



Fiche technique CT 003

Galvanisation à chaud et systèmes duplex

Sommaire

1	Introduction	3	7	Revêtements	17
			7.1	Obligation d'information	17
			7.2	Construction adaptée au revêtement	17
			7.3	Meulage fin	18
			7.4	Test de réception après le meulage fin	18
			7.5	Travaux de dressage et autres usinages ultérieurs	18
			7.6	Prévention de la condensation après la galvanisation	18
			7.7	Prétraitement de la surface en zinc	19
			7.8	Revêtement	19
			7.9	Réparation de revêtements organiques	19
2	Termes	3	8	Protection anticorrosion	19
2.1	Galvanisation à chaud	3	8.1	Principes	19
2.2	Système duplex	3	8.2	Plan de protection anticorrosion	20
2.3	Rouille blanche	3	8.3	Durée de protection d'une galvanisation à chaud dans divers environnements	21
2.4	Meulage fin	3	8.4	Protection anticorrosion par des systèmes de peinture	22
2.5	Sweepen	3	8.5	Mode de fonctionnement des systèmes duplex	22
2.6	Chromatage	4	8.6	Durée de protection des systèmes duplex	22
2.7	Prétraitement chimique	4	8.7	Éléments de liaison	23
2.8	Revêtement organique	4			
2.9	Revêtement par pulvérisation	4	9	Évaluations visuelles des surfaces duplex	23
2.10	Peinture liquide	4	10	Appel d'offres et attribution des mandats	25
2.11	Saponification	4	11	Nettoyage et remise en état	25
2.12	Catégorie de corrosivité	4			
2.13	Durée de protection	4			
3	Normes applicables, fiches techniques, directives	4			
4	Galvanisation à chaud	5			
4.1	Conditions	5			
4.2	Matériau	5			
4.3	Indications de commande	6			
4.4	Autres aciers	7			
4.5	Épaisseur des couches de zinc	7			
4.6	Propriétés des couches de zinc	7			
4.7	Refroidissement et stockage	7			
5	Construction adaptée à la galvanisation	7			
5.1	Dimensions du bain de zinc, poids unitaire	8			
5.2	Éléments de construction encombrants	8			
5.3	Trempage multiple	8			
5.4	Suspensions	8			
5.5	Épaisseurs du matériau	10			
5.6	Constructions tubulaires	11			
5.7	Formage à froid	12			
6	Fabrication adaptée à la galvanisation	13			
6.1	Chevauchements	13			
6.2	Contrainte propre et étirage	14			
6.3	Soudage avant la galvanisation à chaud	14			
6.4	Aspects additionnels	15			
6.5	Préparation des surfaces	16			
6.6	Réparations des couches de zinc	16			

1 Introduction

L'acier non protégé est exposé à la corrosion dans l'atmosphère, l'eau et la terre, ce qui peut entraîner des dommages. C'est pourquoi les pièces en acier doivent être protégées de manière à ce que les dommages dus à la corrosion soient évités pendant la durée d'utilisation prévue.

Le système de zingage à chaud représente la méthode la plus pratiquée afin de protéger les produits et les éléments de construction contre la corrosion avec une couche métallique. Il est appliqué quand on envisage une protection de corrosion durable pour des décennies.

Un revêtement par galvanisation à chaud (système duplex) renforce la résistance à la corrosion et offre de nouvelles possibilités de conception.

La présente fiche technique a pour but de fournir aux planificateurs et aux entreprises impliqués ainsi qu'au maître d'ouvrage des informations importantes et sous forme condensée sur la protection contre la corrosion de l'acier par galvanisation à chaud et les systèmes de peinture duplex.

Elle tient également compte des éventuels défauts issus des galvanisations à chaud et des systèmes duplex qui donnent souvent lieu à des désaccords entre le donneur d'ordre et l'entrepreneur.

2 Termes

2.1 Galvanisation à chaud

Le terme galvanisation à chaud désigne la galvanisation de pièce selon la norme SN EN ISO 1461 et la galvanisation par bandes, également appelée galvanisation à chaud continue ou galvanisation Sendzimir. Au système de zingage à chaud, les éléments en fer et en acier sont munis d'une couche de zinc par trempage au zinc chauffé à env. 450 °C pendant le processus de trempage. Par l'échange mutuel se produisent alors des couches d'alliage en fer-zinc sur la surface. En sortant les éléments en acier du bain de zinc, les couches d'alliage s'enduisent en général avec un revêtement de zinc pur. Il se produit alors une couche aux reflets argentés. Il existe une grande différence entre les méthodes mentionnées au début en termes d'épaisseur de revêtement. Alors que la galvanisation par bandes atteint une épaisseur de revêtement de 7 à 30 micromètres seulement, les épaisseurs de revêtement varient entre 50 et 150 micromètres lors de la galvanisation de pièce selon la norme SN EN ISO 1461, et même plus de 200 micromètres pour les éléments de construction en acier massifs.

Par immersion dans du zinc liquide, les zones présentant un risque de corrosion telles que les cavités, les équerres et les parties difficilement accessibles sont également bien protégées.

Selon la norme SN EN ISO 1461, le zinc liquide doit être principalement composé de zinc, et la somme des éléments associés ne doit pas dépasser 1,5 % de la masse.

2.2 Système duplex

Système de protection anticorrosion composé d'une galvanisation combinée à un ou plusieurs des revêtements organiques suivants.

Pour des raisons de conception, les systèmes duplex sont également utilisés en cas d'exposition élevée à la corrosion.

2.3 Rouille blanche

Produits de corrosion blancs à gris foncé (principalement de l'hydroxyde de zinc et de petites quantités d'oxyde de zinc et de carbonate de zinc) à la surface du zinc.

Une légère rouille blanche se forme lorsque l'humidité ou la condensation peut agir brièvement sur les surfaces fraîchement galvanisées, avant de sécher de nouveau. De petites quantités de rouille blanche sont transformées en une couche supérieure protectrice sur le zinc une fois ces conditions disparues. Bien qu'une légère formation de rouille blanche soit essentiellement anodine, elle peut avoir un effet négatif sur la qualité du système duplex et être difficile à éliminer pendant le prétraitement.

Une formation de rouille blanche importante se produit en cas d'humidification continue et intensive sans aération suffisante. Elle peut endommager ou même détruire localement le revêtement en zinc.

Sans accord particulier entre le donneur d'ordre et le galvaniseur, la formation de rouille blanche ne constitue pas un motif de rejet au sens de la norme SN EN ISO 1461:2009, dans la mesure où l'épaisseur minimale requise de la couche de zinc est toujours présente.

2.4 Meulage fin

En complément du nettoyage de la couche de zinc exigé par la norme SN EN ISO 1461 (élimination des résidus de cendres de zinc, des résidus de flux, des pointes de zinc), un nettoyage fin appelé «meulage fin» est nécessaire pour le revêtement. Le meulage fin et le lissage sont réalisés sur les zones de la couche de zinc qui donnent un mauvais aspect décoratif de la surface, comme p. ex. les inclusions de zinc dur, les épaissements de zinc, les gouttes de zinc, les défauts de laminage et les coulées de zinc.

Les soudures sont soumises à une rectification plane uniquement sur demande car cette dernière peut endommager les alliages de zinc et ainsi réduire la qualité.

2.5 Sweepen

Prétraitement mécanique du revêtement ultérieur.

Sablage doux avec des abrasifs non métalliques pour nettoyer et rendre rugueuse la surface du zinc.

La méthode du Sweepen ou du sablage Sweep est également appelée micro-sablage ou sablage fin.

Le Sweepen doit être effectué en douceur, à une distance d'au moins 60 cm, avec un angle de projection de 50 à 70 degrés et une pression d'air allant jusqu'à 3 bars maximum.

La surface sablée doit avoir un aspect mat uniforme.

Après le Sweepen, le revêtement des éléments de construction doit avoir lieu dans les 12 heures.

2.6 Chromatage

Prétraitement chimique du revêtement ultérieur. Ce prétraitement à effectuer en usine comprend les étapes suivantes : dégraissage, rinçage, décapage, rinçage, chromatage, rinçage, rinçage, rinçage à l'eau déminéralisée, séchage. Pour des raisons écologiques, des procédés sans Cr(VI) doivent être utilisés.

Le revêtement des éléments de construction chromatés doit avoir lieu doit avoir lieu immédiatement après le chromatage.

2.7 Prétraitement chimique

Le prétraitement chimique doit être effectué conformément aux prescriptions du fournisseur des produits chimiques utilisés. L'opérateur du revêtement doit enlever toute surface passivée avant le traitement suivant.

2.8 Revêtement

Revêtement organique d'un système duplex. Il peut être monocouche ou multicouches, par pulvérisation ou peinture liquide.

2.9 Revêtement par pulvérisation

Procédé de revêtement permettant de pulvériser de la poudre sur un matériau électro-conducteur. La poudre est aussi chargée électriquement et après application, elle est fondue dans le four en un film fermé et chimiquement réticulée à une température d'environ 160 à 200 °C.

Le revêtement par pulvérisation est généralement plus résistant aux chocs, plus rapide à appliquer, plus économique et plus écologique qu'un revêtement de peinture liquide.

2.10 Peinture liquide

Revêtement liquide qui durcit par évaporation du solvant ou par réaction chimique. Les peintures liquides sont disponibles sous forme de système monocomposant (peinture 1K) ou bi-composants (peinture 2K). Selon le liant, les peintures liquides durcissent à température ambiante ou dans le four à différentes températures.

2.11 Saponification

Les résines alkydes longues en huile, qui sont utilisées comme liants pour les peintures, séparent les acides gras libres pendant le processus de séchage, qui pénètrent les couches d'apprêt monocomposant généralement fines et réagissent et saponifient sur la surface du zinc avec des ions zinc, des sels de zinc, formant ainsi une couche de séparation et éliminant l'adhésion de la structure des couches de peinture.

Ce processus est facilité ou accéléré par l'humidité.

Pour les systèmes de peinture contenant des résines alkydes, la saponification doit être intercalée avec une couche d'apprêt appropriée.

2.12 Catégorie de corrosivité

Les conditions atmosphériques ambiantes sont divisées en six catégories de corrosivité selon la norme ISO 9223 :

- C1 corrosivité négligeable
- C2 corrosivité réduite
- C3 corrosivité modérée
- C4 corrosivité élevée
- C5 corrosivité très élevée
- CX corrosivité extrême

Il est recommandé de conserver des échantillons de référence pour déterminer la catégorie de corrosivité. Dans le tableau 1 de la norme SN EN ISO 12944-1 (voir page 25), les catégories de corrosivité sont déterminées sur la base des réductions de masse et d'épaisseur de ces échantillons de référence en acier et/ou en zinc faiblement alliés après la première année de conservation et les environnements atmosphériques internes et externes types sont décrits pour chaque catégorie de corrosivité (voir 8.2 Plan de protection anticorrosion).

2.13 Durée de protection

La durée de protection détermine la période avant la nécessité d'effectuer une première remise en état ou un renouvellement d'un revêtement.

La durée de protection des revêtements duplex se réfère exclusivement au revêtement organique et à son adhérence à la galvanisation à chaud. Selon la structure, la durée de protection d'un système duplex est de 1,2 à 2,5 fois plus longue que la somme de la durée de protection individuelle de la galvanisation à chaud et du revêtement.

La durée de protection n'est pas une «durée de garantie». La durée de protection est un terme qui peut aider le donneur d'ordre à établir un programme de remise en état. La durée de garantie est un terme légal qui fait l'objet de conditions contractuelles. En règle générale, la durée de garantie est plus courte que la durée de protection. Aucune règle ne relie les deux termes. Une remise en état peut s'avérer nécessaire avant la durée de protection spécifiée pour des raisons de décoloration, de farinage, de contamination, d'usure, esthétiques ou autres.

3 Normes applicables, fiches techniques, directives

- SN EN 1090-11+A1 (2011) Exécution des structures en acier et des structures en aluminium – Partie 1 : Exigences pour l'évaluation de la conformité des éléments structureaux
- SN EN 1090-11+A1 (2011) Exécution des structures en acier et des structures en aluminium – Partie 2 : Règles techniques pour les structures en acier
- SN EN ISO 1461:2009 Revêtements par galvanisation à chaud sur produits finis en fonte et en acier – Spécifications et méthodes d'essai
- SN EN 10025-1 à -5:2004 et -6+A1:2009, Produits laminés à chaud en aciers de construction
- SN EN ISO 8501-1 à -4:2008, Préparation des subjectiles d'acier avant application de peintures et de produits assimilés – Évaluation visuelle de la propreté d'un subjectile
- SN EN 15773:2018, Application industrielle de revêtements en poudre organiques à des produits en acier galvanisés à chaud ou shérardisés [systèmes duplex] – Spécifications, recommandations et lignes directrices

- SN EN ISO 12944-2:2017 Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture – Partie 2 : classification des environnements
- SN EN ISO 12944-3:2017 Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture – Partie 3 : Conception et dispositions constructives
- SN EN ISO 12944-4:2017 Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture – Partie 4 : Types de surface et de préparation de surface
- SN EN ISO 12944-5:2018 Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture – Partie 5 : Systèmes de peinture
- EN ISO 14713-1:2017 Revêtements de zinc – lignes directrices et recommandations pour la protection contre la corrosion du fer et de l'acier dans les constructions – Partie 1 : principes généraux de conception et résistance à la corrosion
- EN ISO 14713-2:2009, Revêtements de zinc – lignes directrices et recommandations pour la protection contre la corrosion du fer et de l'acier dans les constructions – Partie 2 : Galvanisation à chaud
- DIN 55633:2009, Peintures et vernis – Anticorrosion des structures en acier par systèmes de revêtement de poudre – Évaluation des systèmes de revêtement de poudre et exécution de revêtement
- Fiche technique CT 001 Metaltec Suisse – Protection anticorrosion d'éléments de construction en acier pour balcons et terrasses en rapport avec des sols en plaques.

4 Galvanisation à chaud

La galvanisation à chaud discontinue – la galvanisation de pièce – se fait par l'application d'une couche de zinc sur les composants en acier ou moulés par trempage des pièces préparées dans du zinc en fusion. Les éléments de construction sont trempés dans un bain de zinc d'environ 450 °C et des couches d'alliage en fer-zinc se forment sur leur surface par échange mutuel (diffusion). En sortant les éléments en acier du bain de zinc, les couches d'alliage s'enduisent en général avec un revêtement de zinc pur. Il se produit alors normalement une couche aux reflets argentés, partiellement avec un imprimé à fleurs zingué marquant.

La galvanisation à chaud (galvanisation de pièce) est régie par la norme SN EN ISO 1461.

La norme SN EN ISO 14713 Parties 1 et 2 contient des indications complémentaires sur le processus et la conception de la pièce galvanisée.

4.1 Conditions

Pour un résultat de zingage impeccable, les paramètres suivants sont, entre autres, indispensables :

- Sélection des matériaux appropriés
- Construction et production en zingage à chaud
- Prise en compte des dimensions maximales
- Respect des poids de transport maximum
- Prise en compte de l'état de la surface

4.2 Matériau

En principe, toutes les sortes d'acier de construction courantes peuvent être galvanisées à chaud. Pourtant, il se peut notamment que pour les aciers à forte teneur en silicium, la réaction entre le

fer et le zinc se déroule particulièrement vite lors du processus de galvanisation, ce qui fait que le pourcentage des couches d'alliage fer-zinc est plus grand qu'en général. Dans les cas extrêmes, la couche complète de zinc peut être composée de couches d'alliage en fer-zinc (fig. 4), ce qui n'a pourtant pas d'influence négative sur la résistance à la corrosion, mais sur l'aspect esthétique. De telles couches galvanisées à chaud présentent une surface gris mat et souvent un peu rugueuse.

En raison des différences de composition chimique des divers aciers utilisés et de la réaction fer-zinc variable qui en résulte, l'aspect de la galvanisation à chaud peut fluctuer, ou la résistance d'un composant peut être réduite. Il en va de même lorsque des éléments individuels en fonte, en acier inoxydable ou en d'autres métaux ont été usinés dans une structure en acier de construction normal. Dans certaines circonstances, la couche de zinc de ces matériaux peut être défectueuse ou aucun alliage de zinc ne peut être obtenu. Dans de tels cas, une consultation préalable avec l'usine de galvanisation ou le laboratoire d'essai des matériaux est toujours nécessaire. Selon la norme EN 1993-1-4:2006 Eurocode 3. Calcul des structures en acier Parties 1–4 (Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables) Chapitre A.5 Galvanisation et contact avec le zinc en fusion, La galvanisation à chaud des composants en acier inoxydable n'est pas autorisée car le contact avec le zinc en fusion peut entraîner une fragilisation par l'hydrogène. Des précautions doivent être prises pour s'assurer qu'en cas d'incendie, aucun zinc en fusion ne puisse goutter ou couler de l'acier galvanisé sur l'acier inoxydable, entraînant ainsi une fragilisation. De plus, il existe un risque de fragilisation lorsqu'un composant en acier inoxydable est assemblé à un élément en acier de construction puis galvanisé à chaud.

