

GRAVIS

amazing strength

GRAVIS Domaine de connaissances

Cahier 1 : L'acier inoxydable
dans la construction

Dr. Stefan Lips



Contenu

Propriétés et classification	4
<i>Structures métallurgiques</i>	4
<i>Composition chimique</i>	4
Types de corrosion	5
<i>Corrosion générale</i>	5
<i>Corrosion par piqûres</i>	5
<i>Corrosion par fissures</i>	5
<i>Corrosion fissurante sous contrainte</i>	5
<i>Corrosion bimétallique (corrosion de contact)</i>	5
Indice de résistance à la piqûre (PREN)	6
Désignation numérique	6
Classes de résistance à la corrosion	6
Propriétés mécaniques	7
Exigences en matière de résistance à la corrosion	8
Littérature	10
<i>Normes</i>	10
<i>Littérature sur l'histoire de l'acier inoxydable</i>	10
<i>Littérature sur les propriétés et la classification des aciers inoxydables</i>	10

Histoire

L'histoire de l'acier inoxydable est fascinante et remonte au 19^e siècle. En général, la découverte de l'acier inoxydable ne peut pas être attribuée à une seule personne ou à une seule équipe de chercheurs. Comme c'est souvent le cas, plusieurs personnes ont été impliquées et des découvertes ont été faites indépendamment les unes des autres. En outre, il faut tenir compte du fait que la découverte du comportement de l'acier inoxydable n'est qu'une partie du processus. Un facteur essentiel dans le développement de l'acier inoxydable est également la fabrication et les propriétés mécaniques qui ont permis l'utilisation de ce matériau. C'est pourquoi nous mettons ici en avant les personnes qui ont contribué de manière significative au développement de l'acier inoxydable, tout en sachant que cette liste n'est pas exhaustive. Les différentes sources de ce texte sont indiquées dans la bibliographie.

En 1821, le minéralogiste et géologue français Pierre Berthier s'est rendu compte que l'ajout de chrome rendait l'alliage étudié plus résistant à la rouille. Le matériau expérimental était toutefois trop fragile pour une application pratique. En 1872, John T. Woods et John Clark ont breveté un alliage fer-chrome avec une teneur en chrome de 35%. La découverte du Français Brustlein en 1875, selon laquelle la teneur en carbone d'un alliage à forte teneur en chrome doit être inférieure à 0,15 %, a constitué une étape importante dans la fabrication d'aciers inoxydables. Cependant, à cette époque, cela n'était pas techniquement réalisable. Cela n'a changé que lorsque l'Allemand Hans Goldschmidt a développé un procédé aluminothermique pour produire des métaux purs.

Au début du 20^e siècle, plusieurs scientifiques se sont penchés sur la thématique des aciers inoxydables, comme le Français Léon Guillet, l'Anglais Giesen ou le Français Alber Protevien. En 1911, l'Allemand Monnartz a décrit pour la première fois la passivité des alliages fer-chrome.

Presque simultanément, en 1912, des alliages ont été développés, qui pouvaient également être traités et fabriqués. Cela a conduit aux premières applications commerciales des aciers inoxydables. C'est pourquoi l'année 1912 est également considérée comme l'année de naissance de l'acier inoxydable actuel. Toutefois, la littérature anglophone cite volontiers Harry Brearley de Sheffield comme "inventeur", tandis que la littérature allemande reconnaît plutôt les Allemands Benno Strauss et Eduard Mauer, qui ont mis en œuvre l'acier inoxydable dans l'entreprise Krupp.

Harry Brearley travaillait aux Brown Firth Laboratories lorsqu'il a mis au point en 1913 un acier contenant 12,8 % de chrome et 0,24 % de carbone. Il ne cherchait cependant pas un acier inoxydable, mais un acier pour les canons de fusil qui s'éroderait moins rapidement. Lorsqu'il a découvert que cet alliage résistait bien aux attaques chimiques, il a rapidement compris le potentiel de cet acier. La première application de ce nouveau développement a été les lames de couteau, ce qui a constitué la première utilisation commerciale de l'acier inoxydable.

