

Procédés électrolytiques

Éléments d'assemblage avec revêtements électrolytiques selon ISO 4042:2018

Zingage – passivation. Le zingage avec passivation des éléments d'assemblage est une protection contre la corrosion qui a un bel aspect et qui est éprouvée. Notre assortiment d'articles zingués est très large; nous pouvons vous offrir une gamme de produits étendue et variée.

Traitement ultérieur de chromatisation ou passivation. Il s'agit d'un processus pour la formation d'une couche de chromatisation ou passivation par immersion dans une solution contenant du chrome hexavalent (chromatisation) ou trivalent (passivation). Ce traitement ultérieur a lieu directement après la galvanisation par une courte immersion dans des solutions d'acide chromique. Le processus de chromatisation ou de passivation augmente la protection contre la corrosion et empêche une oxydation et une coloration de la couche de zinc. L'efficacité protectrice de la couche de conversion varie selon le procédé de finition (voir tableau!). Un revêtement supplémentaire ou top coat peut être appliqué pour améliorer la protection contre la corrosion.

Le développement de procédés à base de revêtements sans chrome (VI) offrant un effet protecteur identique ou similaire a été stimulé par les directives européennes 2000/53/CE (VHU) et 2002/95/CE (RoHS) ou 2011/65/EU (RoHS 2) pour des raisons environnementales. Autrefois, pour la protection anticorrosion des éléments d'assemblage, on utilisait généralement des revêtements à base de zinc galvanisé avec une chromatisation à base de chrome (VI). Aujourd'hui, le Cr (VI) est très peu utilisé. C'est pourquoi nous recommandons d'utiliser exclusivement des couches de conversion (passivation) sans Cr (VI) pour les nouvelles applications.

Les traitements de surface dotés de systèmes sans chrome (VI) (passivation) impliquent généralement une gestion plus difficile des processus, puisque «l'effet auto-cicatrisant» est bien plus limité. La manutention de produits en vrac, les processus automatisés comme l'alimentation et/ou le tri, le stockage et le transport peuvent entraîner une réduction de la protection anticorrosion (en particulier de la protection contre la corrosion du revêtement), en fonction du type de revêtement mais aussi du type et de la géométrie des éléments d'assemblage.

La résistance à la corrosion des revêtements électrolytiques de zinc les plus courants est régie par la norme ISO 4042:2018

Le test du brouillard salin neutre (NSS, en: Neutral Salt Spray test) selon la norme ISO 9227 est employé afin d'évaluer le niveau de résistance à la corrosion du système de revêtement.

Conformément à la norme ISO 4042:2018, on considère qu'un produit est revêtu lorsque, après la fin de toutes les étapes de recouvrement (y compris l'application d'une couche de passivation, de scellage et de protection), on n'observe aucune perte de qualité provoquée par le tri, l'emballage, le montage, le transport ou le stockage.

Systèmes de revêtement à base de zinc	Sans Cr (VI)	Apparence typique	Désignation du système de revêtement conformément à la norme ISO 4042:2018	Épaisseur nominale de revêtement µm	Durée minimale du test du brouillard salin pour les applications au tonneau ^{3,4)}	
					rouille blanche (h)	rouille rouge (h)
Zn, transparent/bleu-passivé	oui	transparent sans couleur à bleuté (standard)	ISO 4042/Zn5/An/T0	5	8	48
			ISO 4042/Zn8/An/T0	8	8	72
Zn, passivé en couche épaisse	oui	irisé (bleuté, jaunâtre, argenté, verdâtre)	ISO 4042/Zn5/Cn/T0	5	72	120
			ISO 4042/Zn8/Cn/T0	8	72	192
Zn, passivé en couche épaisse, scellé	oui	irisé	ISO 4042/Zn5/Cn/T2	5	120	168
			ISO 4042/Zn8/Cn/T2	8	120	240
Zn, noir, chromaté ¹⁾	non	brun-noir à noir (décoratif)	ISO 4042/Zn5/F/T0	5	12 ²⁾	–
			ISO 4042/Zn8/F/T0	8	24 ²⁾	72
ZnNi, irisé, passivé	oui	irisé bleuté-argenté	ISO 4042/ZnNi5/Cn/T0	5	120	480
			ISO 4042/ZnNi8/Cn/T0	8	120	720

¹⁾ Sur les arêtes, les bords des empreintes cruciformes etc., il faut s'attendre à une détérioration de la couche de chromate noire et à une apparition locale du zinc clair dû au procédé du traitement effectué au tonneau.

²⁾ Plus la couche est fine, moins le revêtement chromaté sera résistant.

³⁾ Une méthode d'application à l'attache permet de limiter d'éventuels dommages du revêtement et ainsi d'obtenir une meilleure résistance à la corrosion.