Les normes distinguent les classes et catégories d'acier de construction suivantes en ce qui concerne la galvanisation :

SN EN 10025-2:2004 Produits laminés à chaud en aciers de construction – Partie 2 : Conditions techniques de livraison pour les aciers de construction non alliés				
Classe	Silicium	Si+2,5P	Phosphore	Aptitude à la galvanisation
1	≤ 0,030 %	≤ 0,090 %	–	Oui
2	≤ 0,35 %	–	–	Adapté uniquement aux alliages de zinc spéciaux
3	0,14 % ≤ 0,25 %	–	≤ 0,035 %	Oui

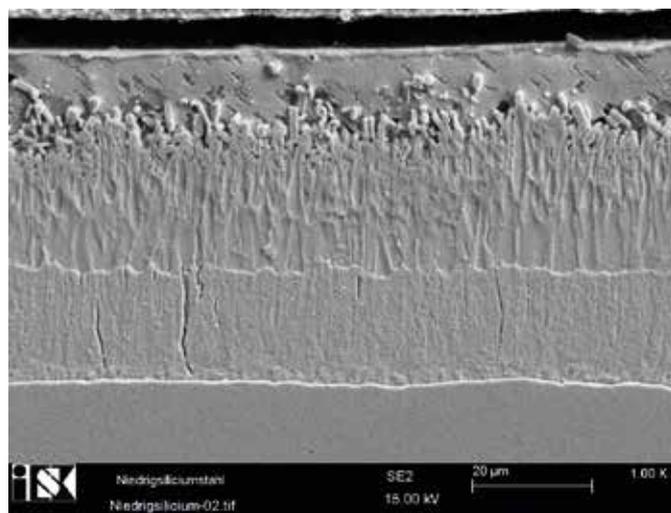
SN EN ISO 14713-2:2009 Revêtements de zinc – Lignes directrices et recommandations pour la protection contre la corrosion du fer et de l'acier dans les constructions – Partie 2: galvanisation à chaud				
Catégorie	Silicium, Phosphore	Désignation	Aptitude à la galvanisation	Propriétés de revêtement typiques
A	≤ 0,04 % Si et < 0,02 % P	Plage silicium inférieure	Oui	Aspect argenté brillant avec une texture fine ; couche de faible épaisseur
B	> 0,14 % à ≤ 0,25 % Si	Plage Sebisty	Oui	Aspect argenté brillant à mat ; couche d'épaisseur moyenne
C	> 0,04 à ≤ 0,14 % Si	Plage Sandelin	Non	Aspect gris, mat avec une texture plus grossière ; couche d'épaisseur très élevée ; résistance réduite de la couche de zinc aux dommages mécaniques.
D	≥ 0,25 % Si	Plage silicium élevée	Conditionnel	Aspect gris, mat avec une texture plus grossière ; couche d'épaisseur élevée à partir de 0,35 % Si ou très élevée ; résistance réduite de la couche de zinc aux dommages mécaniques.

Les transitions entre les différentes zones sont fluides et dépendent également du type de construction, de la température du zinc en fusion, de la présence d'éléments d'alliage dans le zinc en fusion, du temps d'immersion et de la nature de la surface en acier.

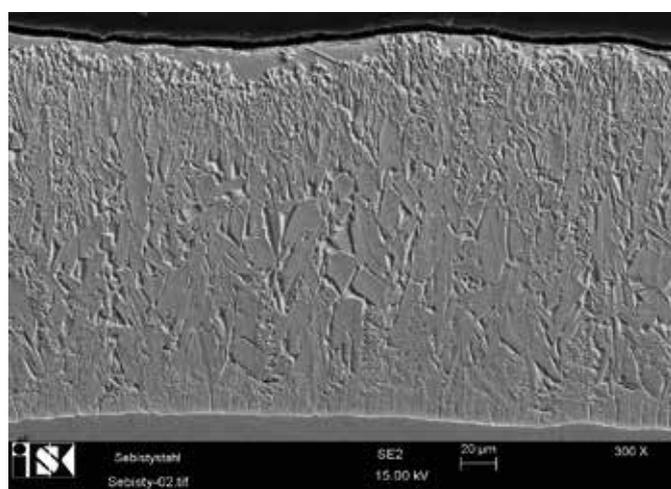
Pour les constructions en acier galvanisé à chaud, seul de l'acier de construction des classes 1 et 3 ou des catégories A et B doit être utilisé selon les disponibilités. Une surface aux reflets argentés et des fleurs zinguées est obtenu uniquement avec la classe 1 ou la catégorie A. Les aciers de construction de classe 3 et de catégorie B produisent des couches de zinc légèrement mates mais plus épaisses.

Un matériau de soudage à faible teneur en silicium et en phosphore doit également être utilisé afin que les soudures n'appliquent pas trop de zinc pendant la galvanisation et qu'une réaction fer-zinc normale, argentée et brillante puisse se produire.

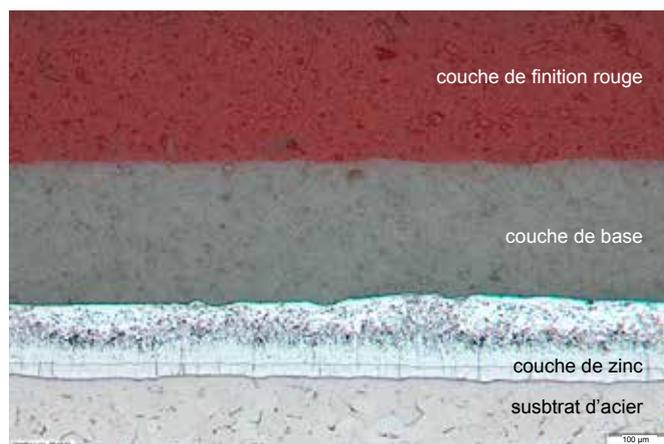
Afin d'éviter la fragilisation des ponts, il faut également veiller à ce que l'acier contienne au maximum 0,05 % de cuivre.



III. 3 : Micrographie d'un acier galvanisé à chaud ; IKS Dresden



III. 4 : Microsection d'acier galvanisé à chaud avec structure de couche typique et couche d'alliage Fe+Zn contrastée ; IKS Dresden



III. 5 : Structure duplex de catégorie de corrosivité C4

4.3 Indications de commande

L'usine de galvanisation à chaud n'a pratiquement aucune possibilité d'influencer la croissance extrême des couches d'alliage fer-zinc provoquée par la composition de l'acier. Par cette raison, il est essentiel de sélectionner des aciers parfaitement adaptés à la galvanisation à chaud. La série de normes SN EN 10025 1–6, 2005 (Produits laminés à chaud en aciers de construction), recommande pour les parties 2, 3, 4 et 6 de la section 7.4.3 «Aptitude pour galvanisation à chaud : les exigences relatives à la galvanisation à chaud doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et le client.»

Afin d'éviter une rupture fragile, il est également important de s'assurer que la teneur en CU est inférieure à 0,05 % lors de l'achat de l'acier.

C'est pourquoi l'option «Acier adapté à la galvanisation à chaud selon EN 10025» doit être déclarée lors de la commande d'acier pour les constructions galvanisées à chaud. Selon cette spécification de la norme EN 10025, le négociant en acier ne peut fournir que de l'acier de classe 1 ou 3. Si, par exemple, seul l'acier de classe 1 est requis, sa disponibilité doit être vérifiée au préalable auprès du négociant en acier.

Pour un résultat de galvanisation optimal, il est recommandé de choisir de l'acier selon le tableau EN ISO 14713-1:2017 Revêtements de zinc – lignes directrices et recommandations pour la protection contre la corrosion du fer et de l'acier dans les constructions – Partie 2 : Galvanisation à chaud.

Si, dans certains cas, il n'y a pas d'indications sur la composition de l'acier ou s'il y a des doutes sur l'aptitude d'un matériau, il est recommandé de procéder à un essai de galvanisation sur une petite section du matériau. Un essai de galvanisation apporte seulement des résultats pertinents s'il est effectué dans des conditions semblables à celles utilisées ultérieurement pour les pièces d'origine. Le respect des conditions pratiques est particulièrement important en ce qui concerne la durée d'immersion, la vitesse d'immersion et d'extraction et, si nécessaire, la température du bain de zinc.

4.4 Autres aciers

Les déclarations ci-dessus s'appliquent principalement aux aciers dans le cadre de la série de normes EN 10025. Si des aciers non conformes à ces normes doivent être galvanisés à chaud, des dispositions particulières doivent être prises avec l'usine de galvanisation dans certains cas et l'aptitude à la galvanisation à chaud doit être clarifiée au préalable au moyen d'échantillons. Cela concerne principalement les aciers inoxydables et les aciers à résistance élevée (p. ex. aciers de construction à grain fin et résistance élevée, trempés ou traités thermomécaniquement). L'usine de galvanisation doit impérativement en être informée par écrit au moment de l'attribution du mandat.

Pour la galvanisation à chaud et la préparation en surface des pièces moulées, voir la norme EN ISO 14713-2.

4.5 Épaisseur des couches de zinc

Selon la norme SN EN ISO 1461:2009, l'épaisseur minimale moyenne des couches de zinc est comprise entre 45 et 85 µm selon l'épaisseur du matériau. Dans la pratique, les couches de zinc sont généralement plus épaisses selon la composition de l'acier, l'épaisseur du matériau, le temps d'immersion et d'autres paramètres.

Épaisseurs minimales de couche selon la norme SN EN ISO 1461:2009 : pour les pièces en acier **non** centrifugées

Épaisseur du matériau (mm)	Épaisseur moyenne couche de zinc (µm)	Épaisseur locale couche de zinc minimale (µm)
< 1,5	≥ 45	35
≥ 1,5 bis < 3	≥ 55	45
≥ 3 bis < 6	≥ 70	55
≥ 6	≥ 85	70

Toutefois, des épaisseurs de couche minimales plus élevées peuvent également être convenues avec l'usine de galvanisation dans la mesure où cela s'avère techniquement possible. La vérification de l'épaisseur des couches de zinc doit être effectuée selon la norme SN EN ISO 1461.

Épaisseurs minimales de couche selon la norme SN EN ISO 1461:2009 : pour les pièces en acier **centrifugées**

Épaisseur du matériau (mm)	Épaisseur moyenne couche de zinc (µm)	Épaisseur locale couche de zinc minimale (µm)
< 3,0	≥ 45	35
≥ 3	≥ 55	45

4.6 Propriétés des couches de zinc

La couche de zinc est liée de manière inséparable à l'acier par un alliage. La rouille sous-jacente qui peut se produire avec d'autres systèmes de protection anticorrosion est exclue avec la galvanisation à chaud.

La résistance mécanique et la protection des arêtes d'une galvanisation à chaud sont 8 à 20 fois supérieures à celles d'une couche de peinture.

Selon la norme SN EN ISO 1461:2009, toutes les surfaces essentielles doivent être exemptes d'épaississements et de bulles (p. ex.

zones surélevées sans liaison avec la base métallique), de zones rugueuses, de pointes de zinc (si elles présentent un risque de blessure) et d'imperfections lors de la première observation à l'œil nu à une distance minimale de 1 m.

Les résidus de flux ne sont pas autorisés. Les épaississements et les résidus de zinc ne sont pas non plus autorisés s'ils nuisent à l'utilisation prévue du composant ou à la protection contre la corrosion.

En revanche, les propriétés suivantes ne justifient aucunement un rejet :

- Présence de zones plus claires ou plus sombres (p. ex. motif réticulé ou zones gris foncé)
- Faibles irrégularités de surface
- Formation de produits de corrosion (blanchâtres ou foncés) constitués principalement d'oxyde de zinc (formés en cas de stockage dans des conditions humides après galvanisation à chaud), à condition que l'épaisseur minimale requise de la couche de zinc soit respectée.

Les pièces qui ne passent pas l'inspection visuelle doivent être retouchées conformément au point 6.6 ou galvanisées de nouveau avant d'être soumises à une nouvelle inspection.

La couche de zinc sert principalement de protection anticorrosion. L'apparence et les propriétés décoratives de la couche de zinc doivent avoir une importance secondaire. Si ces propriétés secondaires sont importantes (p. ex. avec un revêtement ultérieur par pulvérisation), il est fortement recommandé de conclure un accord entre le donneur d'ordre et le galvaniseur concernant la qualité réalisable de la surface en fonction des matériaux utilisés.

En cas d'exigences supplémentaires (p. ex. si des couches de zinc supplémentaires doivent être appliquées) ou si une production d'échantillons est souhaitée, le client doit en informer le galvaniseur au préalable.

4.7 Refroidissement et stockage

Le trempage dans l'eau n'est pas recommandé car des zones plus épaisses des couches d'alliage peuvent causer une fragilisation de la couche de zinc. En outre, cela peut ultérieurement entraîner des problèmes au niveau de l'adhérence du système duplex.

Après refroidissement, les composants galvanisés doivent être stockés dans un endroit sec et une aération suffisante doit être assurée entre les pièces afin d'éviter la formation de produits de corrosion du zinc indésirables.

Aucune bande d'acier non traitée ne peut être utilisée pour le regroupement.

5 Construction adaptée à la galvanisation à chaud

La galvanisation est un processus de trempage qui est exécuté dans divers bains. Le transport et le maniement de la pièce galvanisée font automatiquement partie de la procédure. Par conséquent, la taille, la forme et le poids d'un composant à galvaniser a une influence considérable sur les coûts.

Les composants doivent être planifiés de telle sorte qu'après la galvanisation à chaud, aucun usinage susceptible d'endommager la couche de zinc, comme le soudage, le pliage, le perçage, la séparation, etc. ne soit nécessaire.

5.1 Dimensions du bain de zinc, poids unitaires

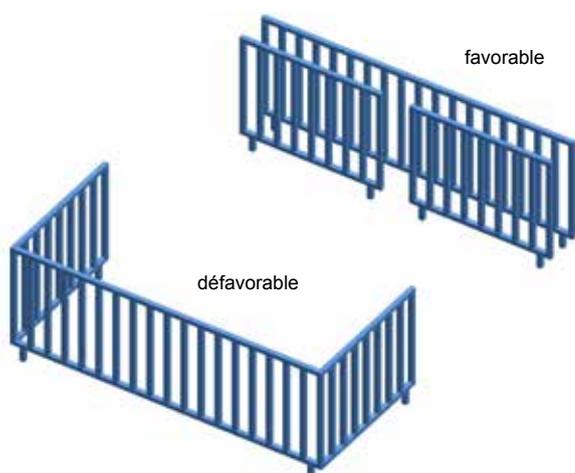
Les bains de zinc ont différentes tailles dans les entreprises. Les dimensions maximales des pièces à galvaniser doivent tenir compte des dimensions des bains de galvanisation disponibles. Il faut toujours essayer de trouver une cuve de galvanisation dans laquelle un composant peut être galvanisé de manière optimale avec ses dimensions, de préférence en une seule immersion. La taille du bain de galvanisation disponible devrait déjà être connue lors de la détermination de la construction et ses détails. Dans les grandes constructions, les difficultés peuvent ainsi être évitées et parfois des soudures ou des vissages peuvent être réalisés.

Dans tous les cas, les dimensions maximales des pièces individuelles et leur poids maximal, qui peuvent être limités par les performances des engins de levage et des véhicules, doivent être coordonnés à un stade précoce avec l'usine de galvanisation.

5.2 Éléments de construction encombrants

Afin d'effectuer la galvanisation à chaud aussi rapidement et efficacement que possible et d'en assurer la bonne qualité, les pièces en acier à galvaniser à chaud ne doivent pas être encombrantes. Les pièces encombrantes peuvent poser des problèmes dès le transport et risquent d'être endommagées. Toutefois, au plus tard avec la galvanisation à chaud, elles nécessitent beaucoup plus de travail que les pièces non encombrantes. Étant donné que les coûts de la galvanisation à chaud dépendent, entre autres, de la charge optimale des armatures et des traverses, les constructions encombrantes et désavantageuses entraînent inévitablement une augmentation des coûts.