Benno Strauss, qui occupait un poste de direction, et Eduard Mauer, l'un de ses collaborateurs chez Krupp, travaillaient également sur les alliages pour l'acier inoxydable. En 1912, la société Krupp a déposé deux brevets pour la fabrication d'objets en acier inoxydable. En particulier, deux mélanges expérimentaux, le mélange expérimental 2A (V2A) et le mélange expérimental 4A (V4A), d'alliages austénitiques de chrome et de nickel devaient trouver leur place dans la pratique.

Pendant la Première Guerre mondiale et, plus tard, pendant la Seconde Guerre mondiale, la demande d'acier inoxydable a augmenté rapidement. La recherche dans ce domaine s'est intensifiée et de nouveaux alliages ont été développés pour répondre aux besoins spécifiques des différents secteurs industriels. Les aciers austénitiques-ferritiques (Duplex) ont été l'un de ces développements. Ce développement a commencé en 1927 avec Bain et Griffiths aux États-Unis. Ils ont décrit des alliages austénitiques-ferritiques contenant 23 % à 30 % de chrome et 1,2 % à 9,7 % de nickel. Leur publication ne contenait toutefois aucune information sur les propriétés des matériaux. En 1930, Avesta Ironworks en Suède a développé deux aciers austénitiques-ferritiques. L'objectif était de réduire la sensibilité à la corrosion intergranulaire. Les alliages chrome-nickel développés y sont parvenus. En outre, ces aciers présentaient une limite d'élasticité et une résistance à la traction supérieures à celles des aciers austénitiques.



Image 1: sommet du Chrysler Building à New York City

L'une des premières et des plus spectaculaires applications de l'acier inoxydable dans la construction est la structure de la façade du Chrysler Building, inauguré en 1930 à New York (Photo 1). Le sommet de ce bâtiment de style Art déco a été recouvert de matériau NIROSTA de la société Krupp, fourni à l'époque par des détenteurs de licence américains. Une autre construction spectaculaire avec un revêtement en acier inoxydable est le Gateway Arch à St. Louis, Missouri, inauguré en 1965. Cette arche de 192 mètres de haut sur le Mississippi est entièrement recouverte d'acier inoxydable (voir la photo de couverture).

Au cours des décennies suivantes, des aciers inoxydables de plus en plus performants ont été développés et utilisés dans une multitude d'applications. Aujourd'hui, on trouve des aciers inoxydables dans l'industrie alimentaire, dans le traitement chimique, dans la construction, dans la technique médicale et dans de nombreux autres domaines. Les progrès technologiques ont également permis de développer des aciers inoxydables résistants à la chaleur et extrêmement résistants à la corrosion, qui peuvent être utilisés dans des environnements extrêmes tels que l'espace.

Bien que l'acier inoxydable soit très durable et polyvalent, des efforts sont constamment déployés pour l'améliorer encore. La recherche se concentre sur le développement de procédés de fabrication plus respectueux de l'environnement, d'alliages moins coûteux et sur la réduction de l'utilisation de matières premières rares. L'avenir de l'acier inoxydable sera probablement marqué par des innovations dans la science des matériaux et des technologies de production durables.

Propriétés et classification

Structures métallurgiques

Les aciers inoxydables peuvent présenter différentes structures métallurgiques en fonction de leur composition exacte et des procédés de fabrication utilisés. Selon la structure métallurgique, on distingue les principaux groupes d'aciers ferritiques, martensitiques, austénitiques-ferritiques (Duplex) et austénitiques. Pour les éléments porteurs dans le bâtiment, on utilise principalement des aciers austénitiques et des aciers austénitiques-ferritiques. Ces aciers se caractérisent par une bonne usinabilité et de bonnes propriétés mécaniques.

Composition chimique

L'acier inoxydable est un alliage conçu spécialement pour résister à la corrosion. Les principaux composants de l'acier inoxydable sont le fer, le chrome, le nickel et le molybdène. L'acier inoxydable contient au moins 11 % de chrome. Ce nombre relativement élevé d'atomes de chrome réagit avec l'oxygène, par exemple de l'air ambiant, pour former une fine couche protectrice d'oxyde de chrome à la surface de l'acier. Même après l'altération de cette couche protectrice, par exemple par un traitement mécanique, la couche protectrice se reforme au contact de l'air ou d'un autre milieu oxydant. Comme cette couche protectrice conduit à un état passif du matériau au sens chimique du terme, elle est également appelée couche passive. Cette couche passive empêche la progression de l'oxydation et donc la rouille de l'acier. L'étendue et la durabilité de la couche passive dépendent en premier lieu de la composition de l'alliage de l'acier.