⁴⁾ Pour les filetages de faible dimension, les valeurs indiquées peuvent être en réalité plus faibles en raison de la faible épaisseur de la couche de zinc (le jeu avec le diamètre des flancs n'est pas suffisant pour permettre d'appliquer l'épaisseur de couche requise). Voir également l'épaisseur maximale des couches pour les filetages métriques ISO.

! Diminution du risque de fragilisation induite par l'hydrogène (ISO 4042)

Dans le cas d'éléments d'assemblage avec revêtement électrolytique en acier à haute résistance à la traction ou d'une dureté correspondante à ≥ 360 HV, sollicités sous contrainte de traction, un risque de défaillance provenant de la fragilisation par l'hydrogène existe.

Un traitement thermique (dégazage) des pièces après le passage dans les bains électrolytiques ou après le revêtement métallique réduit le risque de rupture. Une élimination totale du risque de fragilisation par l'hydrogène ne peut néanmoins pas être garantie. Si le risque d'une fragilisation par l'hydrogène doit être éliminé, d'autres procédés de revêtement doivent être pris en compte.

Pour les pièces de sécurité, des alternatives de protection anti-corrosion ou des procédés de revêtement particuliers devraient être utilisés, tels que zingage anorganique, zingage mécanique ou alors choisir des aciers résistants à la corrosion et aux acides.

Les éléments d'assemblage d'une dureté ≥ 360 HV sont disponibles avec zingage anorganique ou mécanique lorsque la possibilité technique existe de les traiter. L'utilisateur des éléments d'assemblage connaît l'objectif de la fonction et les exigences, c'est pourquoi il doit spécifier le traitement de surface approprié!

Limite supérieure des épaisseurs de revêtement pour les filetages métriques

selon ISO 4042:2018

Pas de filetage P	Diamètre nominal de filetage ¹⁾ d1	Filetage intérieur		Filetage extérieur		Toleranzlage f		Toleranzlage e	
		Toleranzlage G		Toleranzlage g		Toleranzlage f		Toleranzlage e	
		Ecart de base	Ep. de revêt. max. ²⁾	Ecart de base	Ep. de revêt. max. ²⁾	Ecart de base	Ep. de revêt. max. ²⁾	Ecart de base	Ep. de revêt. max. ²⁾
[mm]	[mm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]
0,35	1,6	+19	4	-19	4	-34	8	-	-
0,4	2	+19	4	-19	4	-34	8	-	-
0,45	2,5	+20	5	-20	5	-35	8	-	-
0,5	3	+20	5	-20	5	-36	9	-50	12
0,6	3,5	+21	5	-21	5	-36	9	-53	13
0,7	4	+22	5	-22	5	-38	9	-56	14
0,8	5	+24	6	-24	5	-38	9	-60	15
1	6	+26	6	-26	5	-40	10	-60	15
1,25	8	+28	7	-28	5	-42	10	-63	15
1,5	10	+32	8	-32	8	-45	11	-67	16
1,75	12	+34	8	-34	8	-48	12	-71	17
2	16 (14)	+38	9	-38	8	-52	13	-71	17
2,5	20 (18; 22)	+42	10	-42	10	-58	14	-80	20
3	24 (27)	+48	12	-48	12	-63	15	-85	21
3,5	30 (33)	+53	13	-53	12	-70	17	-90	22
4	36 (39)	+60	15	-60	15	-75	18	-95	23
4,5	42 (45)	+63	15	-63	15	-80	20	-100	25
5	48 (52)	+71	15	-71	15	-85	21	-106	26
5,5	56 (60)	+75	16	-75	15	-90	22	-112	28
6	64	+80	20	-80	20	-95	23	-118	29

¹⁾ L'indication du diamètre de filetage à pas gros est donné uniquement à titre informatif. La dimension déterminante est le pas de filetage.

²⁾ Jeu minimal théorique et épaisseur de couche maximale correspondante. Voir points de mesure/surfaces de référence pour la définition de l'épaisseur de couche.

Si le client ne prescrit pas l'épaisseur du revêtement, c'est l'épaisseur la plus faible qui est déterminante (entre 3 µm et 5 µm en fonction des dimensions du filetage). Celle-ci est aussi l'épaisseur standard.

Dans le cas d'éléments filetés très longs ou de petites dimensions ($\leq M4$), une épaisseur de revêtement irrégulière due au traitement peut en résulter et ceci peut causer des problèmes de montage. (Augmentation de l'épaisseur de la couche sur les bords extérieurs et à l'extrémité des pièces longues). En règle générale, les vis avec $l > 5d$ peuvent présenter à mi-longueur une épaisseur locale réduite d'un tiers jusqu'à une moitié par rapport à l'épaisseur locale dans les zones de référence. La spécification de couches plus épaisses (afin d'obtenir une épaisseur de revêtement suffisante à mi-longueur d'une vis longue – typiquement de $10d$ à $15d$ – pour la protection contre la corrosion) pourrait entraîner un excès de revêtement à l'extrémité du filetage, ce qui affecte l'aptitude à l'assemblage et/ou au contrôle par calibre du filetage.