La conception doit donc être aussi lisse et régulière que possible (bidimensionnelle), au risque d'augmenter l'effort de montage ultérieur (Ill. 5). Ces pièces en acier sont plus faciles et plus efficaces à transporter et leur galvanisation à chaud est moins chère et de meilleure qualité.



Ill. 5 : Éviter les pièces encombrantes car elles rendent la galvanisation plus coûteuse et peuvent nuire à la qualité de la galvanisation.

5.3 Trempage multiple

En trempant des zones individuelles deux ou plusieurs fois, il est possible de s'assurer que même les pièces en acier surdimensionnées qui ne peuvent pas être galvanisées à chaud en une seule opération reçoivent une couche de zinc. Toutefois, ce trempage multiple entraîne un échauffement irrégulier des composants, ce qui provoque un étirage des pièces en acier dans des conditions défavorables. Jusqu'à ce que la température du bain de zinc soit atteinte, une pièce en acier se dilate de 4 à 8 mm par mètre linéaire de longueur de composant. En cas de plongées multiples, un échauffement différent est inévitable car une partie de la construction se trouve toujours dans le bain de zinc chaud (env. 450 °C) et l'autre partie dans l'air plus frais (température ambiante). Logiquement, cela se traduit également par un écart de dilatation des parties supérieure et inférieure d'un composant.

La galvanisation à chaud de pièces longues et minces en acier (profilés, poutres, supports, mâts, etc.) ne pose relativement aucun problème car il n'y a que des différences mineures dans la dilatation thermique de la partie supérieure ou inférieure d'un composant (Ill. 6). Cela devient plus compliqué si la pièce en acier a une grande hauteur et doit donc être tournée pendant la galvanisation à chaud. Si une telle construction est relativement flexible, elle peut suivre facilement différentes dilatations linéaires, et la différence de longueur entre les parties supérieure et inférieure est réduite sur une plus grande distance (Ill. 7). En revanche, si la pièce en acier est très solide ou très rigide, elle peut, dans des cas défavorables, se déformer ou même se fissurer en raison des forces d'étirage élevées qui ne peuvent être compensées (Ill. 8). La conception de l'ensemble du système et les détails (raccordements, conception en coupe transversale) sont ici particulièrement importants afin de garantir que des trempages multiples de constructions complexes puissent être effectués sans problème.

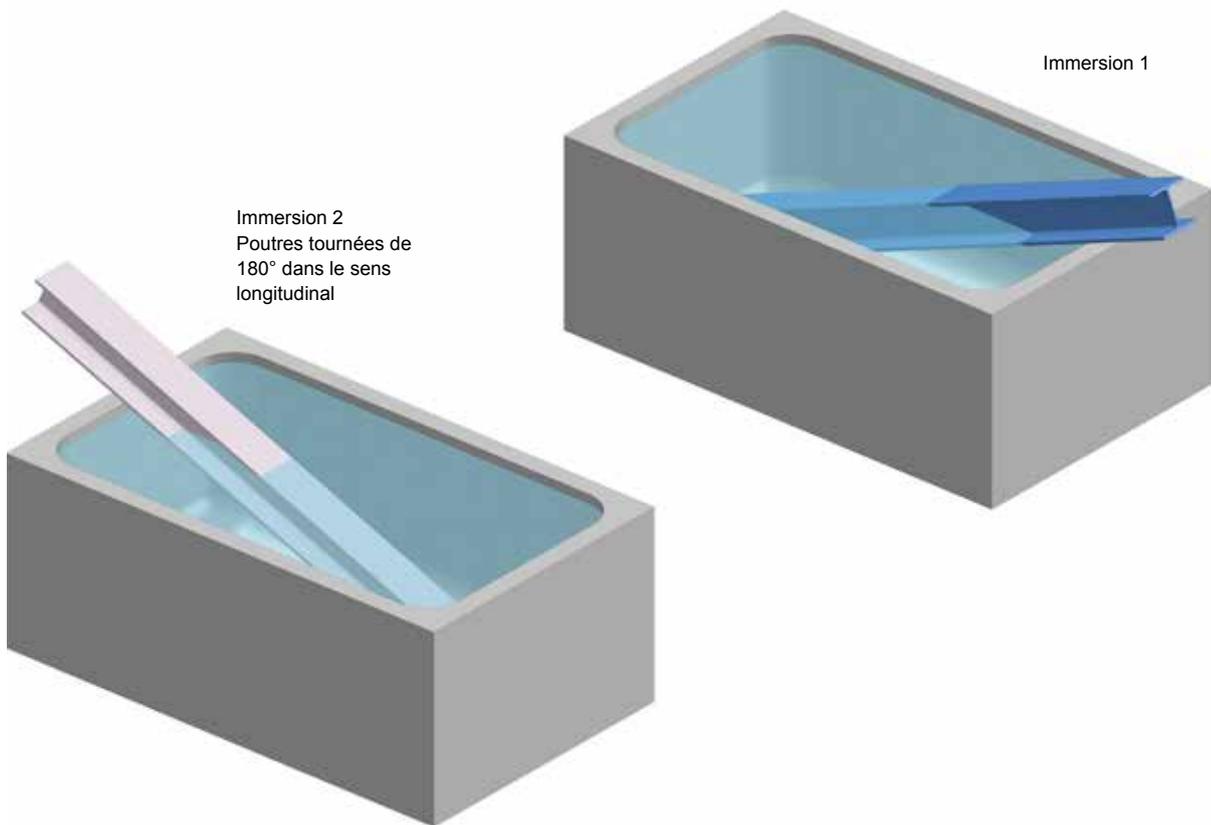
La zone de chevauchement qui se produit inévitablement lorsque de grandes structures sont plongées plusieurs fois dans le bain de zinc et qui a été exposée à plusieurs reprises à l'influence du zinc en fusion peut différer des autres zones de la surface par une plus grande épaisseur de la couche de zinc et/ou par un aspect différent.

5.4 Suspensions

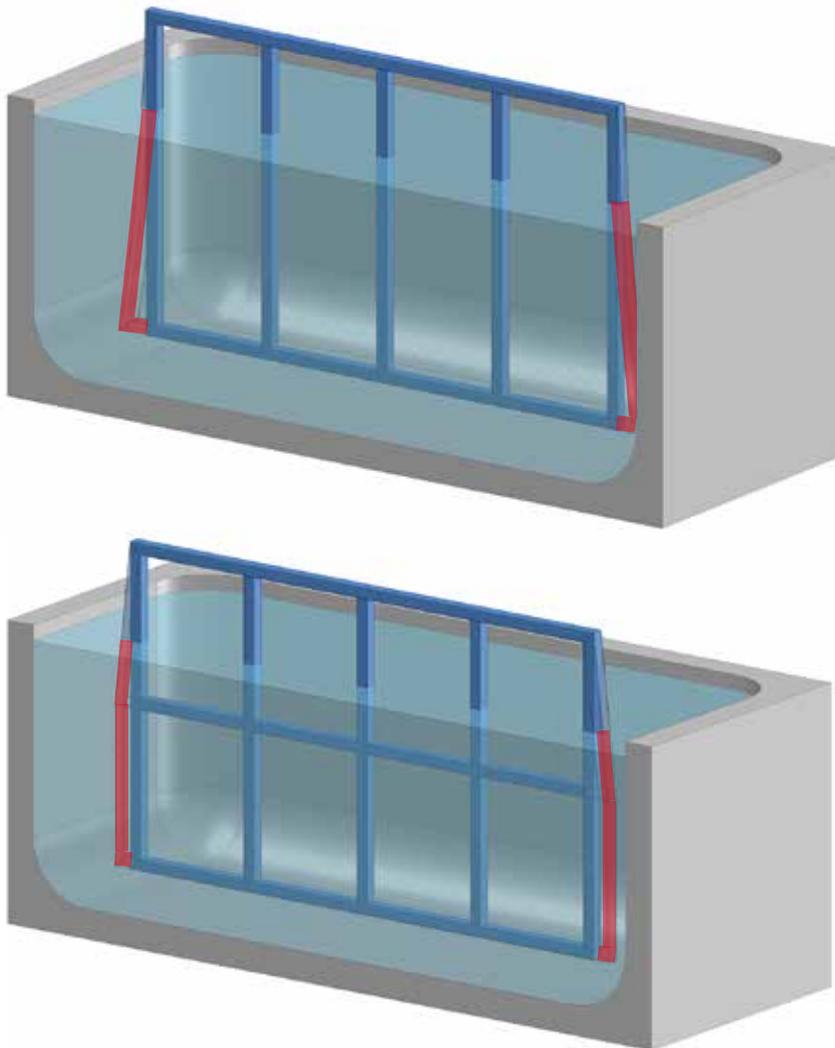
La suspension des pièces en acier doit toujours être possible à des endroits qui permettent au zinc liquide de s'écouler facilement lorsque les pièces en acier sont retirées du bain de zinc. Pour cette raison, les points de suspension doivent également tenir compte de toute disposition existante des ouvertures d'entrée et d'aération en zinc (Ill. 9).

Dans le cas de pièces lourdes, de structures métalliques très grandes ou flexibles, il convient de déterminer avec précision l'endroit où les pièces en acier peuvent être suspendues sans les endommager. Pour les grandes constructions, il peut être nécessaire de calculer la capacité de charge des points de suspension.

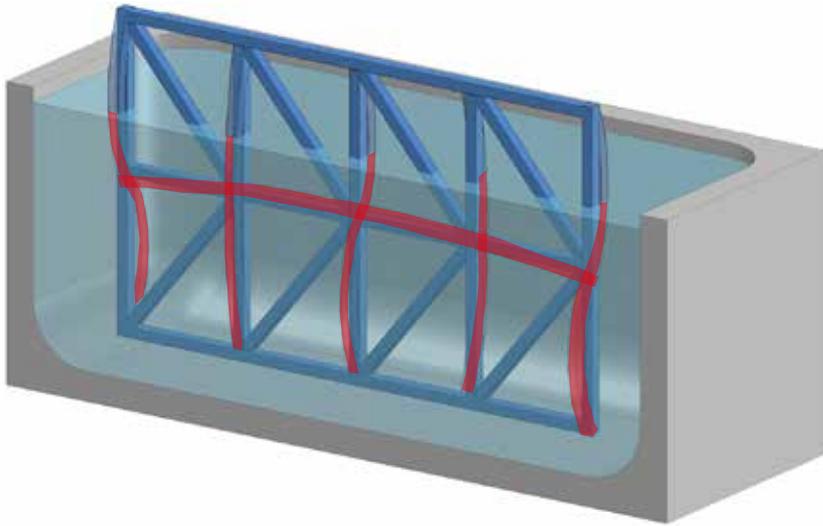
Des suspensions correctement disposées facilitent le transport, le montage et la manutention dans l'usine de galvanisation à chaud.



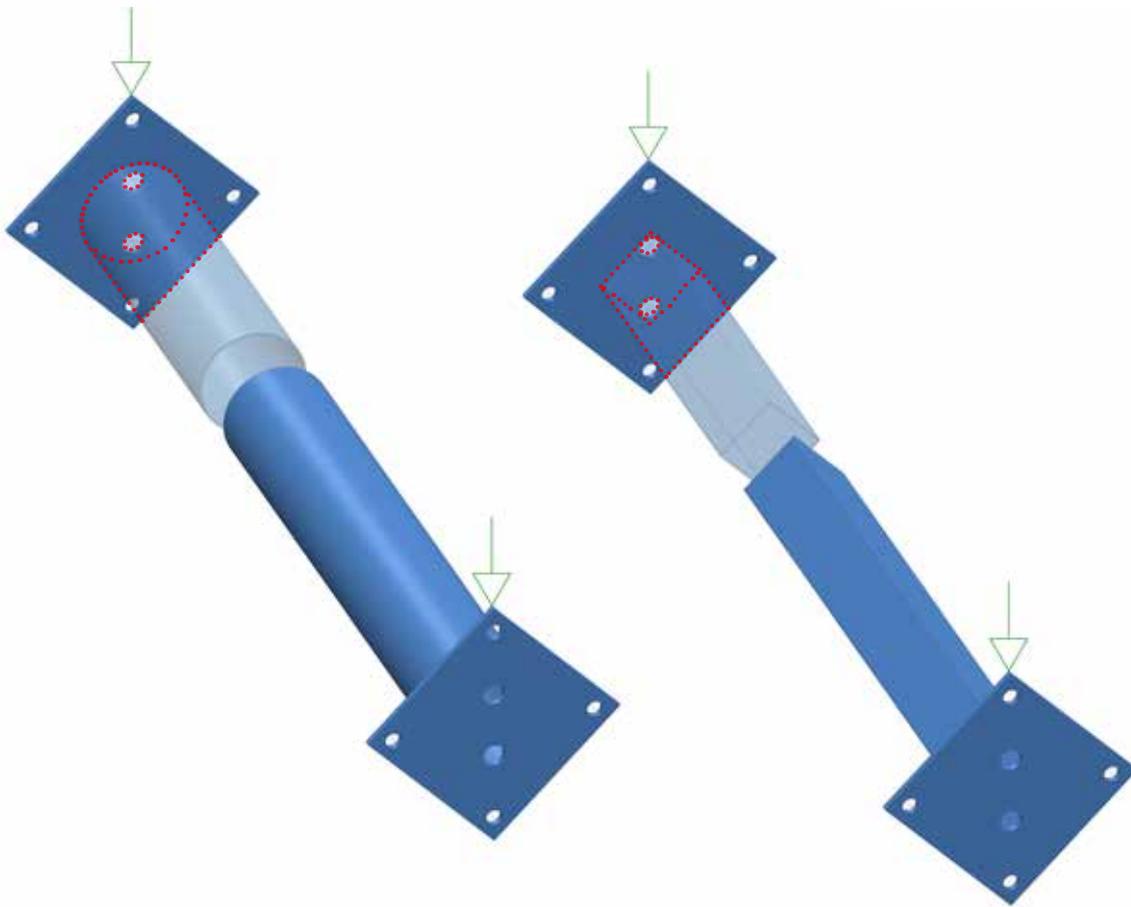
III. 6 : Galvanisation à chaud de pièces trop longues en deux étapes



III. 7 : Favorable – (la dilatation thermique peut être compensée sur de longues distances)



III. 8 : Défavorable – cadre avec rigidité
(la dilatation thermique ne peut être compensée que sur une courte distance)



III. 9 : Veiller à ce que les possibilités de suspension soient favorables et sûres et à ce que les ouvertures d'écoulement soient aménagées en conséquence.

5.5 Épaisseurs du matériau

En raison de temps de chauffe et donc de temps d'immersion plus longs lors de la galvanisation à chaud, de grandes épaisseurs de matériau se traduisent également par des épaisseurs de la couche de zinc plus importantes – tant sur la pièce en acier à paroi épaisse elle-même que sur les pièces en acier plus fines qui lui sont reliées, car en définitive l'élément ayant la plus grande épaisseur de matériau détermine toujours le temps d'immersion de la pièce

dans le bain de zinc. Les pièces d'une épaisseur de matériau identique ou presque identique sont optimales. Lorsque cela n'est pas possible, il faut veiller à ce que l'épaisseur maximale par rapport à l'épaisseur minimale du matériau ne dépasse pas un rapport de 5:1, sinon il faut s'attendre à un étirage. En cas de conditions d'épaisseur très défavorables, il convient d'envisager une liaison amovible (p. ex. vissage) des différents éléments.

5.6 Constructions tubulaires

Les opérations à effectuer pendant la galvanisation à chaud, telles que le dégraissage, le décapage, le rinçage, le fluxage et la galvanisation à chaud elle-même, sont des opérations par trempage. Pour cette raison, il faut veiller à ce que l'agent de traitement respectif puisse pénétrer facilement dans tous les coins et angles d'une construction – y compris les cavités – et s'en écouler à nouveau.

La galvanisation à chaud offre la possibilité de revêtir les conteneurs et les constructions tubulaires d'une couche de zinc à l'intérieur et à l'extérieur en une seule opération. Les composants doivent cependant être conçus de manière à ce que le zinc puisse pénétrer librement et rapidement à l'intérieur des profilés en acier lorsqu'il est immergé dans le bain de zinc (chassant ainsi l'air présent dans les cavités) et que lors du retrait, le zinc «superflu» puisse s'écouler complètement et que l'air puisse retourner dans les cavités. Si de l'air et de l'humidité sont enfermés pendant la galvanisation à chaud des corps creux, cela peut entraîner des surpressions et des explosions dangereuses dans le bain de zinc. En cas d'échauffement à 450 °C, l'évaporation de l'humidité peut conduire à une surpression élevée et donc même à la destruction explosive de composants (Ill. 10). De plus, de telles circonstances peuvent donner lieu à de graves accidents du travail.

