

© KOHLER 2021

7.10 Tabelle des équivalences de duretés

Rockwell				Vickers	Brinell	résist. à la tract.
A	B	C	D	HV	HB	R_m
120°	1/16“	120°	120°	136°	10	
60	100	150	100	10	3000	[N/mm²]
92.0		80.0	86.5			
91.5		79.0	85.5			
91.0		78.0	84.5			
90.5		77.0	84.0			
90.0		76.0	83.0	1100		
89.5		75.0	82.5			
89.0		74.0	81.5			
88.5		73.0	81.0			
88.0		72.0	80.0			
87.0		71.0	79.5	1000		
86.5		70.0	78.5	980		
86.0		69.0	78.0	960		
85.6		68.0	76.9	940		
85.3		67.5	76.5	920		
85.0		67.0	76.1	900		2780
84.7		66.4	75.7	880		
84.4		65.9	75.3	860		
84.1		65.3	74.8	840		
83.8		64.7	74.3	820		
83.4		64.0	73.8	800		2580
83.0		63.3	73.3	780		
82.6		62.5	72.6	760		
82.2		61.8	72.1	740		
81.8		61.0	71.5	720		
81.3		60.1	70.8	700		2380
81.1		59.7	70.5	690	656	2340
80.8		59.2	70.1	680	646	2300
80.6		58.8	69.8	670	637	2260
80.3		58.3	69.4	660	627	2220
80.0		57.8	69.0	650	618	2180
79.8		57.3	68.7	640	608	2145
79.5		56.8	68.3	630	599	2105
79.2		56.3	67.9	620	589	2070
78.9		55.7	67.5	610	580	2030
78.6		55.2	67.0	600	570	1995
78.4		54.7	66.7	590	561	1955
78.0		54.1	66.2	580	551	1920
77.8		53.6	65.8	570	542	1880
77.4		53.0	65.4	560	532	1845
77.0		52.3	64.8	550	523	1810
76.7		51.7	64.4	540	513	1775
76.4		51.1	63.9	530	504	1740
76.1		50.5	63.5	520	494	1700
75.7		49.8	62.9	510	485	1665
75.3		49.1	62.2	500	475	1630
74.9		48.4	61.6	490	466	1595
74.5		47.7	61.3	480	456	1555
74.1		46.9	60.7	470	447	1520
73.6		46.1	60.1	460	437	1485
73.3		45.3	59.4	450	428	1455
73.0		44.5	58.8	440	418	1420
72.3		43.6	58.2	430	408	1385
71.8		42.7	57.5	420	399	1350
71.4		41.8	56.8	410	389	1320
70.8		40.8	56.0	400	380	1290

Rockwell				Vickers	Brinell	résist. à la tract.
A	B	C	D	HV	HB	R_m
120°	1/16“	120°	120°	136°	10	
60	100	150	100	10	3000	[N/mm²]
70.3		39.8	55.3	390	370	1255
69.8		38.8	54.4	380	361	1220
69.2		37.7	53.6	370	351	1190
68.7		36.6	52.8	360	342	1155
68.1		35.5	51.9	350	332	1125
67.6		34.4	51.1	340	323	1095
67.0		33.3	50.2	330	313	1060
66.4		32.2	49.4	320	304	1030
65.8		31.0	48.4	310	294	995
65.2		29.8	47.5	300	285	965
64.8		29.2	47.1	295	280	950
64.5	105.0	28.5	46.5	290	275	930
64.2	104.5	27.8	46.0	285	271	915
63.8	104.0	27.1	45.3	280	266	900
63.5	103.0	26.4	44.9	275	261	880
63.1	102.0	25.6	44.3	270	256	865
62.7	101.5	24.8	43.7	265	252	850
62.4	101.0	24.0	43.1	260	247	635
62.0	100.0	23.1	42.2	255	242	820
61.6	99.5	22.2	41.7	250	237	800
61.2	98.8	21.3	41.1	245	233	785
60.7	98.1	20.3	40.3	240	228	770
	97.4	19.0		235	223	755
	96.7	17.5		230	219	740
	96.0	16.0		225	214	720
	95.0			220	209	705
	94.0			215	204	690
	93.5			210	199	675
	92.5			205	195	660
	91.5			200	190	640
	90.5			195	185	625
	89.5			190	181	610
	88.3			185	176	595
	87.1			180	171	575
	86.0			175	166	560
	85.0			170	162	545
	83.2			165	156	530
	81.7			160	152	510
	80.2			155	147	495
	78.7			150	143	480
	76.8			145	138	465
	75.0			140	133	450
	73.0			135	128	430
	71.2			130	124	415
	69.0			125	119	400
	66.7			120	114	385
	64.5			115	109	370
	62.3			110	105	350
	59.3			105	100	335
	56.2			100	95	320
	52.0			95	90	305
	48.0			90	85	285
	41.0			85	81	270
				80	76	255

© KOHLER 2021

HANS KOHLER SA, Claridenstrasse 20, case postale, CH-8022 Zurich, téléphone 044 207 11 11, fax 044 207 11 10

produits de nettoyage pour aciers inoxydables

produit de nettoyage	composition	domaines d'application
détergent universel	Tensioactifs, eau, souvent addition de phosphates et d'hydroxyde d'ammonium.	Convient pour les souillures grasses légères.
détergent neutre	Tensioactifs, eau et parfums.	Surfaces souillées de graisse et d'huile (empreintes de doigts). Convient aussi pour les appareils ménagers.
détergent à l'alcool	Tensioactifs, alcool, eau et parfums.	Convient pour les souillures grasses légères.
détergent alcalin	Tensioactifs, eau et alcalis, souvent encore addition de solvants organiques (pH supérieur à 10).	Pour fortes souillures de graisse et d'huile (huiles polymérisées) dans l'industrie alimentaire et le nettoyage de façades. Les aciers inoxydables sont insensibles aux bases alcalines fortes.
détergent alcalin à action abrasive	Tensioactifs, eau et alcalis, souvent encore addition de solvants organiques. On ajoute comme abrasifs de la pâte à polir fine, le plus souvent de la craie lévigée.	Pour fortes souillures de graisse et dépôts de substances minérales comme suie, rouille, légères taches d'eau calcaire. Emploi pour les façades et les cuisines. Pour être efficace, le produit de polissage doit être plus dur que la saleté, mais plus tendre que la surface d'acier.
détergent solvant	Mélange de solvants organiques, par ex. hydrocarbures chlorés (trichloréthylène, tétrachloréthylène) qui ne sont pas inflammables, mais dangereux pour la santé et non miscibles dans l'eau. Les solvants inflammables sont entre autres l'essence ou la térébenthine.	Convient particulièrement pour les souillures de graisse, huile, cire, goudron, colles, peintures. **Remarque:** Observer les prescriptions de prévention des accidents. Protection respiratoire en cas de vapeurs dangereuses pour la santé. Bien ventiler et respecter les prescriptions pour les liquides inflammables.
détergent émulsif sans abrasif	Tensioactifs, eau, solvants organiques non miscibles dans l'eau, souvent mélangés à des alcalis.	Pour fortes souillures de graisse, cire, goudron, peintures. Meilleurs que les détergents alcalins sans abrasif, mais moins bons que les détergents solvants. **Remarque:** Odeur désagréable, bien ventiler et respecter les prescriptions pour les liquides inflammables.
détergent émulsif avec abrasif	Comme les détergents émulsifs sans abrasif, mais contenant de la pâte à polir.	Comme les détergents alcalins abrasifs, mais meilleure action de nettoyage pour la saleté grasse et pour enlever le goudron. **Remarque:** Observer les prescriptions de prévention des accidents comme pour les détergents solvants.
détergent désinfectant	Genres les plus fréquents: – combinaisons quaternaires d'ammonium, agissant comme tensioactifs cationiques détergents et désinfectants – aldéhydes, tensioactifs et eau – détergent chloré (hypochlorite de sodium, tensioactifs, alcalis, eau – produits contenant du phénol dans le domaine médical	Industrie alimentaire, cuisines, hôpitaux, etc. Action sur les germes pathogènes, différente selon la substance désinfectante. Utiliser des produits recommandés pour l'hygiène et la microbiologie. **Remarque:** L'action prolongée de l'hypochlorite de sodium peut provoquer de la corrosion.