Outre le chrome, les aciers inoxydables contiennent généralement du molybdène, qui améliore la résistance aux influences corrosives, par exemple dans un environnement salin. Outre la résistance à la corrosion superficielle générale, le molybdène améliore notamment la résistance à la corrosion par piqûres et à la corrosion caverneuse.

Pour obtenir une structure austénitique à température ambiante dans l'acier inoxydable, on ajoute du nickel à l'acier. Cela confère à l'acier inoxydable une plus grande malléabilité. Bien que le nickel ne soit pas pris en compte dans la détermination de la somme active et donc dans la classification de la résistance à la corrosion, le nickel a un effet positif sur le comportement de repassivation et réduit également la vitesse

d'attaque par la corrosion par piqûres.

Les autres éléments présents dans les aciers inoxydables sont le carbone et l'azote. La teneur en carbone est maintenue aussi basse que possible dans les aciers inoxydables, car elle a un effet négatif sur le comportement mécanique de l'acier inoxydable, en particulier à des températures élevées. Comme le nickel, l'azote est un agent austénitique. En outre, il peut augmenter considérablement la résistance à la corrosion par piqûres des aciers fortement alliés. C'est pourquoi la teneur en azote a également une influence importante lors de la détermination de l'indice de résistance à la piqûre.

Types de corrosion

Corrosion générale

On parle de corrosion générale lorsque la corrosion est uniforme sur toute la surface. Dans le cas de l'acier inoxydable, une corrosion uniforme de la surface, comme c'est le cas pour l'acier au carbone, est plutôt rare. Toutefois, la couche de protection passive de l'acier inoxydable peut être attaquée par des produits chimiques, notamment des acides, ce qui peut entraîner une corrosion sur toute la surface.

Corrosion par piqûres

Contrairement à la corrosion générale, la corrosion par piqûres est très localisée. La corrosion par piqûres se produit aux endroits où la couche passive est affaiblie ou endommagée. Cela peut par exemple être dû à des ions de chlorure. Dans les cas favorables, par exemple lorsque les ions de chlorure sont éliminés par nettoyage, une repassivation peut se produire. Si ce n'est pas le cas, la corrosion par piqûres continue de progresser. Plus le trou est profond, moins il est possible d'éliminer les ions de chlorure et donc d'obtenir une repassivation. Comme la vitesse de corrosion dépend du rapport de surface entre l'anode et la cathode, la corrosion peut dans ces cas progresser très rapidement. La petite surface active des trous constitue alors l'anode et la surface restante la cathode.

Corrosion par fissures

La corrosion par fissure est également un type de corrosion localisée. L'apport d'oxygène à l'endroit attaqué est fortement limité, ce qui exclut toute repassivation. La corrosion peut donc se propager à grande vitesse dans l'environnement. La forme de la fissure est également déterminante. Plus la fissure est étroite et profonde, plus le risque de corrosion de la fissure est important.

Corrosion fissurante sous contrainte

Dans le cas de la corrosion fissurante sous contrainte, il n'y a généralement pas de corrosion visibles. Elle se produit lorsqu'en plus de l'attaque chimique, des tensions mécaniques, notamment des efforts de traction, apparaissent. Ces tensions font croître la fissure et accélèrent ainsi la corrosion. Outre l'environnement chimique et les contraintes mécaniques, le matériau joue également un rôle essentiel. Ainsi, les aciers Duplex sont plus résistants à la corrosion fissurante sous contrainte provoquée par le chlore que les aciers austénitiques.