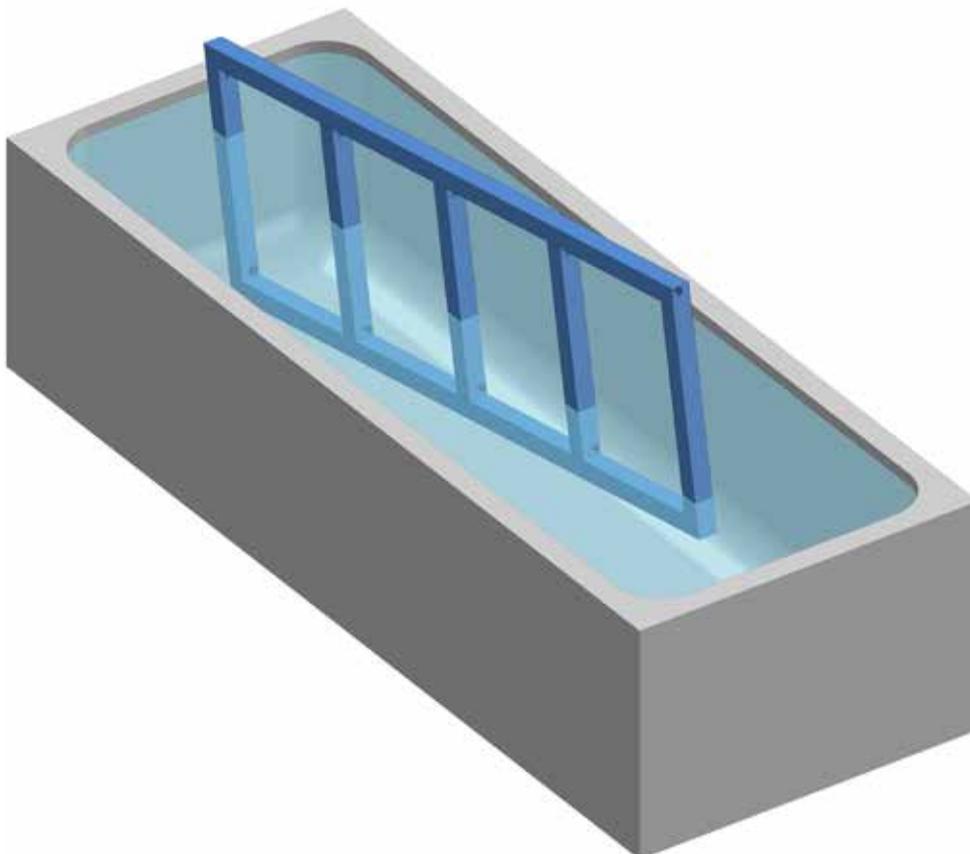
Des ouvertures d'entrée et de sortie correctement disposées et suffisamment dimensionnées sont une contribution essentielle à une galvanisation rationnelle et à une bonne qualité de galvanisation. Les ouvertures requises doivent toujours être réalisées de manière à tenir compte du type de suspension des pièces dans l'usine de galvanisation (suspension généralement inclinée) (voir



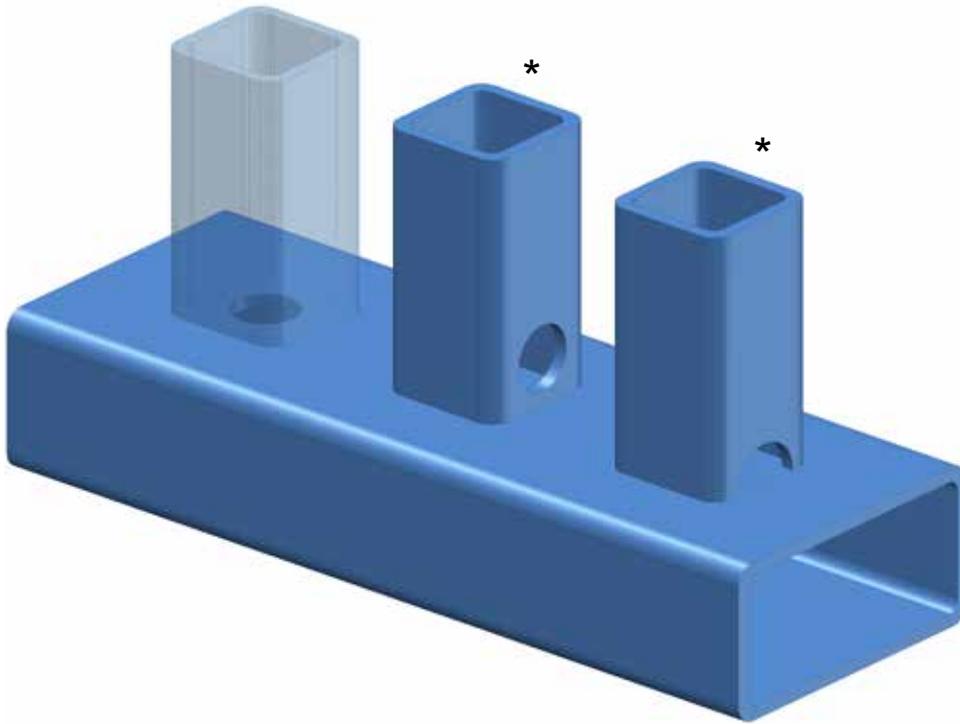
Ill. 10 : Construction de profilés creux rectangulaires qui ont été rompus dans le bain de zinc à cause de trous manquants.

Ill. 11 pour exemple). Il faut s'assurer que les ouvertures sont faites le plus loin possible dans l'angle d'un composant. Habituellement, les trous sont ensuite percés de l'extérieur. Dans certaines circonstances, il peut toutefois être utile de percer les trous nécessaires avant le montage et de les placer de manière à ce qu'ils soient dissimulés par la suite et ne soient donc plus visibles. Dans ce cas, l'usine de galvanisation doit cependant être informée par écrit des éventuels trous percés dissimulés (tenir compte des questions de sécurité et de responsabilité en cas de dommages).

La taille des trous dépend du volume d'air qui doit passer par les ouvertures. Ils dépendent donc de la longueur et de la section transversale des profilés en acier usinés. Les valeurs de l'Ill. 12 doivent être prises en compte pour l'orientation.



Ill. 11 : Différentes options pour l'aération des constructions tubulaires



III. 11.1 : * Les trous d'aération visibles sont défavorables, car des gouttelettes en zinc peuvent se former

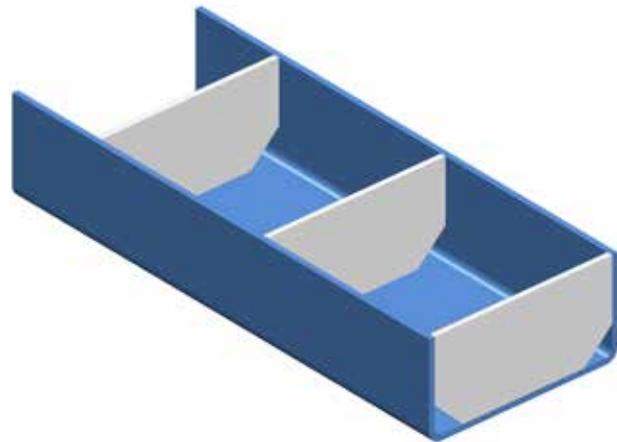
Dimensions du profilé creux en mm			Ø minimal du trou en mm pour un nombre d'ouvertures de:		
○	□	▭	1	2	4
inférieur à:					
15	15	20 x 10	8		
20	20	30 x 15	10		
30	30	40 x 20	12	10	
40	40	50 x 30	14	12	
50	50	60 x 40	16	12	10
60	60	80 x 40	20	12	10
80	80	100 x 60	20	16	12
100	100	120 x 80	25	20	12
120	120	160 x 80	30	25	20
160	160	200 x 120	40	25	20
200	200	260 x 140	50	30	25

III. 12 : Diamètres recommandés pour les trous d'aération sur les profilés creux
Les dimensions minimales indiquées dans le tableau ci-dessus s'appliquent aux structures de taille moyenne d'une longueur maximale d'environ 6 m.
Pour les profils longs, augmenter la taille ou le nombre de trous.

Afin de pouvoir galvaniser à chaud des constructions en acier profilé de bonne qualité, les renforts, les plaques de cloison ou les éléments similaires doivent être pourvus de coupes libres. Étant donné que les pièces en acier sont toujours plongées en biais dans les différents bains de traitement de l'usine de galvanisation à chaud, les ouvertures doivent être disposées de telle sorte que le zinc puisse entrer et sortir sans obstruction au niveau des angles et des coins d'une construction. Dans le cas contraire, le zinc sera entraîné vers l'extérieur ou des inclusions d'air entraîneront des défauts de galvanisation.

Les coupes libres et les ouvertures d'écoulement doivent être disposées par paires. Les coupes libres peuvent être effectuées comme indiqué à l'III. 13 dans l'exemple des renforts sur les profilés en U. Les coupes libres sur les plaques d'âme et les lamelles

doivent être effectuées de la même manière. Les ouvertures pour l'écoulement des agents de prétraitement et du zinc liquide doivent toujours avoir un diamètre > 10 mm. En règle générale, le diamètre des constructions métalliques doit toujours être > 14 mm, en fonction de leur taille et du nombre d'ouvertures disponibles.



III. 13 : Des coupes libres dans les coins sont nécessaires pour l'entrée et la sortie complète du zinc.

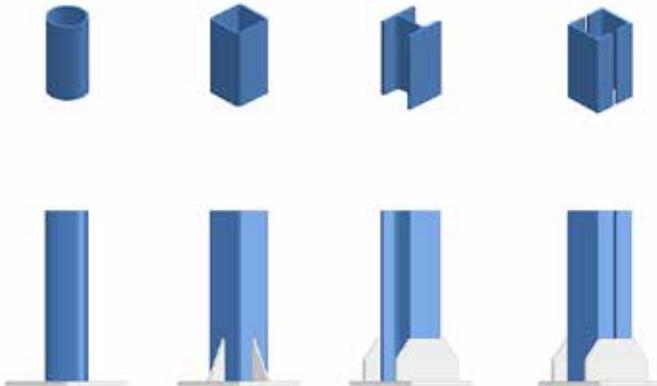
5.7 Formage à froid

Si un formage à froid est prévu pendant la production, il doit être effectué conformément aux valeurs limites spécifiées dans la série de normes SN EN 10025.

Le formage à froid par cintrage, pressage, pliage, emboutissage profond, etc. permet de réduire la ductilité. Le risque de fragilisation par l'hydrogène résultant d'un traitement acide avant galvanisation à chaud doit être pris en compte.

EN ISO 14713-2:2009

Les ouvertures d'écoulement doivent être diagonalement opposées à l'extrémité d'un composant, comme le démontre la figure A.6. La variante préférée doit être choisie en collaboration avec un spécialiste de la galvanisation à chaud.



III. A.6 – Différents modèles de profilés montés sur une plaque de base pour l'écoulement et l'aération

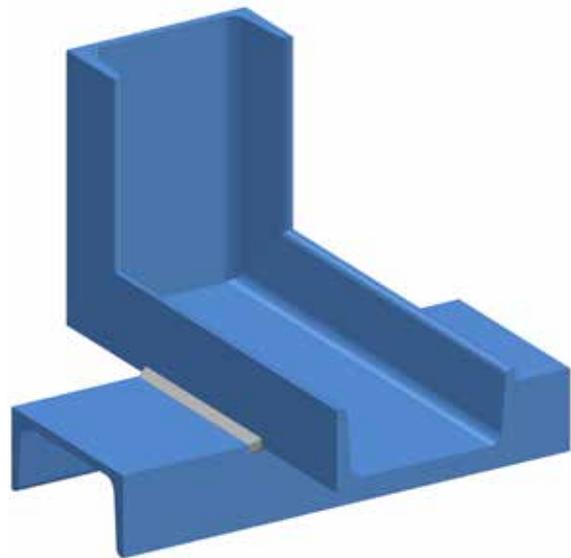
Le risque de fissuration peut être réduit par un recuit intermédiaire lors du formage à froid et un recuit de détente avant décapage et galvanisation à chaud.

6 Fabrication adaptée à la galvanisation

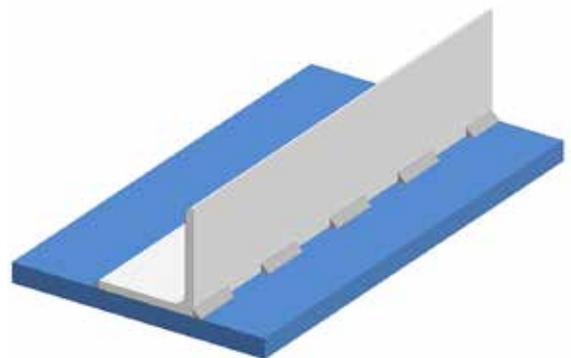
6.1 Chevauchements

Pour des raisons de protection anticorrosion, il convient d'éviter autant que possible les surfaces qui se chevauchent (III. 14). Le liquide des bains de prétraitement peut pénétrer dans les interstices qui en résultent et s'évapore de manière explosive lorsqu'il est immergé dans le zinc en fusion. Si des chevauchements sont nécessaires sur de grandes surfaces, des trous de dégagement doivent être percés sur au moins un côté de la tôle en chevauchement pour éviter une surpression due à l'échauffement de l'air dans l'interstice (III. 15). En outre, de grandes zones de chevauchement provoquent des fentes et des interstices dans lesquels le zinc ne peut pas pénétrer. Bien que dans la plupart des cas, le zinc fondu soude tout le pourtour de la zone de chevauchement, il n'est pas exclu que de petits interstices et pores restent ouverts. Plus tard, des décolorations brun-rouille inesthétiques se produisent dans ces endroits en raison des résidus d'acide et de flux qui s'écoulent.

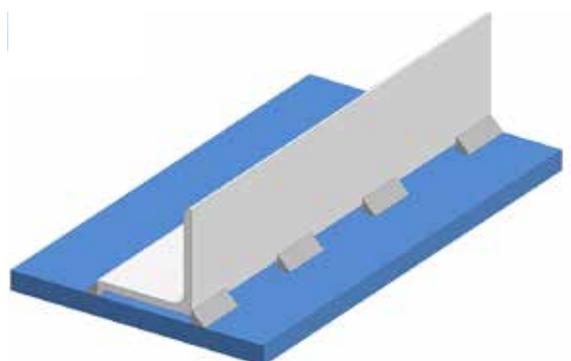
Les zones de chevauchement jusqu'à env. 100 cm² doivent être soudées de manière étanche sur tout le pourtour.



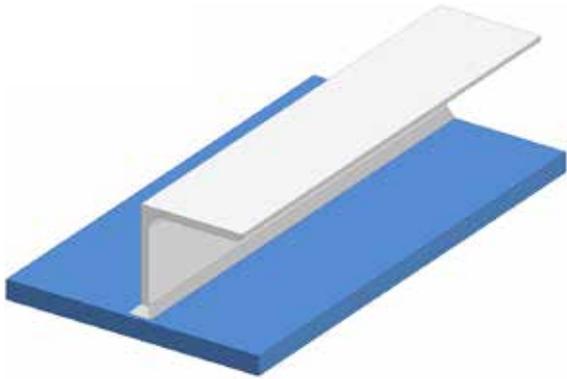
III. 14 : Eviter autant que possible les chevauchements importants dans les constructions soudées



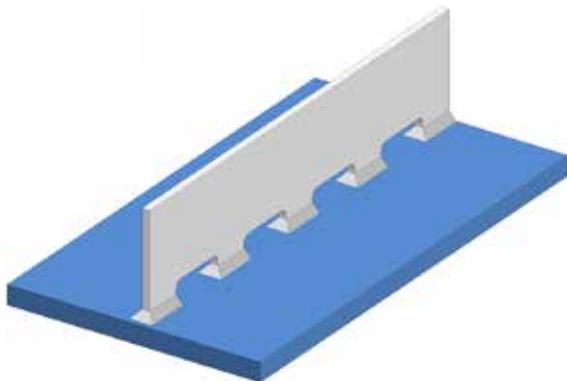
III. 14.1 : Solution défavorable car non soudée au travers



III. 14.2 : Solution possible, distance d'au minimum 3 mm entre les deux composants



III. 14.3 : Bonne solution soudée sur tout le pourtour (étirage possible)



III. 14.4 : Solution possible avec soudures locales (faible étirage)



Dommages à un poteau de garde-corps galvanisé à chaud dont les chevauchements ne sont que partiellement soudés.