© KOHLER 2021

produit de nettoyage	composition	domaines d'application
détergent chloré	Hypochlorite de sodium, tensioactifs, alcalis, eau.	Industrie alimentaire et des boissons, économie laitière, cuisines, installations sanitaires. Les détergents chlorés ont une action nettoyante et désinfectante. **Remarque:** L'action prolongée à haute concentration peut endommager le matériel. Le pH ne doit pas descendre au-dessous de 8, sinon des acides hypochloreux nocifs peuvent se former. Peut aussi libérer partiellement de l'acide chlorhydrique.
détergent acide	Composants acides comme acide phosphorique, nitrique et sulfamique, tensioactifs résistant aux acides, eau, en partie parfums.	Pour enlever des dépôts calcaires, de rouille, de pigments gras, de souillures grasses légères. Emploi dans l'industrie alimentaire et des boissons, les installations sanitaires, cuisines et façades. **Remarque:** Les détergents doivent être exempts d'halogènes (ions de chlore et de fluor), donc ne contenir aucun acide chlorhydrique ou fluorhydrique, qui ont une action corrosive sur la surface.
détergent pour le nettoyage à haute pression	Les produits alcalins, neutres ou acides conviennent. Réglés faiblement ou fortement moussants, selon l'application.	Industrie alimentaire et des boissons, cuisines, laiteries, façades, etc. Les produits fortement moussants sont utilisés par ex. pour nettoyer les fumoirs. La formation de mousse empêche l'écoulement du détergent le long de la paroi et prolonge ainsi sa durée d'action.
produit de nettoyage et de conservation	Ces produits contiennent des composants d'entretien comme des cires, des plastiques, des silicones et des détergents. On distingue principalement les genres suivants: – solvant conservateur (composants d'entretien et solvants organiques) – émulsion sans abrasif (composants d'entretien, tensioactifs, eau et solvants organiques) – émulsion abrasive (composants d'entretien, tensioactifs, eau, solvants organiques et pâte à polir douce). De tels produits sont aussi appelés «Metallpolish».	Recommandé seulement pour des souillures légères dans les installations sanitaires et cuisines, ainsi que pour l'entretien des façades. La conservation protége la surface contre la rouille volante et d'autres substances nocives. **Remarque:** L'action prolongée de la rouille volante entraîne le risque d'une corrosion électrochimique. Sur les façades, il y a un risque que la saleté soit enrobée dans l'agent de conservation et attaque la surface.
produit de conservation	– solvant conservateur contenant des solvants organiques et des composants d'entretien – émulsion de conservation formée de composants d'entretien, d'eau et de tensioactifs comme émulsifiants	Nettoie et conserve la surface, tout en protégeant contre la rouille volante et d'autres substances nocives.

Bibliographie: «So reinigt man Edelstahl rostfrei»
Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, D-4000 Düsseldorf 1

© KOHLER 2021

7.12 Documents de contrôle selon EN 10204

type de document de contrôle	nouveau **EN 10204:2004**	ancien **EN 10204:1991 (DIN 50049)**
Attestation de conformité à la commande Attestation du producteur que la livraison est conformé à la commande, sans résultat de contrôle.	**2.1**	2.1
Relevé de contrôle Attestation du producteur que la livraison est conformé à la commande. Les résultats de contrôle mentionnés ne doivent pas nécessairement provenir de la même charge.	**2.2**	2.2
Relevé de contrôle spécifique Attestation du producteur que la livraison est conformé à la commande. Les résultats de contrôle mentionnés doivent provenir de la même charge.	a été supprimé	2.3
Certificat de réception Attestation du producteur que la livraison est conformé à la commande. Etabli par un département indépendant de la production et attesté par l'expert de l'usine. Les résultats de contrôle mentionnés doivent provenir de la même charge.	**3.1**	3.1.B
Certificat de réception (ancien: procès-verbal de réception) Attestation sur la base d'un contrôle selon les prescription de la commande et/ou des règles techniques. Attesté également par l'expert de l'usine et par un expert mandaté par le client ou par un expert prescrit dans les règles officielles. Les résultats de contrôle mentionnés doivent provenir de la même charge.	**3.2**	3.1.A 3.1.C 3.2

Traduction des attestations selon EN 10204 (DIN 50049)

allemand	français	italien	anglais
Werksbescheinigung	*Attestation de conformité à la commande*	Attestato di conformità all'ordinazione	Declaration of compliance with the order
Werkszeugnis	*Relevé de contrôle*	Attestato di controllo	Test report
Werksprüfzeugnis	*Relevé de contrôle spécifique*	Dichiarazione di conformità	Specific report
Abnahmeprüfzeugnis	*Certificat de réception*	Certificato di collaudo	Inspection certificate
Abnahmeprüfprotokoll	*Procès-verbal de réception*	Verbale di collaudo	Inspection report

© KOHLER 2021

7.13 Tabelle des poids pour aciers inoxydables ronds, carrés et hexagonaux

Poids en kilogramme par mètre [kg/m], calculé avec une densité de 7,85 g/cm3

Dicke mm	●	■	⬢
0,5	0,002	0,002	0,002
1	0,006	0,008	0,006
1,5	0,014	0,018	0,014
2	0,025	0,031	0,025
2,5	0,039	0,049	0,039
3	0,06	0,07	0,06
3,5	0,08	0,10	0,08
4	0,10	0,12	0,10
4,5	0,13	0,20	0,14
5	0,15	0,23	0,17
6	0,22	0,28	0,25
7	0,30	0,39	0,33
8	0,39	0,50	0,44
9	0,50	0,64	0,55
10	0,62	0,79	0,68
11	0,75	0,95	0,82
12	0,89	1,13	0,98
13	1,04	1,33	1,15
14	1,21	1,54	1,33
15	1,39	1,77	1,53
16	1,58	2,01	1,74
17	1,78	2,27	1,97
18	2,00	2,54	2,20
19	2,23	2,83	2,45
20	2,47	3,14	2,80
21	2,72	3,46	3,00
22	2,98	3,80	3,29
23	3,26	4,15	3,60
24	3,55	4,52	3,91
25	3,85	4,91	4,25
26	4,17	5,31	4,60
27	4,50	5,72	4,96
28	4,83	6,15	5,33
29	5,19	6,60	5,72
30	5,55	7,77	6,12
32	6,31	8,04	6,96
34	7,13	9,08	7,86
36	8,00	10,17	8,81
38	8,90	11,34	9,81
40	9,87	12,56	10,88
41	10,30	13,20	11,38
42	10,88	13,85	12,00
44	11,94	15,20	13,16
46	13,05	16,61	14,39
48	14,21	18,09	15,66
50	15,41	19,63	17,00
52	16,67	21,23	18,83
54	17,98	22,89	19,82
55	18,65	23,48	20,57
56	19,34	24,62	21,32
58	20,74	26,41	21,47
60	22,20	28,26	24,47
62	23,70	30,17	26,13
64	25,25	32,15	27,85
65	26,05	33,16	28,72
66	26,86	34,20	29,61
68	28,51	36,30	31,44
70	30,21	38,47	33,31
72	31,96	40,69	35,24
74	33,76	42,99	37,23
75	34,68	44,13	38,24
76	35,61	45,34	39,27
78	37,51	47,76	41,36
80	39,46	50,24	43,51
85	44,45	56,72	49,12
90	49,95	63,59	55,07
95	55,64	70,85	61,46