Corrosion bimétallique (corrosion de contact)

La corrosion bimétallique résulte d'une réaction électrochimique entre deux métaux différents. Cela peut par exemple se produire lors de l'association d'un acier au carbone avec un acier inoxydable. Dans ce cas, les électrons se déplacent du métal le moins noble vers le métal le plus noble. L'anode, le métal le moins noble, se corrode alors plus rapidement que si les deux métaux n'étaient pas en contact. Outre la différence de potentiel des métaux, le rapport de surface entre l'anode et la cathode est également déterminant pour la vitesse de corrosion. Par exemple, les vis en acier inoxydable en contact avec des plaques d'ancrage en acier au carbone sont moins critiques que les vis en acier au carbone en contact avec des plaques d'ancrage en acier inoxydable. La corrosion de contact joue également un rôle là où on ne l'attendrait normalement pas. Les plastiques renforcés de fibres de carbone (PRFC), présentés comme des matériaux de construction durables, en sont un exemple. Dans ce cas, il faut toutefois tenir compte du fait que la corrosion par contact peut se produire lorsque les fibres de carbone entrent en contact avec l'armature en acier. L'armature en PRFC est donc durable, mais elle peut entraîner une détérioration de l'armature en acier, qui est par exemple présente dans l'élément de raccordement ou qui assure le raccordement.

Indice de résistance à la piquûre (PREN)

L'indice PREN (Pitting Resistance Equivalent Number) est utilisé pour évaluer la résistance à la corrosion par piquûres. Les éléments les plus importants pour la prévention de la corrosion par piquûres sont le chrome, le molybdène et l'azote. Les proportions individuelles de ces éléments sont donc également utilisées pour calculer le total d'efficacité.

$$\text{PREN} = \%Cr + 3.3 \cdot \%Mo + n \cdot \%N$$

où $n = 0$ pour les aciers ferritiques, $n = 16$ pour les aciers duplex et $n = 30$ pour les aciers austénitiques

Plus l'indice PREN est élevé, plus la résistance à la corrosion par piquûre est importante.

Désignation numérique

La normalisation européenne définit un numéro qui identifie clairement le matériau. Le premier chiffre définit le groupe principal de matériaux. Les matériaux en acier ont le chiffre 1. Les chiffres suivants définissent le numéro de la nuance (groupe d'acier) et dépendent du groupe principal correspondant. Les numéros de nuance 40 à 45 s'appliquent aux aciers inoxydables. 40 désigne les aciers inoxydables avec $< 2,5 \% Ni$, 41 les aciers inoxydables avec $< 2,5 \% Ni$ avec Mo, 43 les aciers inoxydables avec $\geq 2,5 \% Ni$, 44 les aciers inoxydables avec $\geq 2,5 \% Ni$ avec Mo et 45 les aciers inoxydables avec additifs spéciaux. Les derniers chiffres sont des numéros de comptage et n'ont pas de rapport direct avec le matériau ou la composition. Pour les aciers inoxydables, la norme EN 10088 définit la composition chimique des différents alliages par rapport à la désignation numérique du matériau.

Classes de résistance à la corrosion

Afin de simplifier l'utilisation des aciers inoxydables dans la construction, des classes de résistance à la corrosion ont été établies. Des classifications sont présentées dans la norme EN 1993-1-4:2020, dans le cahier technique SIA 2029:2013 et dans la norme SIA 179:2019. La répartition en cinq classes de résistance à la corrosion se base à chaque fois sur la somme d'action des différents matériaux. Le tableau suivant montre la classification selon EN 1993-1-4:2020.

Classe de résistance à la corrosion				
I	II	III	IV	V
1.4003	1.4301	1.4401	1.4439	1.4565
1.4016	1.4307	1.4404	1.4462	1.4529
1.4512	1.4311	1.4435	1.4539	1.4547
	1.4541	1.4571	1.4662	1.4410
	1.4318	1.4429		1.4501
	1.4306	1.4432		1.4507
	1.4567	1.4162		
	1.4482	1.4362		
	1.4621	1.4062		
	1.4622	1.4578		
	1.4509			
	1.4521			
	1.4420			

Tableau 1: Répartition des matériaux dans les classes de résistance à la corrosion correspondantes selon SN EN 1993-1-4:2020