6.2 Contrainte propre et étirage

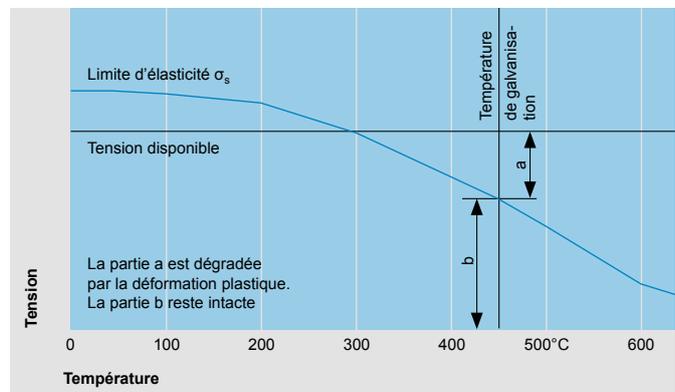
Des contraintes résiduelles élevées peuvent entraîner un étirage des composants en raison de l'échauffement pendant le processus de galvanisation. Des contraintes résiduelles peuvent être présentes dans n'importe quelle construction, par exemple sous forme de contraintes de laminage, de déformation, de soudage, de dressage, etc. Ces contraintes résiduelles sont en équilibre les unes avec les autres et ne provoquent aucune déformation au départ. Cet équilibre est perturbé par l'introduction de chaleur dans le bain de zinc chauffé à environ 450 °C. Cela peut entraîner des déformations.

Si les contraintes résiduelles dans une construction sont très élevées, il peut arriver que la résistance décroissante de l'acier ne soit plus suffisante pour absorber toutes les contraintes. Les points de contrainte peuvent alors être réduits par déformation plastique (étirage). Par conséquent, il faut s'efforcer de maintenir les contraintes d'une construction aussi faibles que possible dès le début afin que l'acier puisse absorber complètement les contraintes internes malgré une diminution temporaire de sa résistance.

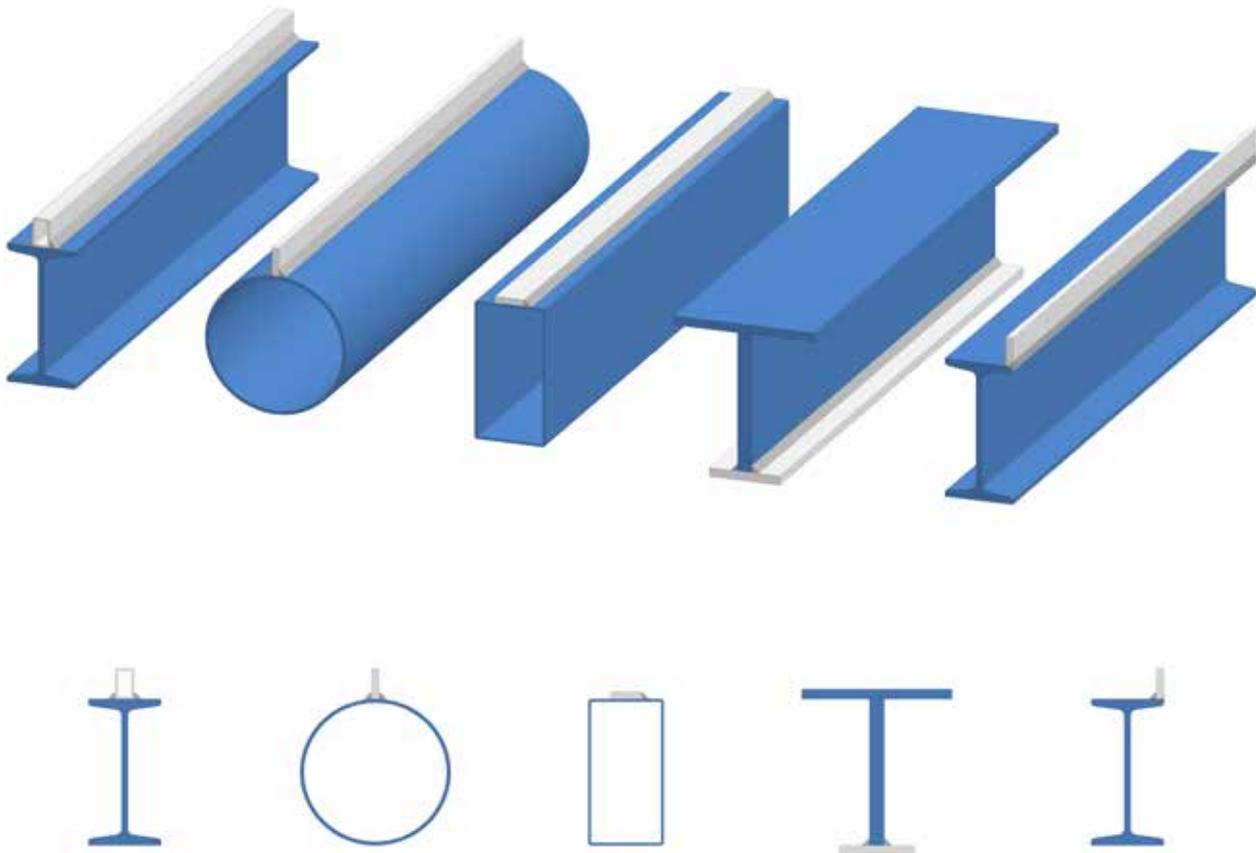
Lors du soudage, une quantité considérable de chaleur est appliquée de manière concentrée et localement limitée. Cet échauffement local et le refroidissement qui s'ensuit provoquent une série d'interactions dont les effets sont des contraintes de retrait plus ou moins importantes.

6.3 Soudage avant la galvanisation à chaud

Le risque d'étirage des constructions métalliques peut être largement atténué par des mesures constructives qui régule également l'étirage pendant le soudage. En principe, on peut affirmer que les contraintes résiduelles résultant du soudage jouent le rôle le plus important dans l'apparition de l'étirage. Les mesures les plus importantes à appliquer lors du soudage servent donc aussi à maintenir un faible niveau de contraintes résiduelles dans les constructions soudées. À l'aide d'un plan de soudage soigneusement élaboré qui doit aussi être strictement respecté lors de l'exécution, il est souvent possible d'obtenir que les contraintes de soudage soient uniformément réparties sur la section transversale, et ainsi d'éviter ou de limiter dans un minimum acceptable l'étirage lors de la galvanisation à chaud.



III. 16 : Tracé de la limite de résistance de l'acier en fonction de sa température.



Ill. 17 : Soudures disposées de manière excentrique sur les profilés, ce qui peut entraîner une déformation des pièces en acier lors de la galvanisation à chaud.

Dans la plage de température habituelle de galvanisation à chaud (env. 450 °C), les aciers de construction conventionnels affichent temporairement environ la moitié de leur résistance normale à température ambiante, car la résistance de l'acier diminue avec l'augmentation de la température. (Ill. 16). C'est pourquoi il faut s'efforcer de maintenir les contraintes d'une construction en acier aussi faibles que possible dès le début et d'éviter les pointes de contrainte afin que l'acier puisse absorber complètement les contraintes internes sans plastification malgré une diminution temporaire de sa résistance pendant le processus de galvanisation.

Les soudures d'assemblage doivent être disposées de manière à être proches du centre de gravité de l'ensemble du profilé. Si cela n'est pas réalisable, elles doivent être positionnées aussi symétriquement que possible à la même distance de l'axe de gravité et être si possible exécutées simultanément. Le risque d'étirage est le plus faible avec des sections symétriques et un dimensionnement des soudures le plus petit possible. Les sections de profilés asymétriques présentent un plus grand risque d'étirage, surtout si des soudures plus épaisses d'un côté sont disposées à une plus grande distance de l'axe de gravité. Dès la fabrication en atelier, de tels composants défavorables présentent souvent un étirage après soudage. (Ill. 17).

Pour les constructions en tôle, il faut veiller à ce que la dilatation des pièces en tôle qui résulte de l'échauffement à la température du zinc en fusion ne soit pas entravée. En parallèle, des mesures constructives doivent être prises pour s'assurer que les surfaces lisses des tôles sont rigidifiées (par exemple par des moulures ou

des plis) afin d'éviter la formation de bosses ou de distorsions. Le fait qu'il est possible, grâce à une planification préalable minutieuse, de galvaniser à chaud des constructions en tôle d'acier à parois minces et complexes sans étirage significatif est démontré dans la construction automobile, où l'on utilise dans certains cas des carrosseries en tôle d'acier galvanisées à la pièce.

Récapitulatif des règles de base :

1. L'effort de soudage doit être réduit au minimum par des mesures constructives, car plus une construction doit être soudée, plus les contraintes de retrait exercées sur la pièce et causées par le soudage ont un effet défavorable.
2. Les soudures doivent, dans la mesure du possible, être positionnées de telle sorte qu'elles se trouvent au centre de gravité du profilé ou, si cela n'est pas possible, symétriquement au centre de gravité.
3. Si possible, les soudures qui rigidifient fortement la construction ne doivent être réalisées qu'à la fin.
4. La construction doit être soudée «de l'intérieur vers l'extérieur» de manière à ce qu'aucune contrainte de retrait élevée ne puisse se produire pendant le soudage.
5. Si nécessaire, établir un plan de soudage tenant compte des points susmentionnés.
6. Toujours respecter les règles générales de base de la technique de soudage pour une production à faible contrainte.

6.4 Aspects additionnels

Lors du soudage avant la galvanisation à chaud, d'autres aspects techniques doivent être pris en compte : Les soudures doivent être

réalisées proprement et ne doivent pas présenter de pores ou de morsures. Par exemple, il faut veiller à ce qu'il ne reste pas de laitier au niveau du cordon de soudure, ce qui peut entraîner des défauts de galvanisation, car ces résidus ne sont pas éliminés lors du prétraitement habituel dans l'usine de galvanisation (Ill. 18). De plus, les sprays de démoulage qui sont fréquemment utilisés dans les soudures sous gaz de protection pour éviter la combustion des éclaboussures de soudure peuvent altérer le résultat de galvanisation. Ils déposent un film à peine visible sur la surface de l'acier qui ne s'enlève pas pendant le prétraitement et entraîne des défauts de galvanisation à chaud. Il est donc essentiel de n'utiliser que des produits exempts de graisse et de silicone et de les appliquer avec parcimonie.



Ill. 18 : Défauts au niveau de la couche de zinc en raison de laitier non éliminé

Si la composition chimique du matériau de remplissage diffère considérablement de celle du matériau de base, il peut y avoir des différences significatives dans l'apparence et l'épaisseur de la couche de zinc au niveau des soudures. Les fils à souder avec une teneur relativement élevée en silicium sont couramment utilisés aujourd'hui, en particulier pour le soudage sous gaz de protection. Si le cordon de soudure contient une grande quantité de silicium, cela peut toutefois influencer le résultat de la galvanisation à chaud. Ceci est particulièrement évident dans le cas des soudures soumises à une rectification plane, où une teneur élevée en silicium dans la soudure a donné lieu à une couche de zinc beaucoup plus épaisse qui se distingue visuellement de son environnement.

Si une pièce en acier s'est déjà déformée lors du soudage, elle peut être redressée avant la galvanisation à chaud par flamme (dressage à chaud) et par pression hydraulique (dressage à froid). Cependant, pour des raisons de coût, il est conseillé de ne pas fournir d'efforts trop importants et une précision exagérée pour effectuer ces travaux de dressage, car dans certaines circonstances, il faut s'attendre à ce que la déformation se reproduise pendant le processus de galvanisation.

Si des soudures doivent être réalisées après la galvanisation à chaud, la couche de zinc doit être retirée dans la zone de soudure avant le soudage afin d'obtenir un résultat de bonne qualité. Après soudage, la couche doit être remise en état conformément au chapitre 6.6 «Réparation des revêtements de zinc».

Les composants soudés par brasage tendre et de nombreux types de brasage ne conviennent pas pour la galvanisation à chaud ultérieure.

6.5 Préparation des surfaces

Il ne doit pas y avoir d'impuretés «étrangères» sur les surfaces des pièces à galvaniser. Il s'agit notamment des résidus de peinture, des résidus de laitier, des marquages, des outils de production, etc. Les pièces en acier livrées pour la galvanisation à chaud doivent aussi être au maximum exemptes d'huiles et de graisses. Car il est difficile ou impossible à dissoudre avec de l'acide de décapage. Cependant, une surface absolument lisse est une condition indispensable pour une galvanisation impeccable.

Les impuretés inhérentes comprennent la rouille et la calamine qui sont causées par l'oxydation de la surface de l'acier. Dans le cadre du prétraitement du matériau galvanisé dans l'usine de galvanisation, ces couches inhérentes à la surface de l'acier sont facilement et complètement éliminées par décapage à l'acide chlorhydrique

dilué. Les constructions sont généralement sablées lors de la production dans les entreprises de construction métallique. Il faut veiller à ce que les résidus d'abrasif soient complètement éliminés de la construction (p. ex. dans les coins et les creux).

L'acier doit être exempt de chevauchements et d'irrégularités tels que des cloques et des défauts de laminage conformément aux conditions générales de livraison pour la qualité de surface de l'acier (par exemple EN 10021, EN 10163-1, EN 10163-2, EN 10163-3 et EN 10221).

Au niveau des bords oxycoupés, notamment de ceux découpés au plasma (p. ex. décarburation), cela peut entraîner des modifications de la surface de la pièce dans la zone des surfaces de coupe. Ces changements peuvent également modifier la réaction fer-zinc obtenue, ce qui entraîne la formation de couches de zinc dont l'épaisseur est inférieure aux valeurs standard requises. De plus, l'adhérence est massivement réduite, ce qui peut entraîner l'écaillage de la couche de zinc. C'est pourquoi il est recommandé de reprendre les surfaces oxycoupées sur au moins 0,3 mm (p. ex. par polissage) et de casser tous les bords.

Les bavures au niveau des trous ou des bords doivent être enlevées avant la galvanisation.

Pour les pièces dont le revêtement est appliqué après la galvanisation à chaud (système duplex), tous les bords doivent être biseautés sur au moins 1 x 1 mm ou de préférence arrondis sur un rayon d'au moins 2 mm.

6.6 Réparation des couches de zinc

Lors du transport ou de l'assemblage de composants galvanisés à chaud, la couche de zinc peut être localement endommagée. De tels défauts doivent être réparés par un professionnel. La norme SN EN ISO 1461 régit la réparation des défauts. Elle stipule à la section 6.3 : «La somme des surfaces sans revêtement à réparer ne doit pas dépasser 0,5 % de la surface totale d'une pièce. Une seule surface sans revêtement ne doit pas dépasser 10 cm². Dans le cas de plus grandes surfaces sans revêtement, la pièce en question doit être galvanisée à nouveau, à moins que d'autres accords n'aient été conclus entre le donneur et l'entreprise de galvanisation à chaud.»

La réparation doit inclure l'élimination des impuretés, ainsi que le nettoyage et la préparation superficielle nécessaires de la zone endommagée pour en assurer l'adhérence. Il est important que la

surface à traiter soit exempte de saletés et de produits de corrosion. Il est donc conseillé de préparer les surfaces par polissage partiel ou par sablage local.

Sur le chantier, il est recommandé d'appliquer au pinceau une pâte de zinc, un revêtement de poussière ou de lamelles de zinc pour la réparation. En règle générale, le zinc en aérosol est inadapté. La projection thermique de zinc ou l'application d'une soudure au zinc sont également possibles. L'épaisseur de la couche de la zone réparée doit être d'au moins 100 µm, sauf accord contraire.

Si un revêtement supplémentaire doit être appliqué sur une pièce galvanisée à chaud (duplex), la réparation doit être effectuée conformément à la norme SN EN 15773:2018 par projection thermique de zinc ou avec une soudure à base d'alliage de zinc à basse fusion. Le galvaniseur doit en informer au préalable son donneur d'ordre et l'opérateur du revêtement afin de s'assurer que le procédé utilisé est compatible avec le système de revêtement et le processus de pulvérisation utilisé.