épaisseur mm	●	■	⬢
100	61,65	78,50	67,98
105	67,97	86,55	74,95
110	74,60	94,99	82,26
115	81,54	103,82	89,91
120	88,78	113,04	97,90
125	96,33	122,66	106,22
130	104,20	132,66	114,90
135	112,36	143,07	123,90
140	120,84	153,86	133,25
145	129,63	165,04	142,93
150	138,7	176,6	153,0
155	148,1	188,6	163,8
160	157,8	201,0	174,0
165	167,9	213,7	185,1
170	178,2	226,9	196,5
175	188,8	240,4	208,2
180	199,8	254,3	220,3
185	211,0	268,7	232,6
190	222,6	283,4	245,4
195	234,4	298,4	258,5
200	246,6	314,0	272,0
205	259,1	329,9	288,9
210	271,9	346,2	299,8
215	285,0	362,9	314,3
220	298,4	380,0	329,0
225	312,1	397,4	344,2
230	326,1	415,3	359,6
235	340,5	433,5	375,4
240	355,1	452,2	391,6
245	370,1	471,2	408,1
250	385,3	490,6	424,9
255	400,9	510,4	442,1
260	416,8	530,7	459,6
265	433,0	551,3	483,4
270	449,5	572,3	495,6
275	466,3	593,7	514,0
280	483,4	615,4	533,0
285	500,8	637,6	555,2
290	518,6	660,2	571,7
295	536,5	683,1	591,6
300	554,9	706,5	611,9
305	573,5	730,2	632,4
310	592,5	754,4	653,3
315	611,8	778,9	674,6
320	631,3	803,4	696,2
325	651,2	829,2	718,0
330	671,4	854,9	740,3
335	692,0	881,0	763,0
340	712,7	907,5	786,9
345	733,8	934,3	809,2
350	755,3	961,6	833,8
360	799,0	1017,4	875,0
370	844,0	1074,7	925,0
380	890,3	1133,5	975,0
390	937,8	1194,0	1030,0
400	986,5	1256,0	1080,0
410	1036,4	1319,6	1135,0
420	1087,6	1384,7	1190,0
430	1140,0	1451,5	1250,0
440	1193,6	1519,8	1305,0
450	1248,5	1589,6	1370,0
460	1304,6	1661,1	1430,0
470	1361,9	1734,1	1495,0
480	1420,5	1808,6	1555,0
490	1480,3	1884,3	1620,0
500	1541,3	1962,5	1685,0

© KOHLER 2021

HANS KOHLER SA, Claridenstrasse 20, case postale, CH-8022 Zurich, téléphone 044 207 11 11, fax 044 207 11 10