Propriétés mécaniques

Comme il existe une multitude d'alliages différents pour les aciers inoxydables par rapport aux aciers de construction et d'armature normaux (acier au carbone/acier noir), il est difficile de définir des classes de résistance précises. En particulier, des traitements ultérieurs supplémentaires, comme l'écroutissage, permettent d'obtenir des propriétés mécaniques différentes, même pour un même matériau. Bien que les normes EN 10088-2 à EN 10088-5 indiquent des valeurs minimales pour la limite d'élasticité et la résistance à la traction, des valeurs nettement plus élevées peuvent être atteintes dans certaines circonstances. En règle générale, ce ne sont donc pas les valeurs de résistance normatives qui sont déterminantes, mais les prescriptions données au fournisseur. Dans ces conditions, il est impératif d'assurer une surveillance continue pour assurer la qualité. En particulier pour les aciers d'armature inoxydables, le contrôle des propriétés mécaniques après l'usinage (barre droite, façonnage) est décisif et doit être surveillé en conséquence.

Cette diversité de valeurs ne concerne pas seulement la limite d'élasticité et la résistance à la traction, mais aussi le module d'élasticité. Il convient toutefois de noter que la variation est moins importante. En principe, les aciers inoxydables sont un peu moins rigides que les aciers au carbone. En général, le module d'élasticité se situe dans une fourchette de 160 à 180 GPa.

Les aciers inoxydables ne présentent pas de plateau d'écoulement, mais suivent une courbe arrondie. La contrainte d'écoulement calculée est donc généralement définie par la limite d'élasticité de 0.2%. Lors de l'utilisation comme acier d'armature, il faut tenir compte du fait que la courbe de résistance à la traction est souvent très plate. C'est pourquoi l'allongement sous charge ultime ne peut pas toujours être déterminé avec précision. Dans certaines circonstances, la contrainte maximale (résistance à la traction) déterminée lors de l'essai de traction se trouve déjà à de très faibles déformations, ce qui peut être compris comme un comportement non ductile. Cependant, contrairement aux aciers au carbone, il n'y a pas de diminution importante de la résistance, mais celle-ci reste sur un plateau jusqu'à ce que l'allongement à la rupture soit atteint, ce qui représente au moins 15 % et en général plus de 20 %. Ces aciers présentent donc une très grande capacité de déformation qui, dans les systèmes de béton armé statiquement indéterminés, permet des redistributions de moment dans la zone limite et donc un comportement structural ductile.

L'image 2 montre des exemples schématiques de différents aciers. La courbe montre un acier d'armature courant B500B avec un plateau d'écoulement correspondant. Les courbes b et c montrent respectivement le comportement contrainte-déformation d'aciers Duplex qui ne présentent pas de plateau d'écoulement. La forme de la courbe peut également varier en fonction de la fabrication, notamment en ce qui concerne l'allongement à la contrainte maximale.