7 Revêtements

Le revêtement d'un système duplex peut être réalisé par pulvérisation selon la norme DIN 55633 ou peinture liquide (DIN EN ISO 12944-5). Ces revêtements organiques doivent résister aux être résistants aux influences de l'environnement (intempéries, rayonnement solaire, chaleur, froid, humidité, charges chimiques) et être particulièrement adaptés pour un revêtement en zinc.

Un revêtement sans défaut au niveau technique et conceptuel nécessite une construction adaptée au revêtement, un meulage fin de la galvanisation à chaud ainsi qu'un prétraitement approprié de la surface en zinc.

La série de normes SN EN ISO 12944 décrit les mesures à respecter lors de l'application du revêtement de manière générale et de systèmes duplex en particulier pour la protection anticorrosion.

La norme SN EN 15773 régit le revêtement des composants galvanisés à chaud par pulvérisation. L'exécution de nombreuses réglementations de cette norme (prétraitement de surface, etc.) est également recommandée pour les systèmes duplex avec de la peinture liquide. Un revêtement par pulvérisation est toutefois généralement plus résistant aux chocs, plus rapide à appliquer, plus économique et plus écologique qu'un revêtement de peinture liquide.

7.1 Obligation d'information

Il est conseillé d'informer à temps le donneur d'ordre de la qualité de surface d'un revêtement duplex et de déterminer ensemble la qualité du meulage fin requise à l'aide d'échantillons limites.

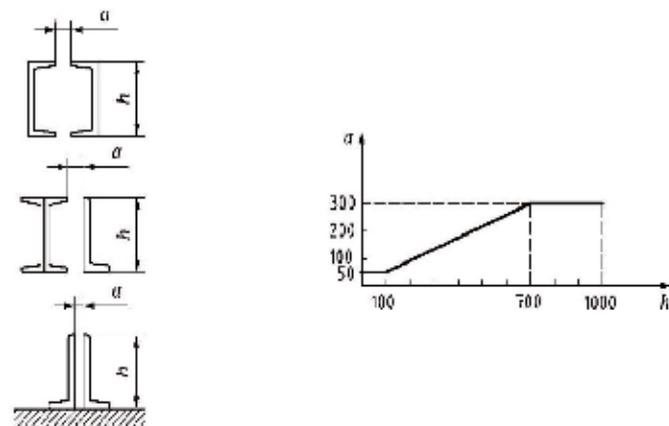
Le galvaniseur et l'opérateur du revêtement doivent être informés, au moment de l'attribution du mandat, de l'usage auquel les produits seront destinés, du type de revêtement et des exigences particulières éventuelles, ainsi que de la catégorie de corrosivité à laquelle les produits à traiter seront exposés.

Le donneur doit convenir avec le galvaniseur et l'opérateur du revêtement de l'état superficiel requis des composants avant le revêtement et de la responsabilité de cette qualité de surface (voir également les critères d'évaluation et les exigences minimales de l'article 9), et fournir tout échantillon limite éventuellement applicable.

7.2 Construction adaptée au revêtement

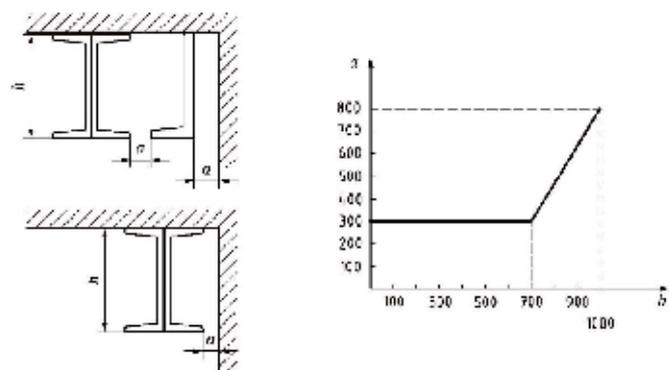
Dès la planification et la construction, l'accessibilité et l'atteignabilité doivent être prises en compte pour l'exécution, le contrôle et l'entretien de la protection anticorrosion. L'accessibilité signifie que l'espace entre les ouvrages et/ou les composants permet l'accès des personnes. L'atteignabilité signifie que toutes les surfaces peuvent être préparées, revêtues et inspectées à la main à l'aide d'outils.

Selon la norme SN EN ISO 12944-3:2017, les distances et dégagements suivants doivent être respectés.



- a distance minimale admissible entre deux composants ou entre un composant et une surface adjacente (mm)
- h hauteur maximale des composants à atteindre par l'opérateur (mm)

III. C.1 – Dimensions minimales pour des distances étroites entre les surfaces selon la norme SN EN ISO 12944-3:2017

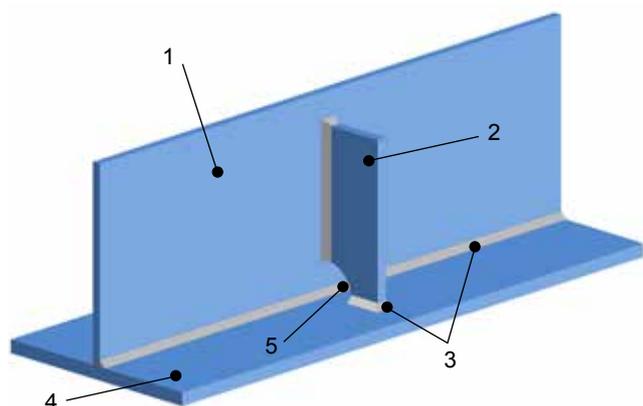


- a distance minimale admissible entre deux composants ou entre un composant et une surface adjacente (mm)
- h hauteur maximale des composants à atteindre par l'opérateur (mm)

III. C.2 – Dimensions minimales pour des distances étroites entre les surfaces selon la norme SN EN ISO 12944-3:2017

Si l'élément de construction à réaliser doit atteindre des hauteurs supérieures à 1000 mm, la distance a doit de préférence être d'au moins 800 mm.

Les évidements dans les nervures de renforcement, les traverses ou les composants similaires doivent avoir un rayon d'au moins 50 mm pour permettre une préparation de la surface et un revêtement adéquats (voir III. D.7). Si le renfort d'un évidement est épais (p. ex. > 10 mm), l'épaisseur de ce renfort doit être rétrécie pour faciliter la préparation de la surface et le revêtement.



- | | |
|---|--------------------------|
| 1 | Entretoise |
| 2 | Renfort |
| 3 | Cordons de soudure |
| 4 | Bride inférieure |
| 5 | Cavité ($r \geq 50$ mm) |

III. D.7 – Conception anticorrosion des renforts selon la norme SN EN ISO 12944-3:2017

Si le concepteur ne peut pas suivre les recommandations susmentionnées, des mesures spéciales doivent être prises.

7.3 Meulage fin

En complément du nettoyage de la couche de zinc exigé par la norme SN EN ISO 1461 (élimination des résidus de cendres de zinc, des résidus de flux, des pointes de zinc), un nettoyage fin appelé «meulage fin» est nécessaire pour le revêtement. Le meulage fin et le lissage sont réalisés sur les zones de la couche de zinc qui donnent un mauvais aspect décoratif de la surface, comme p. ex. les inclusions de zinc dur, les épaissements de zinc, les zones où l'adhérence entre le zinc et l'acier est insuffisante, les accumulations de zinc, les pointes, gouttes et écoulements de zinc.

Après le meulage fin, la surface en zinc doit dans tous les cas être exempte d'aspérités. Les petits reliefs pointus causés par des éclats d'acier qui ont été laminés et les autres reliefs gênants doivent être éliminés par lissage, p. ex. avec du papier de verre. Toutefois, il faut veiller à ce que l'élimination du zinc pendant la préparation des revêtements organiques n'entraîne en aucun cas une diminution de l'épaisseur du revêtement en dessous du minimum spécifié au point 4.5.

Si la surface revêtue est soumise à des exigences décoratives plus élevées, les points suivants doivent être respectés et le client doit en être informé à l'avance :

- Les défauts de surface et les inégalités présents sur la couche de zinc sont clairement visibles après le revêtement.
- Un léger épaissement (oblique) de la couche de zinc doit être éliminé, à condition qu'il n'empêche ou n'endommage pas l'utilisation du produit telle qu'indiquée au préalable par le client.
- La rugosité de surface (due au processus de galvanisation) ne doit pas être considérée comme désavantageuse.
- Les irrégularités de la surface du matériau de base, comme par exemple le surlaminage, les soudures, les écailles et les traces de rouille restent visibles après la galvanisation à chaud ou ne le deviennent qu'à ce moment-là.
- L'utilisation de matériaux de base dont la composition est inadaptée ou critique pour la galvanisation à chaud peut entraîner des irrégularités clairement visibles sur les surfaces ou sur les bords oxycoupés.
- Un fil à souder à faible teneur en silicium peut être utilisé pour éviter un dépôt élevé de zinc sur les cordons de soudure.
- Les soudures sont soumises à une rectification plane uniquement sur demande car cette dernière peut endommager les alliages de zinc et ainsi réduire la qualité.

7.4 Test de réception après le meulage fin

Étant donné qu'aucun traitement ultérieur de la couche de zinc n'est possible après le revêtement, il est recommandé que le donneur d'ordre procède à un test de réception après le meulage fin.

Le processus de galvanisation à chaud doit être vérifié en ce qui concerne l'épaisseur des couches et les irrégularités éventuelles, ainsi que la qualité de la surface. Les caractéristiques déterminées et les éventuelles mesures correctives doivent être consignées dans un protocole de transfert.

Avant d'appliquer les systèmes de revêtement, l'opérateur du revêtement doit inspecter visuellement l'état de la couche de zinc et son aptitude à servir de support de revêtement. L'opérateur du revêtement est responsable de l'aspect visuel général.

7.5 Travaux de dressage et autres usinages ultérieurs

Avant l'application du revêtement, il faut vérifier l'étrépage des composants, les redresser le cas échéant et retravailler les trous, filetages, etc. dès que cela s'avère nécessaire.

7.6 Prévention de la condensation après la galvanisation

L'humidité et la condensation favorisent la formation de produits de corrosion du zinc, ce qui peut avoir un effet négatif sur la qualité du système duplex. Ces produits de corrosion peuvent être plus difficiles à éliminer pendant le prétraitement.

Les galvaniseurs et les opérateurs du revêtement doivent protéger les pièces galvanisées de l'humidité pendant le stockage, l'emballage et le transport, et éviter les écarts importants de température. De la condensation peut se former sur les produits froids s'ils sont placés dans une pièce plus chaude.

Les pièces galvanisées doivent être séparées par des pièces intermédiaires et ne doivent jamais être emballées hermétiquement.

Lors du transport en train, les pièces galvanisées doivent être protégées contre le contact avec la poussière de frein.

7.7 Prétraitement de la surface en zinc

Cette étape détermine essentiellement le «succès» du revêtement.

Le prétraitement doit éliminer toutes les impuretés sur la surface du zinc, y compris la graisse, la saleté, les résidus de flux et les produits de corrosion du zinc, qui pourraient affaiblir l'adhérence et la résistance à la corrosion du système de revêtement appliqué ultérieurement.

Les supports récemment galvanisés peuvent être immédiatement soumis à un prétraitement chimique. En revanche, les couches de zinc présentant une rouille blanche visible doivent être traitées à l'aide du sablage Sweep.

- Lors d'un prétraitement chimique tel que le chromatage ou des procédés équivalents, les couches d'oxydation du zinc existantes ainsi que les résidus de saleté et de graisse sont éliminés dans des bains de nettoyage spéciaux et une couche dite de conversion est ensuite appliquée. Les couches de conversion sont des couches non métalliques, le plus souvent inorganiques, très minces et présentes sur une surface métallique, qui sont généralement produites par réaction chimique d'une solution aqueuse de traitement avec le support métallique.
- Lors d'un prétraitement mécanique tel que le Sweep, la surface est rendue rugueuse à l'aide d'un agent de sablage non métallique et ainsi agrandie. Une adhérence optimale de la peinture est ainsi garantie (cela ne correspond pas exactement à la norme EN 19773 et est correctement décrit au point 2.5). Par sablage, toutes les impuretés et produits de corrosion essentiels doivent être éliminés de la surface du zinc, mais l'épaisseur de la couche de zinc doit être réduite d'un maximum de 10 µm. Après le Sweep, la surface doit avoir un aspect mat uniforme. L'état de surface requis doit faire l'objet d'un accord entre les parties contractantes, de même que l'épaisseur résiduelle de la couche de zinc.

Après un prétraitement mécanique ou chimique, la surface doit être protégée de l'humidité et de la saleté.

Si le revêtement ne peut pas être appliqué immédiatement après le prétraitement mécanique, l'acier galvanisé à chaud et soumis au sablage doit être stocké dans un local climatisé. Le revêtement doit être appliqué dans les 12 heures suivant le sablage. Si l'humidité relative RH ≥ est de 70 %, le temps entre le sablage et l'application du revêtement par pulvérisation est limité à 3 heures, sinon des produits de corrosion du zinc peuvent se former. Dans le cas des revêtements de zinc prétraités chimiquement, il faut respecter le délai spécifié par le fournisseur des produits chimiques.

7.8 Revêtement

En fonction du prétraitement et de la catégorie de corrosivité déterminés au préalable, les composants sont d'abord pourvus d'un apprêt approprié. L'apprêt doit bien adhérer à la couche de zinc et créer ainsi une liaison avec la couche de finition. De plus, ce procédé empêche autant que possible l'infiltration du revêtement. Dans le prétraitement chimique, c'est la couche de conversion qui empêche l'infiltration. La couche résistante aux intempéries, colorante et qui protège des influences environnementales est appliquée à ce moment-là par pulvérisation ou sous forme de peinture liquide.

Pendant le processus de cuisson, la température de surface de l'objet doit être inférieure à 200 °C pour les produits galvanisés à chaud afin d'éviter toute modification de la structure de la couche de zinc, à moins qu'un schéma de charge n'ait été établi en termes de temps et de température et dont l'aptitude peut être démontrée.

Au cours du processus de cuisson, le dégazage de la couche de zinc peut entraîner des défauts au niveau du film tels que des bulles, des cratères, etc. Afin de minimiser ce problème, l'utilisation de peintures en poudre avec des additifs appropriés s'est avérée efficace. Le recuit à la température de cuisson ou l'application d'un apprêt ou d'un revêtement intermédiaire peut également apporter des améliorations.

Les matériaux de revêtement et leur application doivent être adaptés les uns aux autres. Si possible, les matériaux doivent provenir d'un seul fabricant.

Seuls les matériaux de revêtement pour lesquels le fabricant a confirmé leur aptitude à la galvanisation à chaud peuvent être utilisés pour les systèmes duplex.

Le transport et le stockage des pièces finies revêtues doivent être organisés de manière à ce qu'ils ne provoquent pas de contraintes de corrosion supplémentaires.

7.9 Réparation de revêtements organiques

Les réparations apportées au système de revêtement doivent généralement être effectuées conformément aux instructions du fabricant de la peinture ou de la poudre et offrir une protection contre la corrosion équivalente à celle du revêtement non endommagé.

Avant de commencer les travaux de réparation, il convient de vérifier la préparation de surface nécessaire des anciens revêtements existants et la compatibilité du système de revêtement à utiliser.

8 Protection anticorrosion

8.1 Principes

Lors du choix du système de protection anticorrosion, il faut tenir compte non seulement du lieu d'utilisation et des influences extérieures, mais aussi de la conception des composants, afin de garantir un accès sûr et facile pour le nettoyage et la réparation.

Le cas échéant, les outils nécessaires à l'exécution des travaux de surveillance et d'entretien (par exemple, points d'ancrage des EPI, ancrages d'échafaudages, etc.) doivent être planifiés et prévus au stade de la conception.

Les interstices, les joints et les liaisons qui se chevauchent sont des zones pouvant subir la corrosion car l'humidité, la saleté et, le cas échéant, les résidus abrasifs de la préparation de surface peuvent s'y accumuler. Une telle corrosion doit généralement être évitée avec un joint d'étanchéité. Le matériau d'étanchéité doit être compatible avec le revêtement anticorrosion.