7.14 Tabelle des poids pour aciers inoxydables plats

Poids en kilogramme par mètre [kg/m], calculé avec une densité de 7,85 g/cm3

largeur	épaisseur mm																								largeur
mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	25	30	35	40	45	50	mm
10	0,08	0,16	0,24	0,31	0,39	0,47	0,55	0,63	0,71	0,79															10
15	0,12	0,24	0,35	0,47	0,59	0,71	0,82	0,94	1,06	1,18	1,30	1,41	1,53	1,65	1,77										15
20	0,16	0,31	0,47	0,63	0,79	0,94	1,10	1,26	1,41	1,57	1,73	1,88	2,04	2,20	2,36	2,51	2,83	3,14							20
25	0,20	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96	2,16	2,36	2,55	2,75	2,94	3,14	3,53	3,93							25
30	0,24	0,47	0,71	0,94	1,18	1,41	1,65	1,88	2,12	2,36	2,59	2,83	3,06	3,30	3,53	3,77	4,24	4,71	5,89						30
35	0,28	0,55	0,82	1,10	1,37	1,65	1,92	2,20	2,48	2,75	3,02	3,30	3,57	3,85	4,12	4,40	4,95	5,50	6,87	8,24					35
40	0,31	0,63	0,94	1,26	1,57	1,88	2,20	2,51	2,83	3,14	3,45	3,77	4,08	4,40	4,71	5,02	5,65	6,28	7,86	9,42	10,99				40
45	0,35	0,71	1,06	1,41	1,77	2,12	2,47	2,83	3,18	3,53	3,89	4,24	4,59	4,95	5,30	5,65	6,36	7,07	8,83	10,60	12,36	14,13			45
50	0,39	0,79	1,18	1,57	1,96	2,36	2,75	3,14	3,53	3,93	4,32	4,71	5,10	5,50	5,89	6,28	7,07	7,85	9,81	11,78	13,74	15,70	17,66		50
55	0,43	0,86	1,30	1,73	2,16	2,59	3,02	3,45	3,89	4,32	4,75	5,18	5,61	6,05	6,48	6,91	7,77	8,64	10,79	12,95	15,11	17,27	19,43	21,59	55
60	0,47	0,94	1,41	1,88	2,36	2,83	3,30	3,77	4,24	4,71	5,18	5,65	6,12	6,59	7,07	7,54	8,48	9,42	11,78	14,13	16,49	18,84	21,20	23,55	60
65	0,51	1,02	1,53	2,05	2,55	3,06	3,57	4,08	4,59	5,10	5,61	6,12	6,63	7,14	7,65	8,16	9,19	10,21	12,76	15,31	17,86	20,41	22,96	25,51	65
70	0,55	1,10	1,65	2,20	2,75	3,30	3,85	4,40	4,95	5,50	6,04	6,59	7,14	7,69	8,24	8,79	9,89	10,99	13,74	16,49	19,23	21,98	24,73	27,48	70
75	0,59	1,18	1,77	2,36	2,94	3,53	4,12	4,71	5,30	5,89	6,48	7,07	7,65	8,24	8,83	9,42	10,60	11,78	14,72	17,66	20,61	23,55	26,49	29,44	75
80	0,63	1,26	1,88	2,51	3,14	3,77	4,40	5,02	5,65	6,28	6,91	7,54	8,16	8,79	9,42	10,05	11,30	12,56	15,70	18,84	21,98	25,12	28,26	31,40	80
85	0,67	1,34	2,00	2,67	3,34	4,00	4,67	5,34	6,02	6,67	7,34	8,01	8,67	9,34	10,01	10,68	12,01	13,35	16,68	20,02	23,35	26,69	30,03	33,36	85
90	0,71	1,41	2,12	2,83	3,53	4,24	4,95	5,65	6,36	7,07	7,77	8,48	9,18	9,89	10,60	11,30	12,72	14,13	17,66	21,20	24,73	28,26	31,79	35,33	90
95	0,75	1,49	2,24	2,98	3,73	4,47	5,22	5,97	6,71	7,46	8,20	8,95	9,70	10,44	11,19	11,93	13,42	14,92	18,64	22,37	26,10	29,83	33,56	37,29	95
100	0,78	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85	8,64	9,42	10,20	10,99	11,78	12,56	14,13	15,70	19,63	23,55	27,48	31,40	35,33	39,25	100
105	0,82	1,65	2,47	3,30	4,12	4,95	5,77	6,59	7,42	8,24	9,06	9,89	10,72	11,54	12,36	13,19	14,84	16,49	20,61	24,73	28,85	32,97	37,09	41,21	105
110	0,86	1,73	2,59	3,45	4,32	5,18	6,05	6,91	7,77	8,64	9,50	10,36	11,23	12,09	12,95	13,82	15,54	17,27	21,59	25,90	30,22	34,54	38,86	43,18	110
120	0,94	1,81	2,83	3,77	4,71	5,65	6,60	7,54	8,48	9,42	10,36	11,30	12,25	13,19	14,13	15,07	16,96	18,84	23,55	28,26	32,97	37,68	42,39	47,10	120
130	1,02	2,04	3,06	4,08	5,10	6,12	7,14	8,16	9,19	10,21	11,23	12,25	13,27	14,29	15,31	16,33	18,37	20,41	25,51	30,61	35,72	40,82	45,92	51,02	130
140	1,10	2,20	3,30	4,40	5,50	6,59	7,69	8,79	9,89	10,99	12,09	13,19	14,29	15,39	16,49	17,58	19,78	21,98	27,48	32,97	38,47	43,96	49,46	54,95	140
150	1,18	2,36	3,53	4,71	5,89	7,07	8,24	9,42	10,60	11,78	12,95	14,13	15,31	16,49	17,66	18,84	21,20	23,55	29,44	35,33	41,21	47,10	52,99	58,88	150
160	1,26	2,52	3,77	5,02	6,28	7,54	8,79	10,05	11,30	12,56	13,82	15,08	16,33	17,58	18,84	20,10	22,60	25,12	31,40	37,68	43,96	50,24	56,52	62,80	160
170	1,34	2,67	4,00	5,34	6,67	8,01	9,34	10,99	12,01	13,35	14,70	16,02	17,35	18,68	20,02	21,38	24,02	26,69	33,36	40,03	46,71	53,38	60,05	66,72	170
180	1,41	2,83	4,24	5,65	7,07	8,48	9,89	11,30	12,72	14,13	15,56	16,96	18,37	19,78	21,20	22,60	25,43	28,26	35,33	42,39	49,46	56,52	63,59	70,65	180
190	1,49	2,98	4,48	5,97	7,46	8,95	10,44	11,93	13,42	14,91	16,41	17,90	19,39	20,88	22,37	23,86	26,85	29,83	37,29	44,74	52,20	59,66	67,12	74,57	190
200	1,57	3,14	4,71	6,28	7,85	9,42	10,99	12,56	14,13	15,70	17,27	18,84	20,41	21,98	23,55	25,12	28,26	31,40	39,25	47,10	54,95	62,80	70,65	78,50	200
210				6,59	8,24	9,89	11,54	13,19	14,84	16,49	18,13	19,78	21,43	23,08	24,73	26,38	29,67	32,97	41,21	49,46	57,70	65,94	74,18	82,42	210
220				6,91	8,64	10,36	12,09	13,81	15,54	17,27	18,99	20,72	22,45	24,18	25,90	27,62	31,09	34,54	43,18	51,81	60,45	69,08	77,72	86,35	220
230				7,22	9,03	10,83	12,64	14,44	16,25	18,06	19,86	21,67	23,47	25,28	27,08	28,89	32,50	36,11	45,18	54,17	63,19	72,22	81,25	90,28	230
240				7,54	9,42	11,30	13,19	15,07	16,96	18,84	20,72	22,60	24,49	26,38	28,26	30,14	33,91	37,68	47,10	56,52	65,94	75,36	84,78	94,20	240
250				7,84	9,81	11,77	13,73	15,70	17,66	19,62	21,57	23,53	25,51	27,46	29,42	31,38	35,33	39,25	49,05	58,88	68,69	78,50	88,31	98,13	250
260				8,16	10,21	12,25	14,29	16,33	18,38	20,41	22,47	24,50	26,53	28,58	30,62	32,66	36,74	40,82	51,03	61,23	71,44	81,64	91,85	102,10	260
270				8,48	10,60	12,72	14,84	16,96	19,08	21,19	23,31	25,43	27,55	29,67	31,79	33,91	38,15	42,39	52,99	63,58	74,18	84,78	95,38	105,97	270
280				8,79	10,99	13,19	15,39	17,28	19,78	21,98	24,18	26,38	28,57	30,78	32,97	35,16	39,56	43,96	54,95	65,94	76,93	87,92	98,91	109,90	280
290				9,11	11,38	13,66	15,94	18,21	20,49	22,76	25,04	27,32	29,59	31,87	34,15	36,42	40,98	45,53	56,91	68,29	79,68	91,06	102,44	113,82	290
300				9,42	11,78	14,13	16,48	18,84	21,20	23,55	25,91	28,26	30,61	32,96	35,33	37,68	42,39	47,11	58,88	70,65	82,43	94,20	106,00	117,80	300

© KOHLER 2021

Warmwalzwerk für Edelstahl

Laminoir à chaud

© KOHLER 2021

HANS KOHLER SA, Claridenstrasse 20, case postale, CH-8022 Zurich, téléphone 044 207 11 11, fax 044 207 11 10

Allgemeine Geschäftsbedingungen der HANS KOHLER AG

1. Geltungsbereich, Allgemeines

Diese Allgemeinen Geschäfts- und Lieferbedingungen der HANS KOHLER AG **(«Allgemeine Geschäftsbedingungen»)** bilden einen integrierenden Bestandteil unserer Verkaufsunterlagen (z.B. Werbeprospekte, Produktkataloge, Lager- und Preislisten, Online-Shop), Offerten und jedes Vertrages zwischen der HANS KOHLER AG und einem Käufer. Sie gelten für alle Leistungen, welche die HANS KOHLER AG aufgrund eines Vertrages zwischen ihr und einem Kunden erbringt.

Massgebend ist die im Zeitpunkt des Vertragsschlusses gültige Version, die auf der Website der HANS KOHLER AG (www.kohler.ch) veröffentlicht ist. Diese AGB gelten ausschliesslich. Abweichende oder zusätzliche Bedingungen, insbesondere allgemeine Einkaufsbedingungen des Käufers, gelten nur, wenn und soweit sie von der HANS KOHLER AG ausdrücklich und schriftlich akzeptiert worden sind.

2. Angebote, Offerten

Die Angebote in Verkaufsunterlagen (inkl. Online-Shop) sowie die Offerten der HANS KOHLER AG stehen und sind stets **freibleibend und unverbindlich.** Preisänderungen und der Zwischenverkauf von Produkten ab Lager bleiben deshalb jederzeit vorbehalten. Die Offerten der HANS KOHLER AG sind nur verbindlich, wenn sie eine Annahmefrist enthalten.