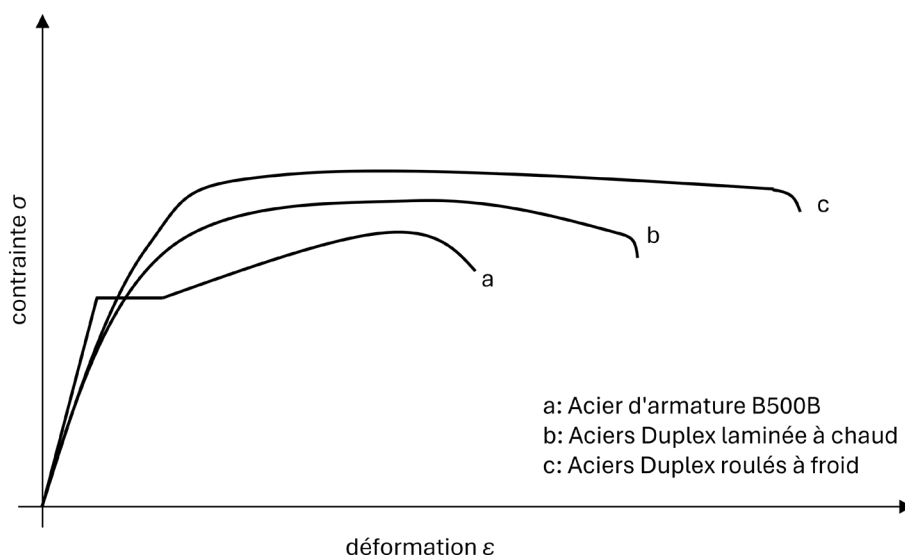


Image 2 : Exemples de relations contrainte-déformation de différents aciers

Exigences en matière de résistance à la corrosion

Il existe des bases normatives concernant les exigences de l'acier inoxydable en matière de résistance à la corrosion. Une distinction est faite selon que l'acier est exposé à l'atmosphère ou qu'il est utilisé comme acier d'armature dans le béton. Pour les aciers inoxydables exposés à l'atmosphère, les exigences peuvent être déterminées selon SIA 179:2019 et SN EN 1993-1-4:2020. Si l'acier est utilisé comme acier d'armature entièrement noyé dans le béton, les exigences sont définies dans le Cahier technique SIA 2029:2013.

Le Cahier technique SIA 2029:2013 règle en particulier l'enrobage d'armature nécessaire en raison des exigences de durabilité. Selon le Cahier technique SIA 2029:2013, l'enrobage des armatures peut être réduit en cas d'utilisation d'acier d'armature inoxydable, en fonction du type de béton et de la classe d'exposition. Il convient toutefois de noter que les enrobages minimaux indiqués dans le tableau ci-dessous se réfèrent à la durabilité. Pour des raisons de liaison, de bétonnage et de résistance au feu, des enrobages d'armatures plus importants peuvent être nécessaires.

	Type de béton	Classe d'exposition	c _{nom} [mm]	c _{red} [mm]			
				KWK I	KWK II	KWK III	KWK IV
Bâtiment	A	XC2(CH)	35	20	20	20	20
	B	XC3(CH)	35	20	20	20	20
	C	XC4(CH), XF1(CH)	40	20	20	20	20
Génie civil	D + E	XC4(CH), XD1(CH), XF2/4(CH)	40	30	20	20	20
		XC4(CH)	55	55	55	30	20

Tableau 2: Enrobage minimal des armatures selon SIA 2029:2013

Si l'acier inoxydable n'est pas entièrement noyé dans le béton, comme c'est le cas pour les ancrages, les tirants ou les tirants d'ancrage, les exigences relatives à l'acier inoxydable exposé à l'atmosphère s'appliquent. Des indications à ce sujet figurent dans la norme SN EN 1993-1-4:2020 et dans la norme SIA 179:2019.

L'annexe A de la norme SN EN 1993-1-4:2020 permet de déterminer le facteur de résistance à la corrosion (CRF). Différentes influences sont prises en compte. Pour les éléments de construction situés à l'intérieur, on peut en principe appliquer le facteur de résistance à la corrosion CRF = 1. Sont considérées comme des espaces intérieurs les zones qui sont ventilées ou chauffées ou qui se trouvent à l'intérieur de portes fermées. Les piscines couvertes constituent une exception et doivent être considérées séparément. En outre, les éléments de construction situés dans des zones présentant de grandes ouvertures, comme les parkings, doivent être considérés comme des espaces extérieurs.

Pour les zones extérieures, le facteur de résistance à la corrosion est défini par la somme des termes F1, F2 et F3.

$$CRF = F1 + F2 + F3$$

F1 tient compte de l'exposition aux chlorures de l'eau salée ou au sel de déneigement. Dans les zones côtières, la valeur F1 dépend de la distance à la mer et de la salinité de la mer en question. Ainsi, dans les zones côtières -distance < 250 m- par rapport à la mer sur les côtes de la Baltique et de la mer du Nord en

Allemagne, $F1 = -10$ et pour les zones côtières près de l'Atlantique ou de la Méditerranée, $F1 = -15$. Loin des zones côtières, la distance par rapport aux routes sur lesquelles du sel de déneigement est utilisé est déterminante pour la détermination de $F1$. Dans ces cas, on applique :

Distance par rapport à la route avec utilisation de sel de déneigement	
> 100 m	$F1 = 0$
> 10 m und ≤ 100 m	$F1 = -3$
≤ 10 m	$F1 = -7$
Dans les tunnels routiers, $F1 = -10$	

$F2$ prend en compte la concentration de dioxyde de soufre dans l'air. En raison de la législation sur la protection de l'environnement, cette valeur est généralement faible en Europe centrale, de sorte que $F2 = 0$, ce qui correspond à une valeur moyenne de la concentration de gaz inférieure à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour une valeur moyenne de la concentration de gaz de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $F2 = -5$ et pour $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $F2 = -10$.