Le tableau 1 énumère, pour chaque catégorie de corrosivité, l'enlèvement de zinc prévu par un procédé de galvanisation à chaud et la perte de masse de l'acier non protégé causée principalement par la rouille

Catégorie de corrosivité	Perte de masse/diminution de l'épaisseur liées à la surface (après la première année de transfert)				Exemples d'environnements typiques (à titre informatif seulement)	
	Acier non allié		Zinc		Air libre	Intérieur
	Perte de masse g/m ²	Diminution de l'épaisseur μm	Perte de masse g/m ²	Diminution de l'épaisseur μm		
C1 insignifiant	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	–	bâtiments chauffés à atmosphère propre, par exemple bureaux, magasins, écoles, hôtels.
C2 faible	> 10 à 200	> 1,3 à 25	> 0,7 à 5	> 0,1 à 0,7	atmosphères avec un faible niveau de pollution. Surtout zones rurales	bâtiments non chauffés où la condensation peut se produire, p. ex. entrepôts salles de sport
C3 modéré	> 200 à 400	> 25 à 50	> 5 à 15	> 0,7 à 2,1	atmosphères urbaines et industrielles, pollution modérée par le dioxyde de soufre. Zones côtières à faible salinité	enceintes de fabrication avec une humidité élevée et une certaine pollution de l'air, p. ex. industrie alimentaire, blanchisseries, brasseries, laiteries
C4 élevé	> 400 à 650	> 50 à 80	> 15 à 30	> 2,1 à 4,2	zones industrielles et zones côtières à salinité modérée	usines chimiques, piscines, chantiers navals côtiers
C5 très élevé	> 650 à 1500	> 80 à 200	> 30 à 60	> 4,2 à 8,4	zones industrielles avec une humidité élevée et une atmosphère agressive	bâtiments ou zones avec une condensation permanente et avec une pollution élevée
C4 extrême	> 1500 à 5500	> 200 à 700	> 60 à 180	> 8,4 à 25	zones offshore avec une salinité élevée et zones industrielles avec une humidité extrême et une atmosphère agressive, et atmosphères subtropicale et tropicale	zones industrielles avec une humidité extrême et une atmosphère agressive

REMARQUE : Les valeurs de perte pour les catégories de corrosivité sont identiques à celles de la norme ISO 9223.

Tableau 1 de la norme SN EN ISO 12944-2:2017

Éviter les poches, les creux et les renforcements dans lesquels l'eau et la saleté peuvent s'accumuler. Les substances corrosives telles que le sel de déglaceage, doivent être éliminées de la construction au moyen de canaux, de tuyaux de drainage, etc.

Les surfaces inaccessibles après le montage doivent être protégées par un système anticorrosion qui durera toute la durée de vie requise de la structure.

Si le composant peut entrer en contact avec d'autres matériaux de construction, une attention particulière doit être portée aux surfaces de contact. Si nécessaire, il convient d'utiliser des matériaux de revêtement spéciaux, des rubans isolants ou des films anti-adhésifs en plastique.

S'il n'est pas possible d'éviter les appariements de métaux avec la formation d'éléments galvaniques dans la construction, les surfaces de contact doivent être isolées électriquement, par exemple en revêtant les surfaces des deux métaux. Si un seul des métaux de l'assemblage peut être revêtu, le métal le plus noble doit l'être si possible. La protection contre la corrosion cathodique peut également être envisagée.

8.2 Plan de protection anticorrosion

Une bonne protection anticorrosion est un petit projet qui doit être planifié tôt et systématiquement. La planification commence dès la construction anticorrosion. Vous trouverez des informations importantes dans les normes SN EN ISO 12944-2 et SN EN ISO 14713.

L'emplacement du composant est décisif pour le choix du système de protection. Une balustrade de balcon en milieu rural n'est pas comparable à un mur antibruit sur une autoroute. Ces deux objets ne sont pas du tout sollicités de la même manière. Et leurs exigences esthétiques peuvent également être très différentes.

Si l'humidité relative est supérieure à 60 %, si l'environnement est humide ou si la période de condensation est plus longue, il y a un risque élevé de corrosion pour l'acier et la plupart des métaux. Les impuretés déposées en surface, en particulier les chlorures et les sulfates, accélèrent la propagation de la corrosion. Les substances déposées sur une surface en fer ou en acier augmentent la corrosion lorsqu'elles absorbent l'humidité ou se dissolvent à la surface du fer ou de l'acier. Les fluctuations de température peuvent également accélérer la corrosion.

Le microclimat, c'est-à-dire les conditions à proximité immédiate de la construction, doit être déterminé aussi précisément que possible pendant la phase de planification, car il permet une évaluation plus précise des conditions probables du composant par rapport au climat. Le dessous d'un pont (surtout au-dessus de l'eau) est un exemple de microclimat.

La corrosion des structures d'acier à l'intérieur des bâtiments dépend des conditions intérieures.

Les constructions métalliques partiellement couvertes et ouvertes sont conçues sans charges spéciales dues à l'environnement extérieur.

Les bâtiments industriels, les environnements chimiques, humides ou contaminés doivent faire l'objet d'une attention particulière.

Dans le cas de structures en acier au niveau de l'enveloppe du bâtiment, il y a un risque accru de corrosion due à la condensation, surtout si la structure en acier pénètre dans l'enveloppe du bâtiment, est en contact avec son revêtement extérieur ou est encadrée dans la façade.

L'influence corrosive de l'atmosphère ne peut être déterminée avec précision qu'en mesurant la diminution de la masse ou de l'épaisseur des échantillons standards sur place.

S'il n'est pas possible de stocker des échantillons standards sur place dans l'environnement concerné, la catégorie de corrosivité peut être estimée à partir des exemples d'environnements types donnés dans le tableau 1 de la norme SN EN ISO 12944-2:2017. Toutefois, les exemples donnés sont purement informatifs et peuvent parfois conduire à des hypothèses inexacts. Le tableau 1 énumère, pour chaque catégorie de corrosivité, l'élimination prévue du zinc par un procédé de galvanisation à chaud et la perte de masse de l'acier non protégé causée principalement par la rouille.

Les catégories de corrosivité peuvent également être estimées en tenant compte de l'effet combiné des facteurs environnementaux suivants : Durée annuelle d'humidification, concentration annuelle moyenne de dioxyde de soufre et exposition superficielle moyenne annuelle aux chlorures (voir ISO 9223).

Dans les tunnels routiers, par exemple, l'environnement est souvent très agressif et acide en raison des concentrations élevées de dioxyde de soufre et d'oxyde d'azote, et des dépôts contenant des chlorures sont à prévoir.

Une attention particulière doit être portée aux structures en acier qui sont en partie immergées dans l'eau ou dans le sol. Dans de telles conditions, la corrosion se limite souvent à une petite partie de la structure qui peut toutefois présenter un taux de corrosion élevé.

La composition de l'eau a une influence significative sur la corrosion de l'acier. À cet effet, la norme SN EN ISO 12944-2 prévoit quatre environnements aquatiques dans le tableau 2.

Catégorie	Environnement	Exemples d'environnements et d'ouvrages
Im1	eau douce	constructions fluviales, centrales hydroélectriques
Im2	eau salée ou saumâtre	structures en acier en contact avec l'eau sans protection cathodique contre la corrosion (p. ex. zones portuaires avec structures en acier telles que des écluses, des portes, des jetées)
Im3	terre	réservoirs enterrés, piles en acier, tuyaux en acier
Im4	eau salée ou saumâtre	structures en acier en contact avec l'eau avec protection cathodique contre la corrosion (p. ex. structures offshore)

REMARQUE : Dans les catégories de corrosivité Im1 et Im3, une protection cathodique contre la corrosion peut être utilisée avec un système de revêtement dûment testé.

Tableau 2 de la norme SN EN ISO 12944-2:2017

Dans le sol, la corrosion dépend de sa teneur en minéraux et de la nature de ces minéraux, ainsi que de la présence de composants organiques, de la teneur en eau et en oxygène. La corrosivité du sol est fortement influencée par le degré d'aération. Les sols calcaires et sablonneux (à condition qu'ils ne contiennent pas de chlorure) sont généralement les moins corrosifs, tandis que les sols argileux et les marnes argileuses entraînent une corrosion dans une mesure limitée. Dans les tourbières et les sols tourbeux, la propagation de la corrosion dépend de la teneur totale en acide.

La formation d'éléments de corrosion (voir EN 12501-1 pour plus d'informations) peut entraîner une augmentation locale de la corrosion (corrosion par piqûres) lorsque des structures métalliques ou des canalisations plus grandes traversent différents types de sol, des sols avec des teneurs en oxygène différentes, des sols avec des niveaux d'eau souterraine différents, etc.

Des éléments de corrosion peuvent également au niveau des zones de contact sol/air et sol/eau souterraine et peuvent intensifier la propagation de la corrosion. Il convient donc d'accorder une attention particulière à ces zones.

L'utilisation d'une protection cathodique pour les constructions dans le sol ou dans l'eau peut modifier à la fois les exigences du revêtement et prolonger la durabilité de la construction. L'avis d'un expert devrait être sollicité afin de tenir compte de toutes les conditions applicables.

Charges mécaniques

Les particules transportées par le vent (par exemple le sable) peuvent entraîner des charges d'abrasion (érosion).

Les charges mécaniques peuvent être causées dans l'eau par le mouvement de l'éboulis, l'abrasion par le sable, les vagues, la végétation, etc.

Corrosion accrue due à l'interaction des charges

La corrosion peut se développer plus rapidement sur des surfaces exposées à la fois à des contraintes mécaniques et chimiques. Cela s'applique en particulier aux structures en acier sur les routes sur lesquelles des gravillons ou du sel ont été épandus. En passant, les véhicules projettent de l'eau saline et des gravillons sur des parties de ces structures en acier. La surface est alors exposée aux charges de corrosion causées par le sel et en même temps aux charges mécaniques causées par la projection de gravillons.

D'autres parties de l'ouvrage sont aspergées par les embruns salins. Cela affecte, par exemple, le dessous des ponts qui passent sur des routes salées. On suppose généralement que la zone du brouillard de pulvérisation s'étend jusqu'à 15 m de la route en question.

8.3 Durée de protection d'une galvanisation à chaud dans divers environnements

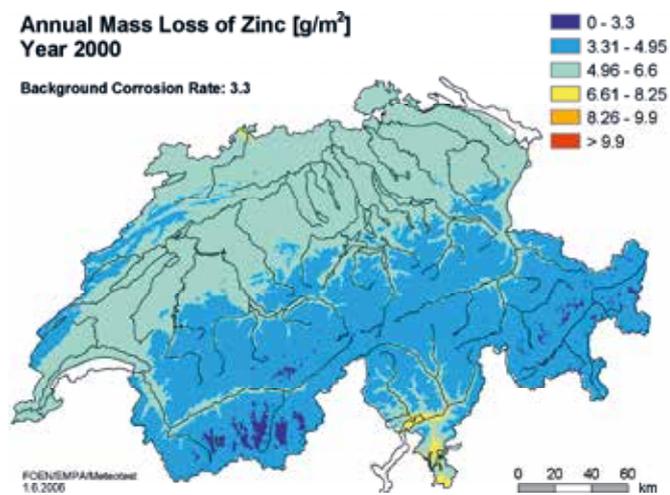
La durée de protection d'une galvanisation à chaud est principalement déterminée par l'épaisseur du revêtement de zinc et la catégorie de corrosivité. Le tableau 2 de la norme SN EN ISO 14713-1:2017 indique la durée de protection à attendre de la galvanisation à chaud en fonction de l'épaisseur du revêtement et de la catégorie de corrosivité.

Système	Couche de zinc d'épaisseur minimale (µm)	Catégorie de corrosivité, durée de protection la plus courte/longue en années			
		C3	C4	C5	CX
Galvanisation à chaud selon la norme ISO 1461	85	40/> 100	20/40	10/20	3/10
	140	67/> 100	33/67	17/33	6/17
	200	95/> 100	48/95	24/48	8/24
Galvanisation à chaud selon la norme EN 10346 (galvanisation par bande/Senzimir)	20	10/29	5/10	2/5	1/2
	42	20/60	10/20	5/10	2/5

Extrait du tableau 2 de la norme SN EN ISO 14713-1:2017

La durée de la protection anticorrosion à l'extérieur dépend de l'endroit où la structure est installée. En Suisse, environ 95 % de la surface est affectée aux catégories de corrosivité C2 et C3 (voir III).

20). Une construction avec une épaisseur de couche de zinc de 85 µm sur un site de catégorie C3 (urbain, industriel) peut avoir une durée de vie d'environ 50 ans.



III. 20 : Dégradation annuelle du zinc en g/m² à l'extérieur

La couche de zinc forme à la fois une barrière et une protection cathodique contre la corrosion, qui protège l'acier même en cas de rayures dans la couche de zinc.

La galvanisation à chaud dans de l'eau chaude et douce est moins appropriée. Une forte corrosion du zinc peut également être provoquée par la condensation, en particulier entre 55 °C et 80 °C (p. ex. dans les saunas).

De plus amples informations sur la résistance à la corrosion de la galvanisation à chaud lorsque l'élément est installée dans le sol, l'eau, le béton et en contact avec le bois, les produits chimiques et d'autres métaux sont disponibles dans SN EN ISO 14713-1.

8.4 Protection anticorrosion par des systèmes de peinture

Il existe de nombreux systèmes de revêtement différents pour l'acier sur le marché pour une grande variété d'applications.

Pour que l'opérateur du revêtement puisse déterminer le prétraitement correct et le système de revêtement approprié, il a besoin au préalable des informations suivantes fournies par le donneur d'ordre :

- Application, matériau, surface, dimensions et poids des composants à revêtir
- Restrictions éventuelles concernant les matériaux ou les composants en matière de température de cuisson
- Cahier des charges pour le traitement de surface
- Application intérieure/extérieure
- Catégorie de corrosivité
- Teinte avec niveau de brillance et, le cas échéant, indications métallique/mica/structure
- Revêtement évent. avec résistance accrue aux UV/aux intempéries
- Charges mécaniques spéciales
- Surfaces de contact avec le sol, l'eau, le béton, etc.
- Surfaces avec traitement spécial, p. ex. pour assemblages antidérapants ou raccords en plastique liquide

8.5 Mode de fonctionnement des systèmes duplex

Les systèmes duplex sont basés sur la protection mutuelle des deux partenaires. La galvanisation à chaud est protégée de l'environnement et des influences chimiques par le revêtement organique. L'élimination du zinc est évitée pendant plusieurs années, la couche de zinc reste longtemps sous le revêtement dans un état «comme neuf». Cela permet de prolonger la durée de vie de la galvanisation à chaud.

Jusqu'à la catégorie de corrosivité C3, les dommages mécaniques mineurs subis par le revêtement ne présentent qu'un inconvénient visuel. La robustesse élevée et la résistance à l'abrasion du revêtement en zinc sous-jacent résiste également à des charges élevées. Il est ainsi possible d'éviter autant que possible la corrosion du composant duplexé.

8.6 Durée de protection des systèmes duplex

En général, il faut indiquer à l'opérateur du revêtement l'endroit où le composant doit être utilisé. C'est la seule façon de sélectionner et d'appliquer le système optimal. La solution optimale se réfère ici à la qualité et au prix. Car plus les exigences sont élevées, plus l'effort de revêtement et donc le prix le sont également.

Les matériaux de revêtement doivent bien adhérer à la galvanisation à chaud. Les substances organiques qui réagissent avec la galvanisation à chaud (voir aussi le terme «saponification») ne conviennent pas.

Les systèmes duplex offrent de bonnes conditions préalables pour une durée de protection aussi longue que possible.

Selon le cas, on utilise des couches d'apprêt et de finition appropriées ou des revêtements monocouches.

La condition préalable à un système duplex efficace est une bonne protection du revêtement en zinc chimiquement réactif. Le tableau D.1 de la norme SN EN ISO 12944-5:2018 spécifie les épaisseurs nominales de couche qui doivent généralement s'appliquer aux systèmes de revêtement par galvanisation à chaud avec diverses charges de corrosion et une durabilité attendue.

Le fabricant de matériaux de revêtement doit confirmer expressément l'aptitude des matériaux et du système de revêtement pour l'acier galvanisé, par exemple dans les fiches techniques. En général, quel que soit le substrat à revêtir, les matériaux d'un système de revêtement doivent être adaptés les uns aux autres et provenir du même fabricant.

À partir de la catégorie de corrosivité C4, il est conseillé de faire venir un expert. Habituellement, le fournisseur de peinture peut aider dans ce cas.