Die Bestellung des Käufers gilt als verbindliches Vertragsangebot. **Die HANS KOHLER AG behält sich vor, Bestellungen abzulehnen.** Die Annahme des Vertragsangebotes kann die HANS KOHLER AG entweder ausdrücklich erklären (z.B. durch Auftragsbestätigung) oder konkludent bekunden (z.B. durch Auslieferung des Liefergegenstandes). **Die elektronisch generierte Informationsbestätigung des Online-Shops der HANS KOHLER AG zeigt dem Käufer lediglich an, dass die Bestellung eingetroffen ist; sie gilt nicht als Annahme des Vertragsangebotes. Erfolgt innert 5 Werktagen (Tage, an denen die HANS KOHLER AG geöffnet hat) keine Ablehnung der Bestellung, ist der Kaufvertrag zustande gekommen.**

3. Preise

Alle Preise verstehen sich in Schweizer Franken rein netto, ohne MWST und ohne Verpackungs- und Transportkosten. Sofern sich die Beschaffung der bestellten Produkte zwischen dem Zeitpunkt des Vertragsschlusses und dem tatsächlichen Liefertermin aufgrund von nachweislich veränderten Verhältnissen (insbesondere bezüglich staatlicher/behördlicher Steuern, Abgaben, Gebühren, Zöllen etc.) verteuert, ist die HANS KOHLER AG berechtigt, diese Verteuerung auszuweisen und dem Käufer weiter zu verrechnen.

4. Mengentoleranzen

Die HANS KOHLER AG ist bestrebt, die bestellten Produkte in der Menge (Gewicht) gemäss Bestellung des Käufers zu liefern. Fertigungsbedingt muss sich die HANS KOHLER AG aber eine Mengentoleranz von ±10 % mit entsprechender Preisanpassung vorbehalten. Entsprechende Mehr- oder Minderlieferungen bis 10 % können vom Käufer ohne anderslautende, ausdrückliche Vereinbarung nicht beanstandet werden. Es wird die effektiv gelieferte Menge fakturiert.

5. Lieferfristen

Die angegebenen oder vereinbarten Liefertermine oder -fristen sind Richtwerte und freibleibend. Fixgeschäfte sowie Verfalltagsgeschäfte im Sinne von Art. 102 Abs. 2 OR werden von der HANS KOHLER AG nicht abgeschlossen.

Die HANS KOHLER AG ist jederzeit zu Teillieferungen berechtigt und kann Teillieferungen in Rechnung stellen.

Ist eine Lieferung nicht verfügbar, weil die HANS KOHLER AG von eigenen Lieferanten nicht beliefert wurde oder der Vorrat erschöpft ist, ist die HANS KOHLER AG berechtigt, in Qualität und Preis gleichwertige Ware zu liefern. Ist der HANS KOHLER AG dies nicht möglich, kann sie vom Vertrag zurücktreten **(Selbstbelieferungsvorbehalt).**

Lieferverzögerungen aufgrund von Ereignissen höherer Gewalt oder anderen von der HANS KOHLER AG weder vorhersehbaren noch zu vertretenden Umständen, welche die Lieferung unzumutbar erschweren oder verunmöglichen (z.B. Betriebsstörungen oder Produktionsfehler im Lieferwerk, Lieferverzögerungen des Lieferwerkes aus anderen Gründen, fehlerhafte Zulieferung des Lieferwerkes, Transportstörungen und -schäden, Betriebsstörungen bei der HANS KOHLER AG, behördliche Massnahmen etc.) berechtigen die HANS KOHLER AG, entweder die Lieferfrist angemessen zu verlängern oder vom Vertrag zurückzutreten. **Sämtliche aus einer Lieferverzögerung resultierenden Schadenersatzansprüche des Käufers sind ausgeschlossen (vorbehalten nachfolgend Ziff. 11).**

6. Zahlung und Eigentumsvorbehalt

Die Rechnungen der HANS KOHLER AG sind **zahlbar innert 30 Tagen ab Rechnungsdatum (Verfalltag),** netto, ohne jeden Abzug. **Die HANS KOHLER AG behält sich vor, Vorauszahlungen zu verlangen.**

Hält der Käufer die vereinbarte Zahlungsfrist nicht ein, so gerät er **ohne Mahnung in Verzug** und hat für verfallene Beträge einen Verzugszins von 6 % p. a. zu entrichten. Alle weiteren Rechte aus Art. 107 ff. OR bleiben vorbehalten.

Die Lieferung bleibt bis zur vollständigen Bezahlung Eigentum der HANS KOHLER AG (Eigentumsvorbehalt).

Die Zahlung fälliger Beträge darf vom Käufer unter keinen Umständen verweigert werden **(Verrechnungsverbot).** Lieferverzögerungen berechtigen den Käufer nicht zum Einstellen der Zahlungen von fälligen Rechnungen an die HANS KOHLER AG.

7. Kreditwürdigkeit und Bonitätsprüfung

Die HANS KOHLER AG behält sich das Recht zur Ermittlung von Bonitäts- bzw. Ausfallrisiken und damit zur Wahrung ihrer berechtigten Interessen vor, Daten des Käufers im Vorfeld des Abschlusses oder bei Abwicklung eines Vertrages an Behörden, Banken, sowie Unternehmen, die mit der Schuldeintreibung oder der Kreditauskunft betraut sind (z.B. Creditreform), zu übermitteln und zu diesen Zwecken Auskünfte über den Käufer einzuholen.

Wird nach Vertragsschluss eine Verschlechterung der finanziellen Lage des Käufers für die HANS KOHLER AG erkennbar (z.B. Einleitung von Zwangsvollstreckungsmassnahmen gegen den Käufer durch Dritte, inkl. Antrag auf Eröffnung eines Konkurs- oder vergleichbaren Verfahrens über den Käufer; Käufer nimmt Verhandlungen mit Gläubigern über einen aussergerichtlichen Vergleich oder einen Zahlungsaufschub auf; Käufer stellt ein Konkursbegehren resp. ein Begehren um Eröffnung eines vergleichbaren Verfahrens; etc.) oder kommt der Käufer seinen Zahlungsverpflichtungen ganz oder teilweise nicht nach, ist die HANS KOHLER AG berechtigt, weitere Lieferungen an ihn einzustellen und nur noch Zug um Zug gegen Bezahlung der offenen und fälligen Rechnungen zu liefern und/oder von jedem Vertrag zurückzutreten, unter welchem die Lieferung noch nicht erfolgt ist. Der Käufer verpflichtet sich, der HANS KOHLER AG alle daraus entstehenden Kosten und Schäden zu ersetzen.

8. Erfüllungsort, Versand und Verpackung

Erfüllungsort ist für Verkäufe ab Lager Schlieren/Dietikon, oder, nach Wahl der HANS KOHLER AG, Basel; für Werkslieferungen die jeweilige Einfuhrzollstation.

Lieferungen ins Ausland erfolgen EXW (Ex Works, Incoterms® 2010) ab Erfüllungsort.

Versand und Übergabe erfolgen auf Rechnung und Gefahr des Käufers. Die Wahl der zweckmässigen Versand- und Verpackungsart auf Kosten des Käufers bleibt der HANS KOHLER AG freigestellt.
Nutzen und Gefahr gehen in jedem Fall, auch bei Klauseln wie «franko Domizil», «CIF» etc., spätestens zum Zeitpunkt des Versandes ab Erfüllungsort auf den Käufer über.

9. Prüfung der Lieferung und Mängelrüge

Der Käufer hat die Lieferung sofort nach Erhalt mit aller Sorgfalt zu prüfen und Mängel innert spätestens 8 Tagen seit Erhalt zu rügen (Mängelrüge), andernfalls die Lieferung als genehmigt gilt.

Verdeckte Mängel hat der Käufer sofort nach deren Entdeckung zu rügen (Mängelrüge), andernfalls die Lieferung auch betreffend dieser Mängel als genehmigt gilt.