Au cas contraire, la spécification de couches plus fines faciliterait l'engagement sur le filetage, mais pourrait entraîner, à mi-longueur, un manque d'épaisseur du revêtement. Solution possible; nickelage chimique ou éléments en acier résistant à la corrosion de groupe austénitique A2 ou A4!

i Les filetages des vis sont généralement fabriqués dans la position de tolérance 6g.

Les positions de tolérance e et f ne sont pas courantes et demandent une fabrication de vis différente. Des quantités minimales, des délais plus longs et des prix plus élevés peuvent remettre en question l'aspect économique! Alternative: éléments en acier résistant à la corrosion A2.

Les filetages intérieurs ont une épaisseur de revêtement bien plus faible pour des raisons techniques de traitement. Ceci n'est toutefois pas significatif pour leur utilisation en pratique, du fait qu'à l'état monté ceux-ci sont protégés par le revêtement du filetage extérieur de la vis.

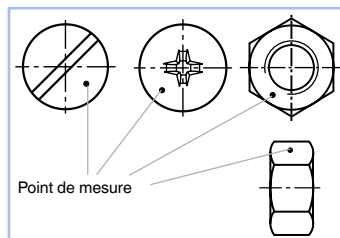
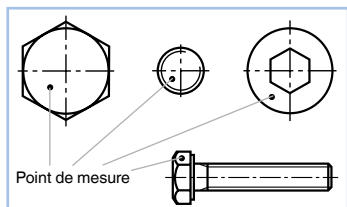
i Epaisseur de couches par exemple sur une vis M10

Zinc	5 µm
Passivation (standard)	0,05–0,1 µm
Passivation en couche épaisse	0,2–0,5 µm
Imperméabilisation	0,5–1,5 µm

Ajustements de tolérances pour les revêtements de surface ISO 10684 (galvanisation à chaud)

Produit	Filetage	Tolérance	Exemple de Headmark
Filetage de vis	réduit	6 az	8.8 U
Filetage de l'écrou	surtaudé	6 AZ	8 Z

Points de mesure/surfaces de référence pour la définition de l'épaisseur de couche



Autres procédés de revêtements électrolytiques

Procédé	Explications
Nickelage	Le nickelage est décoratif et apporte une bonne protection contre la corrosion. Revêtement dur employé dans les industries d'appareillages électriques et de télécommunications. Pas d'abrasion du revêtement, en particulier dans le cas des vis. L'utilisation d'éléments en acier nickelé est déconseillée à l'air libre. Amélioration de la protection contre la corrosion par imprégnation – voir tableau ci-dessous.
Chromage	Généralement effectué après un nickelage, épaisseur de revêtement environ 0,5–1,0 µm. Le chrome est décoratif, il augmente la résistance au ternissement des pièces nickelées et sert aussi de protection contre la corrosion. Chromage brillant: grand brillant. Chromage mat: éclat mat (éclat soyeux). Le chromage au tambour n'est pas possible. Constitue une surface dure avec des bonnes caractéristiques d'usure et de glissement.
Laitonnage	Employé surtout pour des besoins décoratifs. D'autre part, les pièces en acier sont laitonnées pour améliorer l'adhérence des produits en caoutchouc sur l'acier.
Cuivrage	Si nécessaire, comme sous-couche avant le nickelage, le chromage ou l'argentage. Aussi utilisé comme couche superficielle dans un but décoratif.
Argentage	Utilisé à titre décoratif ou pour des besoins techniques.
Etamage	Utilisé surtout pour obtenir ou améliorer un brasage (soudure tendre). Sert également de protection contre la corrosion. Un traitement thermique ultérieur n'est pas possible.
Eloxage	Par oxydation anodique, on obtient, dans le cas de l'aluminium, une couche protectrice qui protège contre la corrosion et empêche la formation de taches. A titre décoratif, il est possible lors d'un procédé de teinture ultérieure d'obtenir pratiquement toutes les teintes désirées.
Revêtement alliage zinc/fer	Procédé de revêtement électrolytique qui utilise un électrolyte pour déposer un alliage de zinc-fer sur un composant métallique. Après le revêtement une passivation noire sans Cr(VI) et une vitrification noire sera appliquée. Il est principalement utilisé si un aspect noir esthétique est souhaité.
Revêtement alliage zinc/nickel	Pendant le procédé électrolytique des revêtements zinc-nickel une partie de 12–16% nickel sera déposée. Ici on a la possibilité d'utiliser une passivation transparente ou noire et de l'optimiser par une vitrification. Ce revêtement est principalement utilisé en raison de sa bonne protection contre la corrosion.