Le troisième terme $F3$ tient compte de la durée pendant laquelle les substances nocives peuvent rester à la surface de l'acier. Si la pièce est entièrement exposée à la pluie, de sorte que les éventuelles substances nocives sont éliminées naturellement, $F3 = 0$. Si ce n'est pas le cas, mais qu'un concept de nettoyage spécifique est appliqué, $F3 = -3$. Dans tous les autres cas, $F3 = -7$.

Le facteur de résistance à la corrosion (CRF) permet de déterminer la classe de résistance à la corrosion (CRC) requise.

CRF	CRC
$\text{CRF} = 1$	I
$0 \geq \text{CRF} > -7$	II
$-7 \geq \text{CRF} > -15$	III
$-15 \geq \text{CRF} \geq -20$	IV
$-20 > \text{CRF}$	V

La norme SIA 179:2019 donne également un aperçu des classes de résistance à la corrosion à utiliser.

Lieu d'utilisation, actions subies, degré d'exposition aux intempéries (exemples d'utilisation)	Classe de résistance à la corrosion
Locaux fermés et secs (locaux d'habitation, bureaux)	I
Locaux humides (salles de bains, buanderies)	II
Climat extérieur doux ; exposé aux intempéries (fixations sur des toits ou des balcons)	III
Climat extérieur, à l'abri des intempéries (façades ventilées, intrados des ponts en dehors de la zone des brouillards salins au voisinage des chaussées)	IV
Atmosphère industrielle, exposition aux intempéries (machines, engins, appareils ou éléments de construction comme les parapets, bordures, extrados et intrados de pont, exposés aux projections d'eau ou brouillard salins au voisinage des chaussées)	IV
Milieux agressifs (piscines, tunnels, stations d'épuration)	V

Tableau 3: Domaines d'utilisation des matériaux selon SIA 179:2019

Littérature

Normes

SIA 179:2019, Fixations dans le béton et la maçonnerie, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 2019, 76 pp.

SIA 2029:2013, Aciers d'armature inoxydables, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 2013, 20 pp.

SN EN 1993-1-4:2020 (avec A1 + A2), Eurocode 3 : Calcul des structures en acier - Partie 1-4 : Règles générales - Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 2020

Littérature sur l'histoire de l'acier inoxydable

Cobb, H. M., The History of Stainless Steel, ASM International, 2010, 360 p.

Keller, A., Die Erfindung der nichtrostenden Stähle vor 60 Jahren, Schweizerische Bauzeitung, 91. Jahrgang, Heft 23, Zürich, 1973, pp. 549 – 554

Rasch, M., 100 Jahre nichtrostender Stahl, Klartext Verlag, Essen, 2012, 288 pp.

Ulbricht, D., Von der Entwicklung nichtrostender Stähle bis zur aktuellen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 «Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen» vom 20. April 2009, DIBt Mitteilungen 4/2009, Berlin, 2009, pp. 103-109

Littérature sur les propriétés et la classification des aciers inoxydables

Beddoes J., Parr, J. G., Introduction to Stainless Steels 3rd Edition, ASM International, 1999, 315 pp.

Merkblatt 803, Was ist nichtrostender Stahl?, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 6 pp.

Merkblatt 820, Orientierungshilfe zur Werkstoffauswahl nichtrostender Stähle, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 12 pp.

Sonderdruck 863, Bemessungshilfen zu nichtrostenden Stählen im Bauwesen vierte Auflage, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 2017 262 pp.

GRAVIS

amazing strength



GRAVIS AG
Birchstrasse 17, 3186 Düringen



+41 26 492 30 10



info@gravis.swiss



www.gravis.swiss