Alle Mängelrügen haben schriftlich und substantiiert (insb. genauer Beschrieb des Mangels) sowie unter Angabe des Zeitpunkts des Erkennens an zu erfolgen. Der Käufer hat den Nachweis zu erbringen, dass er das beanstandete Produkt tatsächlich bei der HANS KOHLER AG gekauft hat. Stellt sich im Nachhinein heraus, dass das beanstandete Produkt nicht von der HANS KOHLER AG verkauft wurde oder kein Mangel vorliegt, hat der Käufer die hieraus entstandenen Kosten (insb. Transport-, Weg-, Arbeits- und Materialkosten) der HANS KOHLER AG zu ersetzen.

Transportschäden sind unverzüglich gegenüber dem Beförderer zu rügen.

10. Produktdaten, zugesicherte Eigenschaften

Die in den Verkaufsunterlagen der HANS KOHLER AG (z.B. Kataloge, Online-Shop, Prospekte, Anzeigen, Abbildungsmaterial und Preislisten) angegebenen Gewichte, Abmessungen, Preise, Leistungs- und Verbrauchswerte sowie technischen und andere Angaben und beschriebenen Eigenschaften der Produkte liefern nur ungefähre Anhaltspunkte. Diese Angaben sind nicht bindend und keine zugesicherten Eigenschaften. Änderungen auch in Bezug auf das Dimensionsprogramm bleiben jederzeit vorbehalten. Die Zusicherung von bestimmten Produktangaben und -eigenschaften und der Eignung eines Produktes für einen bestimmten Verwendungszweck bedarf in jedem Fall einer speziellen schriftlichen Vereinbarung mit der HANS KOHLER AG.

11. Sachgewährleistung und Schadenersatz

Weist die Lieferung bei Gefahrenübergang einen Mangel auf, ist die **HANS KOHLER AG berechtigt, den Mangel nachzubessern (nach freiem Ermessen der HANS KOHLER AG durch Neulieferung und Rücknahme des mangelhaften Lieferung) oder vom Vertrag zurücktreten und dem Käufer den Fakturawert zurückzuerstatten (nach Wahl der HANS KOHLER AG).** Weitere Gewährleistungsansprüche des Käufers werden ausdrücklich wegbedungen (insb. auch der Verwendungsersatz nach Art. 208 Abs. 2 OR). Dies gilt nicht, soweit die HANS KOHLER AG wegen Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit oder wegen der schuldhaften Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit zwingend haftet.

Soweit nicht ausdrücklich anders vereinbart (oder gesetzlich zwingend vorgesehen), beträgt die Gewährleistungsfrist 12 Monate seit Abhol- bzw. Versandbereitschaft.

Die HANS KOHLER AG haftet ausschliesslich in folgenden Fällen auf Schadensersatz (gleich aus welchem Rechtsgrund und bei vertraglichen sowie ausservertraglichen Ansprüchen):

- bei Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit,
- bei schuldhafter Verletzung des Lebens, des Körpers, der Gesundheit,
- bei einem Anspruch des Bestellers aus Produkthaftung.

Darüber hinaus hat der Käufer gegen die HANS KOHLER AG keinen Anspruch auf Schadensersatz.

Die HANS KOHLER AG haftet nicht für durch ihre Hilfspersonen (insb. Transporteure, Arbeitnehmer) verursachte Schäden. Weiter schliesst die HANS KOHLER AG die Geschäftsherrenhaftung für leichte und mittlere Fahrlässigkeit aus.

Gewährleistung und Haftung sind insbesondere ausgeschlossen:

- bei verspäteter Prüfung der Lieferung oder Mängelrüge durch den Käufer;
- bei nur unerheblicher Abweichung von der vereinbarten Beschaffenheit, wie bspw. wenn der Wert oder die Gebrauchstauglichkeit der Lieferung für den gewöhnlichen Gebrauch nur unerheblich gemindert ist;
- bei Beeinträchtigung der Beschaffenheit der Lieferung infolge fehlerhafter oder nachlässiger Behandlung durch den Käufer;
- wenn der Sachmangel auf eine natürliche Abnützung, eine mangelhafte Wartung, eine übermässige oder unsachgemässe Beanspruchung, unsachgemässer Transport oder schädliche klimatische Verhältnisse zurückzuführen ist;
- wenn der Sachmangel auf ungeeignete Betriebsmittel oder anderweitige im Gefahrenbereich des Käufers liegende Ursachen zurückzuführen ist;
- bei unsachgemässen Veränderungen oder Instandsetzungsarbeiten an der Lieferung durch den Käufer.

12. Beratungstätigkeit

Alle Ratschläge, Empfehlungen, Auskünfte etc. der HANS KOHLER AG im Zusammenhang mit der Verwendung oder Eignung von Produkten («Auskünfte») erfolgen unentgeltlich und ohne Verpflichtung. **Die HANS KOHLER AG übernimmt für die Richtigkeit von Auskünften keine Gewähr oder Garantie.** Auskünfte sind auch keine zugesicherten Eigenschaften von Produkten.

Beratungsleistungen der Mitarbeiter der HANS KOHLER AG ersetzen daher nicht eine Beratung des Käufers durch qualifizierte Fachleute. **Der Käufer bleibt allein dafür verantwortlich, die Lieferung in eigener Verantwortung für den beabsichtigten Verwendungszweck zu prüfen. Die HANS KOHLER AG haftet nicht dafür, dass die Lieferung für die vom Käufer beabsichtigten Zwecke geeignet ist;** dies gilt auch, wenn der HANS KOHLER AG der Verwendungszweck des Käufers bekannt ist.

13. Datenschutzerklärung

Die Datenschutzerklärung der HANS KOHLER AG ist auf alle Geschäftsbeziehungen mit der HANS KOHLER AG anwendbar, massgebend ist die im Zeitpunkt des Vertragsschlusses auf der Website der HANS KOHLER AG (www.kohler.ch) veröffentlichte Version.

14. Anwendbares Recht und Gerichtsstand

Anwendbar ist **Schweizer Recht** unter Ausschluss des Übereinkommens der Vereinten Nationen über Verträge über internationalen Warenkauf vom 11. April 1980 (CISG).

Gerichtsstand für alle Streitigkeiten ist Zürich.

Zürich, September 2019
HANS KOHLER AG

© KOHLER 2021

Conditions générales de la société HANS KOHLER SA

[Traduction française du texte original (en allemand) des conditions générales de la société HANS KOHLER SA. Le texte allemand fait foi.]

1. Champ d'application, généralités

Les présentes conditions générales de vente et de livraison de la société HANS KOHLER SA ***(«Conditions générales»)*** *font partie intégrante de nos documents commerciaux (par ex. brochures publicitaires, catalogues de produits, listes de stock et de prix, magasin en ligne), devis et tout contrat passé entre la société HANS KOHLER SA et un acheteur. Elles s'appliquent à toutes les prestations fournies par HANS KOHLER SA du fait d'un contrat entre HANS KOHLER SA et un client.*

Fera foi la version en vigueur au moment de la conclusion du contrat et publiée sur le site Internet de HANS KOHLER SA (www.kohler.ch). Seules s'appliquent les présentes conditions générales. Tout ajout ou dérogation, en particulier les conditions générales d'achat de l'acheteur, ne sont applicables que si et dans la mesure où ils ont été expressément acceptés par écrit par HANS KOHLER SA.