Autres traitements de surface

Procédé	Explications
Zingage à chaud	Immersion dans un bain de zinc chaud de 440 °C à 470 °C. Epaisseur de la couche min. 40 µm. Surface mate et rugueuse, changement de teinte possible après peu de temps. Excellente protection contre la corrosion. Utilisable pour éléments filetés à partir de M8. Prévoir la bonne marche du filetage par des opérations appropriées (enlèvement de copeaux antérieur ou ultérieur).
Revêtements de lamelles de zinc anorganiques Geomet® Delta-Tone®/Delta-Protect®	Revêtement à forte teneur en zinc (couleur gris argenté) très résistant à la corrosion pour les pièces à haute résistance à la traction ou correspondant à une dureté ≥ 360 HV. Une fragilisation induite par l'hydrogène est pratiquement exclue avec ces procédés de revêtement. Résistance à la température jusqu'à env. 300 °C. Utilisable pour des diamètres ≥ M4.
Zingage mécanique (Mechanical plating)	Procédé de revêtement mécanique / chimique. Les pièces dégraissées sont mises dans un tambour avec de la poudre de zinc et des billes de verre. Ces billes ont la fonction de transporter la poudre de zinc par adhérence sur la surface à traiter.
Oxydation noire INOX	Processus chimique dans une solution hydroxyde chaude. Pour des buts de décoration.
Brunissage (noircir)	Procédé chimique, température du bain env. 140 °C avec bain d'huile ultérieur. Pour des buts de décoration, protection anticorrosion temporaire seulement.
Phosphatation (bonder, bondériser, antoxer, parkériser, atramenter)	Faible protection contre la corrosion. Bonne adhérence pour peinture. Aspect gris à gris foncé. Meilleure protection contre la corrosion possible après huilage.
Imprégnation	Recommandé après le nickelage d'éléments, il est ainsi possible de sceller les micropores par de la cire dans un «dewatering fluid». Amélioration significative de la résistance contre la corrosion. La couche de cire est sèche et invisible.
Dégazage (traitement thermique)	Dans le cas d'éléments d'assemblage avec revêtement électrolytique en acier à haute résistance à la traction ou d'une dureté supérieure à 360 HV sollicités sous contrainte de traction, il existe un risque de fragilisation par hydrogène. Par un dégazage entre 180 °C et 230 °C (en-dessous de la température de revenu), il est possible d'éliminer en partie l'hydrogène. Selon les connaissances actuelles, ce procédé n'apporte pas une sécurité à 100%. Le traitement thermique >6 h doit être effectué immédiatement après un décapage et après le revêtement électrolytique.
Imperméabilisation	L'imperméabilisation est appliquée sur le composant après la galvanisation et la passivation par immersion. Les imperméabilisations augmentent la résistance à la corrosion.
Revêtement tribologique sec ¹⁾	Constitue des couches qui réduisent le frottement tout en ralentissant l'usure. Protection contre une grande friction (ou grippage).
Enduire	Revêtement glissant qui permet de réduire le couple de serrage pour les vis autoformeuses. Protection contre la corrosion resp. résistance à l'abrasion limitées.
WIROX®	Revêtement électrolytique avec zinc, épaisseur moyenne de couche au minimum 8 µm. La protection contre la corrosion est 20 fois plus élevée qu'avec le zingage blanc. Ce revêtement résiste à l'usure, aux contraintes mécaniques et possède une protection contre la corrosion exceptionnellement élevée.
YELLOX®	Revêtement électrolytique avec zinc, épaisseur moyenne de couche au minimum 4 µm. La protection contre la corrosion est 6 fois plus élevée qu'avec le zingage blanc. Par ce revêtement les applications de vis d'aspect jaunâtre seront toujours assurées à l'avenir.
GreenTec®	Revêtement électrolytique, épaisseur de couche environ 5 µm, à base de zinc-nickel. Apporte des couches dures et résistantes à l'usure avec une protection contre la corrosion très élevée.

¹⁾ Par exemple **CresaCoat®**

Le revêtement tribologique à sec **CresaCoat®** est un revêtement mince non électrolytique à propriétés de lubrification intégrées et protection additionnelle contre la corrosion. Ce revêtement est une combinaison de fluoropolymères et de particules lubrifiantes organiques solides de taille submicroscopique dispersés dans des résines et des solvants soigneusement sélectionnés. Le revêtement AFC (Anti-Friction-Coating) forme un film lisse qui gomme toutes les inégalités dans la surface et optimise ainsi le frottement dans des conditions de sollicitation et de travail extrêmes. La résine artificielle garantit quant à elle une protection accrue contre la corrosion.

Le choix du revêtement le plus adapté du point de vue technique et économique dépend de l'application du client et de l'utilisation prévue.