En particulier dans les zones de corrosion très élevées (catégorie de corrosivité C 5), il convient de vérifier très soigneusement si un système duplex est adapté en tant que système de protection anticorrosion. Les systèmes duplex ne conviennent pas notamment en cas d'exposition très élevée aux sels ou aux produits chimiques, p. ex. aux acides ou aux solutions alcalines. Les usines de galvanisation (exposition à l'acide), les étables d'élevage et les halles de compostage constituent des applications particulièrement critiques pour les systèmes duplex. Dans ce cas, les systèmes de revêtement sur acier sans galvanisation peuvent être la meilleure alternative.

Tableau D.1 – Systèmes de revêtement en acier galvanisé à chaud pour les catégories de corrosivité C2 à C5												
N° système	Catégorie de corrosivité	Revêtement de base			Revêtement(s) ultérieur(s)	Système de revêtement			Durée de protection ^a			
		Type de liant	Nombre de couches	NDFT μm		Type de liant	Nombre de couches	NDFT μm	l	m	h	vh
G2.01	C2	EP, PUR, AY	1	80		1	80	X	X	X		
G2.02		AY	1	80	AY	2	160	X	X	X	X	
G2.03		EP, PUR	1	80 à 120	EP, PUR, AY	1 à 2	120	X	X	X	X	
G3.01	C3	EP, PUR, AY	1	80		1	80	X	X			
G3.02		EP, PUR	1	80 à 120	EP, PUR, AY	1 à 2	120	X	X	X		
G3.03		AY	1	80	AY	2	160	X	X	X		
G3.04		EP, PUR	1	80	EP, PUR, AY	2	160	X	X	X	X	
G3.05		AY	1	80	AY	2 à 3	200	X	X	X	X	
G4.01	C4	EP, PUR, AY	1	80		1	80	X				
G4.02		EP, PUR	1	80 à 120	EP, PUR, AY	1 à 2	120	X	X			
G4.03		AY	1	80	AY	2	160	X	X			
G4.04		EP, PUR	1	80	EP, PUR, AY	2	160	X	X	X		
G4.05		AY	1	80	AY	2 à 3	200	X	X	X		
G4.06		EP, PUR	1	80	EP, PUR, AY	2 à 3	200	X	X	X	X	
G5.01	C5	EP, PUR	1	80 à 120	EP, PUR, AY	1 à 2	120	X				
G5.02		AY	1	80	AY	2	160	X				
G5.03		EP, PUR	1	80	EP, PUR, AY	2	160	X	X			
G5.04		AY	1	80	AY	2 à 3	200	X	X			
G5.05		EP, PUR	1	80	EP, PUR, AY	2 à 3	240	X	X	X	X	

Tableau D.1 de la norme SN EN ISO 12944-5:2018

Légende des abréviations du tableau ci-dessus :

AY Résine acrylique EP Résine époxy
PUR Polyuréthane NDFT Épaisseur de couche théorique

Durée de protection l low (courte) jusqu'à 7 ans
m medium (moyenne) de 7 à 15 ans
h high (longue) de 15 à 25 ans
vh very high (très longue) plus de 25 ans

Dans la pratique, les composants sont souvent exposés à des charges qui vont au-delà des effets des intempéries. Les influences ou contraintes mécaniques pendant le transport et le montage en font tout autant partie que, par exemple, les chutes de pierres et l'abrasion pendant la phase d'utilisation. De telles influences peuvent également réduire considérablement la durée de protection des systèmes duplex et devraient être prises en compte de manière adéquate.

Une attention particulière doit être accordée aux points de transition entre le béton et l'acier, notamment dans le cas de structures composites exposées à de fortes charges de corrosion. Ici, le revêtement de la pièce en acier doit pénétrer d'environ 50 mm dans le béton et le joint doit être scellé sur toute sa circonférence (voir également la brochure CT001 de Metaltec Suisse).

8.7 Éléments de liaison

Lors du raccordement de composants en métaux moins nobles avec des composants en métaux plus nobles, il faut faire preuve de prudence en raison du risque de corrosion de contact. Les assemblages dans lesquels le métal le moins noble a une surface plus petite que le métal le plus noble sont particulièrement critiques. En revanche, l'utilisation d'éléments de fixation en acier inoxydable de faible surface dans des composants en métaux moins nobles, et en présence de conditions moins critiques n'est pas préoccupante. Toutefois, il ne faut pas utiliser d'éléments de ressort précontraints (p. ex. rondelles-ressorts et rondelles éventail) dans de tels cas car ils sont sensibles à la corrosion par fissuration et peuvent nuire à la résistance à long terme de l'assemblage.

9 Évaluations visuelles des surfaces duplex

Le contrôle est normalement effectué à l'extérieur à une distance d'au moins 5 m et à l'intérieur à une distance d'au moins 3 m.

À l'extérieur, l'essai doit être effectué à la lumière du jour diffuse, à l'intérieur sous un éclairage normal (diffus) destiné à l'usage des locaux, sous un angle de vision perpendiculaire à la surface.

Les caractéristiques doivent être classées comme remarquables si elles sont reconnues dans les conditions susmentionnées. Le marquage antérieur n'est pas permis.

Un aspect essentiel pour l'évaluation et le niveau des exigences minimales est l'importance de l'aspect de la surface à évaluer. Les mêmes irrégularités de surface sont, par exemple, beaucoup moins sévères sur un mât de téléphérique que sur un profilé de main courante d'une balustrade de balcon.

Niveau d'exigences minimales en matière d'apparence et de toucher				
Critères d'évaluation		Bas p. ex. construction en acier pour les ponts hors trafis	Moyen p. ex. structure de balcon	Élevé p. ex. main courante sur garde-corps dans un espace de vie
Petites élévations aiguës, pointes en zinc, crêtes, arêtes vives et recouvrements de joints		Non autorisé		
Rainures de meulage, cordons de soudure appliqués sur la surface, épais-sissements inclinés de la couche de zinc		Admissible	Admissible de manière limitée	Admissible que si discret et non dérangent au toucher
Irrégularités liées au produit semi-fini (p. ex. bosses, bandes de traction, cordons de soudure longitudinaux, empreintes, structures)		Admissible dans les limites définies dans la norme produit correspondante		
Structure de fabrication et dommages mécaniques (p. ex. bosses, renflements, rayures)		Admissible	Admissible de manière limitée	Admissible que si discret et non dérangent au toucher
Cratères, bulles		Diamètre < 1 mm autorisé	Diamètre < 0,5 mm, ≤ 15 pièces par m ou m ² en cas de revêtement en poudre	Diamètre < 0,5 mm, ≤ 10 pièces par m ou m ² en cas de revêtement en poudre
Inclusions		Admissible	Diamètre < 0,5 mm, ≤ 10 pièces par m ou m ²	Diamètre < 0,5 mm, ≤ 5 pièces par m ou m ²
Écailllements		Admissible uniquement lorsque la protection anticorrosion a été améliorée de la même manière	Admissible que si discret et lorsque la protection anticorrosion a été améliorée de la même manière	Non autorisé
Couleurs de peinture, coulures/gouttes de zinc		≤ 3 par m ou m ²	Admissible que si discret et ≤ 1 par m ou m ²	Non autorisé
Peau d'orange		Admissible		Structure fine autorisée; structure grossière autorisée uniquement si une épaisseur de couche > 120 µm est néc.
Différences de brillance et écarts de teinte		Admissible	Admissible que si discret	

D'autres distances et critères de visibilité ou d'autres exigences minimales doivent faire l'objet d'un accord contractuel exprès et préalable entre le donneur d'ordre et l'entreprise chargée de l'exécution.

Dans tous les cas, il est important d'indiquer clairement à l'avance au galvaniseur et à l'opérateur du revêtement les surfaces avec des exigences minimales élevées en matière d'aspect et de toucher (par exemple au moyen de marques colorées sur les plans détaillés). Si d'autres mesures sont nécessaires pour améliorer la qualité de la surface, par exemple le meulage des cordons de soudure, elles doivent faire l'objet d'un accord préalable avec les entreprises concernées.

Si des exigences minimales élevées sont imposées à l'aspect et le toucher, il s'avère pertinent pour toutes les parties concernées d'effectuer un test de réception avec protocole de transfert entre le meulage fin et le revêtement.

10 Appel d'offres et attribution des mandats

Étant donné que le terme générique de «galvanisation» regroupe différents procédés ayant des effets protecteurs différents, il est important de formuler avec précision les textes des appel d'offres et des commandes. Il convient de se référer à la norme SN EN ISO 1461, car c'est la seule norme qui garantit la protection contre la corrosion par galvanisation de pièce.

Exemple de texte d'appel d'offre pour une construction en acier galvanisée à chaud :

- Toutes les pièces en acier avec protection anticorrosion par galvanisation à chaud (galvanisation de pièce) selon la norme SN EN ISO 1461.
- La série de normes SN EN 1090 doit également être appliquée pour les constructions en acier et métalliques porteuses.
- Pour les commandes d'acier, l'option «galvanisation à chaud» doit être choisie en fonction de la norme du produit concerné.
- L'ensemble de la construction doit être conçu et fabriqué par galvanisation à chaud conformément aux normes SN EN ISO 1461 et SN EN ISO 14713.
- Tous les éléments de fixation (vis, écrous, rondelles, etc.) doivent être galvanisés à chaud selon SN EN ISO 10684 ou jusqu'à M8 en acier inoxydable A4.

Lors de l'appel d'offres et de la commande de systèmes duplex, la catégorie de corrosivité et la durée de protection requise doivent toujours être spécifiées. Outre la référence à la norme SN EN ISO 1461, il est recommandé de renvoyer à la série de normes SN EN ISO 12944 et, dans le cas du revêtement par pulvérisation, à la norme SN EN 15773.

Il est recommandé d'appliquer une couche de finition très résistante aux intempéries, en particulier pour une utilisation à l'extérieur, au-delà de 2000 m au-dessus du niveau de la mer et avec des couleurs vives. Les peintures hautement résistantes aux intempéries se caractérisent par une tenue de la brillance, une stabilité de la couleur et une facilité de nettoyage accrues.

Exemple de texte d'appel d'offres pour une construction en acier avec revêtement duplex en peinture liquide, approprié pour la catégorie de corrosivité C3, longue durée de protection :

Protection anticorrosion de la construction en acier par système duplex avec peinture liquide, appropriée pour la catégorie de corrosivité C3, longue période de protection (15 à 25 ans)

Exécution selon les normes SN EN ISO 1461, SN EN ISO 12944 et SN EN ISO 14713

Structure du système de protection anticorrosion :

- Galvanisation à chaud (galvanisation de pièce) selon la norme SN EN ISO 1461
- Meulage fin pour revêtement ultérieur
- Travaux de dressage et autres usinages ultérieurs si nécessaire
- Test de réception avec procès-verbal de transfert par le sidérurgiste/constructeur métallique
- Préparation de surface mécanique par sablage Sweep selon la norme SN EN ISO 12944-4,
- 1x apprêt époxy à 2 composants 60 µm (peinture liquide)
- 1x apprêt polyuréthane à 2 composants 60 µm (peinture liquide), teinte, finition satinée

L'ensemble de la construction doit être conçu et fabriqué avec protection anticorrosion conformément aux normes susmentionnées.

La série de normes SN EN 1090 doit également être appliquée pour les constructions en acier et métalliques porteuses.

Pour les commandes d'acier, l'option «galvanisation à chaud» doit être choisie en fonction de la norme du produit concerné.

Seuls les matériaux de revêtement pour lesquels le fabricant a confirmé leur aptitude à la galvanisation à chaud peuvent être utilisés.

Tous les éléments de fixation (vis, écrous, rondelles, etc.) doivent être galvanisés à chaud selon SN EN ISO 10684 ou en acier inoxydable A4. Après concertation, tous les moyens de fixation doivent être revêtus du système décrit ci-dessus après le montage.

Exemple de texte d'appel d'offres pour une construction en acier avec revêtement duplex par pulvérisation, approprié pour la catégorie de corrosivité C3, longue durée de protection :

Protection anticorrosion des constructions en acier par système duplex par pulvérisation, appropriée pour la catégorie de corrosivité C3, longue période de protection (15 à 25 ans)

Exécution selon les normes SN EN ISO 1461, SN EN ISO 12944, SN EN ISO 14713 et SN EN 15773

Structure du système de protection anticorrosion :

- Galvanisation à chaud (galvanisation de pièce) selon la norme SN EN ISO 1461
- Meulage fin pour revêtement ultérieur
- Travaux de dressage et autres usinages ultérieurs si nécessaire
- Test de réception avec procès-verbal de transfert par le sidérurgiste constructeur métallique
- Préparation de surface mécanique par sablage Sweep selon la norme SN EN ISO 12944-4,
- 1x apprêt époxy 60 µm (pulvérisation)
- 1x apprêt polyester 60 µm (peinture liquide), teinte, finition satinée

L'ensemble de la construction doit être conçu et fabriqué avec protection anticorrosion conformément aux normes susmentionnées.

La série de normes SN EN 1090 doit également être appliquée pour les constructions en acier et métalliques porteuses.

Pour les commandes d'acier, l'option «galvanisation à chaud» doit être choisie en fonction de la norme du produit concerné.

Seuls les matériaux de revêtement pour lesquels le fabricant a confirmé leur aptitude à la galvanisation à chaud peuvent être utilisés.

Tous les éléments de fixation (vis, écrous, rondelles, etc.) doivent être galvanisés à chaud selon SN EN ISO 10684 ou en acier inoxydable A4. Après concertation, tous les moyens de fixation doivent être revêtus d'une peinture liquide à 2 composants équivalente après le montage.

11 Nettoyage du revêtement en zinc ou duplex et remise en état

Recommandation de nettoyage :

- Rincer abondamment à l'eau.
- Nettoyer avec un produit mouillant et utiliser une éponge ou un chiffon doux.
- Rincer et sécher.

Absolument interdit :

- Nettoyants contenant des solvants, diluants, acétone, acides, solutions alcalines, nettoyeurs fortement alcalins.
- Nettoyants abrasifs ou adjuvants abrasifs.

Remise en état de la couche de zinc :

Si la durée de vie requise de la structure dépasse la période de protection du revêtement de zinc, la structure doit être remise en état par dézincification et regalvanisation ou par revêtement d'une couche de zinc résiduel.

S'il s'avère nécessaire de prolonger la durée de protection d'une couche de zinc, la remise en état doit avoir lieu avant la formation de rouille, et si possible avant que l'épaisseur résiduelle de la couche de zinc soit inférieure à 20–30 µm.

Remise en état du revêtement :

Avant de commencer les travaux de réparation, il convient de vérifier la préparation de surface nécessaire des anciens revêtements existants et la compatibilité du système de revêtement à utiliser. Pour vérifier les recommandations du fabricant et/ou la compatibilité avec le système de revêtement précédent, des zones d'essai peuvent être utilisées.

En général, il faut noter qu'une surface avec un revêtement résistant aux intempéries peut absorber l'humidité, ce qui accélère la corrosion du métal surtout si cette surface ne peut pas être lavée par la pluie.

Remarques générales :

Si vous avez des questions et/ou des incertitudes, veuillez vous adresser directement à votre zinguerie ou à la SFF (Schweizerische Fachstelle Feuerverzinken).

La fiche technique offre une vue d'ensemble de l'état actuel de la technique. Elle transmet des connaissances et de l'expérience, et permet aux personnes concernées de mieux comprendre le sujet. AM Suisse et les auteurs déclinent toute responsabilité en cas de dégâts susceptibles de survenir par l'application de la présente publication.

Metaltec Suisse
Une association professionnelle d'AM Suisse

AM Suisse
Seestrasse 105, 8002 Zurich
T +41 44 285 77 30, F +41 44 285 77 36
metaltecsuisse@amsuisse.ch
www.metaltecsuisse.ch

Responsable de projet

Kurt Speiser, 3600 Thoune CT Metaltec Suisse

Associations de branche professionnelles impliquées

USUZ Union suisse
des usines de zingage



Metaltec Suisse



Schweizerische Vereinigung
der Industrielackiermeister,
membre du Comité



Groupe de travail

Kurt Speiser CT Metaltec Suisse/entrepreneur
3600 Thun

Daniel Leuenberger CT Metaltec Suisse/entrepreneur
5522 Tägerig

Beat Lingg Technologie de revêtement
9500 Wil par pulvérisation IGP

Hansruedi Wehrli CT Schweizerische Vereinigung
6473 Silenen der Industrielackiermeister

Remo Lutta CT USUZ Union
8833 Samstagern suisse des usines de zingage
Usines de galvanisation

Illustrations produites par Speiser Metallbauplanung, Thoune