2. Offres, devis

Les offres contenues dans nos documents commerciaux (y compris notre magasin en ligne) ainsi que les devis de la société HANS KOHLER SA sont toujours ***libres et sans engagement.*** *Les modifications de prix et la vente intermédiaire de produits en stock sont par conséquent toujours réservées. Les devis de la société HANS KOHLER SA ne l'engagent que s'ils contiennent un délai d'acceptation.*

La commande passée par l'acheteur a valeur d'offre contractuelle ferme. ***La société HANS KOHLER SA se réserve le droit de refuser une commande.*** *La société HANS KOHLER SA peut accepter l'offre contractuelle soit expressément (par ex. par une confirmation de commande) ou implicitement (par ex. par la livraison des objets à livrer).* ***La confirmation de commande du magasin en ligne de la société HANS KOHLER SA générée électroniquement indique seulement à l'acheteur que la commande a été reçue; elle n'a pas valeur d'acceptation de l'offre contractuelle. Si la commande n'est pas refusée dans les 5 jours ouvrables (jours d'ouverture de HANS KOHLER SA), le contrat de vente est conclu.***

3. Prix

Tous les prix s'entendent en francs suisses, nets, hors TVA et frais d'emballage et de transport. Dans la mesure où l'approvisionnement des produits commandés renchérit entre le moment de la conclusion du contrat et la date de livraison effective suite à des changements de situation avérés (en particulier dans le cas de taxes d'État/administratives, redevances, taxes, droits de douane, etc.), la société HANS KOHLER SA est en droit de formaliser cette augmentation et de la facturer à l'acheteur.

4. Marge de tolérance

La société HANS KOHLER SA s'efforce de livrer la quantité (poids) de produits commandés conformément à la commande de l'acheteur. La société HANS KOHLER SA est cependant contrainte de se réserver une tolérance de ±10 % après fabrication assortie d'une adaptation de prix correspondante. Des livraisons de 10 % supérieures ou inférieures ne pourront faire l'objet de réclamations de la part de l'acheteur sans accord explicite stipulant le contraire. Sera facturée la quantité effectivement livrée.

5. Délais de livraison

Les dates ou délais de livraison indiqués ou convenus sont indicatifs et libres. La société HANS KOHLER SA ne conclut ni d'opérations à date fixe ni de contrats pour lesquels le jour d'exécution a été déterminé selon l'art. 102 al. 2 CO.

La société HANS KOHLER SA est toujours en droit d'effectuer des livraisons partielles et peut facturer des livraisons partielles.

Si une livraison n'est pas disponible parce que la société HANS KOHLER SA n'a pas été livrée par ses propres fournisseurs ou que le stock est épuisé, la société HANS KOHLER SA est en droit de livrer des marchandises de qualité et de prix équivalents. Si cela n'est pas possible pour la société HANS KOHLER SA, celle-ci peut résilier le contrat ***(réserve de propre approvisionnement).***

Les retards de livraison dus à des évènements de force majeure ou à toute autre circonstance imprévisible ou échappant au contrôle de la société HANS KOHLER SA, qui entravent la livraison au point qu'elle ne puisse être raisonnablement exigée, voire la rendent impossible (par ex. troubles d'exploitation ou défauts de fabrication dans l'usine productrice, retards de livraison de l'usine productrice pour d'autres raisons, livraison défectueuse de l'usine productrice, perturbations dans les transports et dommages dus au transport, troubles d'exploitation dans la société HANS KOHLER SA, mesures prises par les autorités, etc.) donnent le droit à la société HANS KOHLER SA de prolonger en conséquence les délais de livraison ou d'annuler le contrat. ***Tout droit à dommages et intérêts de l'acheteur qui résulterait d'un retard de livraison est exclu (sous réserve de l'article 11 ci-dessous).***

6. Paiement et réserve de propriété

Les factures de société HANS KOHLER SA sont ***payables dans les 30 jours à compter de la date de facturation (date d'échéance),*** *net, sans escompte.* ***La société HANS KOHLER SA se réserve le droit d'exiger des paiements anticipés.***

Si l'acheteur ne respecte pas les délais de paiement, il sera ***en demeure de paiement sans lettre de rappel*** *et devra s'acquitter de frais de retard de 6 % par an sur les sommes échues. Tous les autres droits découlant de l'art 107 ss CO demeurent réservés.*

La livraison demeure propriété de la société HANS KOHLER SA jusqu'à son paiement intégral (réserve de propriété).

Le paiement de sommes dues ne peut en aucun cas être refusé par l'acheteur ***(interdiction de compensation).*** *Les retards de livraison ne donnent pas droit à l'acheteur de cesser le paiement des factures dues à la société HANS KOHLER SA.*

7. Solvabilité et vérification de solvabilité

La société HANS KOHLER SA se réserve le droit de déterminer la solvabilité ou les risques de défaillance et de sauvegarder ainsi ses intérêts légitimes, de transmettre les données de l'acheteur aux autorités, banques et entreprises chargées du recouvrement des créances ou des informations de crédit (par ex. Creditreform) dans la période précédant la conclusion du contrat ou pendant son exécution et d'obtenir à cette fin des informations concernant l'acheteur.

Si, après conclusion du contrat, une dégradation de la situation financière de l'acheteur devient perceptible pour la société HANS KOHLER SA (par ex. introduction de mesures d'exécution forcée par des tiers, y compris demande d'ouverture de procédure de faillite ou de procédure de même nature à l'encontre de l'acheteur; l'acheteur entre en négociations avec des créanciers sur un redressement extrajudiciaire ou un report de paiement; l'acheteur dépose une requête de faillite ou une requête d'ouverture de procédure de même nature; etc.), ou si l'acheteur ne s'acquitte pas, en tout ou en partie, de ses obligations de paiement, la société HANS KOHLER SA est en droit de suspendre les livraisons qui lui sont destinées et de ne plus effectuer de livraisons qu'au coup par coup contre paiement des factures dues et échues, et/ou de dénoncer tout contrat pour lequel la livraison n'a pas encore été effectuée. L'acheteur s'engage à indemniser la société HANS KOHLER SA de tous les frais et dommages en résultant.

8. Lieu d'exécution, expédition et emballage

Le lieu d'exécution pour les ventes départ entrepôt sera Schlieren/Dietikon ou, selon le choix de la société HANS KOHLER SA, Bâle, et le poste de douane d'importation respectif pour les livraisons d'usine.

Les livraisons à l'étranger s'effectuent EXW (Ex Works, Incoterms® 2010) depuis le lieu d'exécution.

L'expédition et la remise se font aux frais et risques de l'acheteur. Le choix du mode d'expédition et d'emballage aux frais de l'acheteur appartient à la société HANS KOHLER SA.

La jouissance et les risques ne seront en tout état de cause transférés à l'acheteur au plus tard qu'au moment de l'expédition au départ du lieu d'exécution, nonobstant d'éventuelles clauses telles que «franco domicile», «CIF», etc.

9. Inspection de la livraison et notification des défauts

Il incombe à l'acheteur de vérifier soigneusement la livraison dès réception et de faire parvenir au plus tard dans les 8 jours suivant la réception (notification des défauts), faute de quoi la livraison est réputée approuvée.

Les vices cachés doivent être signalés par l'acheteur immédiatement après leur découverte (réclamation pour vices cachés), faute de quoi la livraison est également réputée approuvée en ce qui concerne ces vices.

Toute notification de défaut doit être faite par écrit et motivée (en particulier une description précise du défaut) et doit indiquer le moment de sa découverte. L'acheteur doit apporter la preuve qu'il a effectivement acheté le produit faisant l'objet de la réclamation auprès de la société HANS KOHLER SA. S'il est établi ultérieurement que le produit faisant l'objet de la réclamation n'a pas été vendu par la société HANS KOHLER SA ou qu'il ne présente aucun défaut, le client doit rembourser à la société HANS KOHLER SA les frais qui en résultent (en particulier les frais de transport, de déplacement, de main-d'œuvre et de matériel).

Les dommages dus au transport doivent faire l'objet d'une réclamation immédiate auprès du transporteur.

10. Caractéristiques du produit, caractéristiques garanties

Les poids, dimensions, prix, données concernant la puissance et la consommation ainsi que les données techniques et autres données et propriétés décrites des produits mentionnés dans les documents de vente de la société HANS KOHLER SA (par ex. catalogues, boutique en ligne, brochures, publicités, illustrations et listes de prix) ne fournissent que des indications approximatives. Ces données ne sont pas contraignantes et n'ont pas de caractéristiques garanties. La société HANS KOHLER SA se réserve le droit d'apporter des modifications au programme dimensionnel à tout moment. La garantie de certaines informations et propriétés du produit et l'adéquation d'un produit à un usage déterminé nécessitent en tout état de cause un accord écrit particulier avec la société HANS KOHLER SA.

11. Garantie matérielle et indemnisation

Si, au moment du transfert de risques, la livraison présente un défaut, ***la société HANS KOHLER SA est en droit de remédier au défaut (à la seule discrétion de la société HANS KOHLER SA par une nouvelle livraison et le retour de la livraison défectueuse) ou de résilier le contrat et de rembourser la valeur facturée à l'acheteur (au choix de la société HANS KOHLER SA).*** *Tout autre droit de garantie de l'acheteur est expressément exclu (en particulier également l'indemnité des dépenses occasionnées pour l'acheteur selon l'art. 208 al. 2 CO). Ceci ne s'applique pas si la société HANS KOHLER SA est responsable d'une faute intentionnelle ou d'une négligence grave ou d'une atteinte fautive à la vie, au corps ou à la santé.*

Sauf convention contraire expresse (ou disposition légale impérative), le délai de garantie est de 12 mois à compter de la date de mise à disposition pour enlèvement ou expédition.

HANS KOHLER SA n'est responsable des dommages et intérêts que dans les cas suivants (quelle que soit la base juridique et pour les droits contractuels et non contractuels):

- *en cas de préméditation ou de négligence grave,*
- *en cas d'atteinte fautive à la vie, à l'intégrité physique ou à la santé,*
- *en cas de réclamation du client résultant de la responsabilité sur les produits.*

En outre, l'acheteur n'a aucun droit à des dommages et intérêts à l'encontre de la société HANS KOHLER SA.

La société HANS KOHLER SA n'est pas responsable des dommages causés par ses auxiliaires (en particulier les transporteurs, les employés). De plus, la société HANS KOHLER SA décline toute responsabilité en cas de négligence légère ou moyenne.

La garantie et la responsabilité sont en particulier exclues:

- *en cas de retard dans l'inspection de la livraison ou de réclamation de défauts par l'acheteur;*
- *en cas d'écart négligeable par rapport à la qualité convenue, par exemple si la valeur ou l'utilité de la livraison pour une utilisation normale n'est que très peu réduite;*
- *si la qualité de la livraison est altérée à la suite d'un traitement défectueux ou négligent de la part de l'acheteur;*
- *si le défaut matériel est dû à l'usure naturelle, à un entretien inadéquat, à une utilisation excessive ou inadéquate, à un transport inadéquat ou à des conditions climatiques nuisibles;*
- *si le défaut matériel est imputable à du matériel d'exploitation inadapté ou à d'autres causes dans le cadre des risques de l'acheteur;*
- *en cas de modifications ou de travaux de réparation incorrects sur la livraison par l'acheteur.*

12. Activité de conseil

Tous les conseils, recommandations, renseignements, etc. de la société HANS KOHLER SA en rapport avec l'utilisation ou l'adéquation de produits («informations») sont donnés gratuitement et sans engagement. ***La société HANS KOHLER SA ne se porte pas garante de l'exactitude des informations.*** *Les informations ne constituent aucune garantie quant aux propriétés d'un produit.*

Les prestations de conseil fournies par les collaborateurs de la société HANS KOHLER SA ne remplacent donc pas la consultation de l'acheteur auprès d'experts qualifiés. ***L'acheteur reste seul responsable du contrôle de la livraison pour l'usage auquel elle est destinée. La société HANS KOHLER SA n'est pas responsable de l'adéquation de la livraison aux fins prévues par l'acheteur;*** *ceci vaut également si la société HANS KOHLER SA connaît l'utilisation prévue par l'acheteur.*

13. Protection des données

La déclaration de protection des données de la société HANS KOHLER SA s'applique à toutes les relations commerciales avec la société HANS KOHLER SA. La version publiée sur le site Internet de la société HANS KOHLER SA (www.kohler.ch) au moment de la conclusion du contrat fait foi.

14. Droit applicable et for

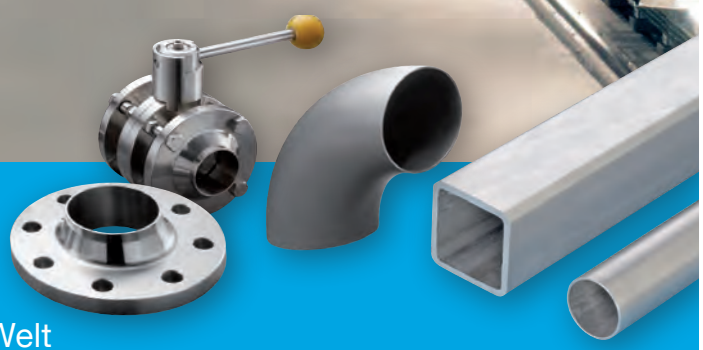
Le droit applicable est le ***droit suisse,*** *à l'exclusion de la Convention des Nations Unies sur les contrats de vente internationale de marchandises du 11 avril 1980 (CISG).*

Pour tout différend, le for juridique est Zurich.

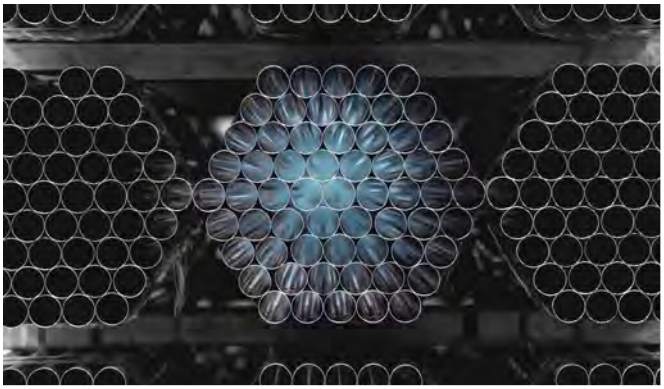
Zurich, septembre 2019 *HANS KOHLER SA*

© KOHLER 2021

HANS KOHLER SA, Claridenstrasse 20, case postale, CH-8022 Zurich, téléphone 044 207 11 11, fax 044 207 11 10



Das vielfältigste INOX-Lager der Schweiz:
Freuen Sie sich auf eine individuelle
Beratung. Entdecken Sie jetzt die Edelstahl-Welt
der HANS KOHLER AG.
Mehr unter www.kohler.ch



© KOHLER 2021

HANS KOHLER SA, Claridenstrasse 20, case postale, CH-8022 Zurich, téléphone 044 207 11 11, fax 044 207 11 10