



LE CONCEPT CONTRE L'USURE

DILLIDUR

INFORMATION TECHNIQUE N° III/2007

DILLINGER HÜTTE GTS





Juin 2007



SOMMAIRE

5

Protégez vos équipements de l'usure

12

La fabrication de DILLIDUR

Elaboration de l'acier

Laminage des tôles

Trempe

17

Propriétés de matériau de DILLIDUR

Dureté et résistance

Ténacité

Trempe à cœur

Résistance mécanique aux
températures élevées

20

Mise en œuvre de DILLIDUR

Formage à froid

Formage à chaud

Découpage thermique

Soudage

Usinage

Nitruration

49

Bibliographie

50

Glossaire



*Figure 1 : Pelle mécanique en acier DILLIDUR V opérant dans les conditions difficiles d'une exploitation à ciel ouvert
(photo publiée avec l'aimable autorisation de Schlüter Baumaschinen, Erwitte, Allemagne)*



PROTEGEZ VOS EQUIPEMENTS DE L'USURE

L'environnement sévère des carrières, des mines, des gravières, ou de l'industrie du bâtiment et des travaux publics conduit à une « usure » très importante des outils et des machines.

Les pièces devant opérer dans de telles conditions (glissières, goulottes, silos, lames, bennes, godets, plaques déflectrices, cribles etc.) doivent se montrer particulièrement résistantes à l'usure. La qualité et la durée de vie des machines dépendent par conséquent en grande partie des matériaux qui les composent.

La gamme d'aciers DILLIDUR de DILLINGER HÜTTE GTS

répond à cette exigence en combinant des caractéristiques difficilement conciliables : une résistance à l'usure très élevée réduisant la consommation en matériau et une excellente aptitude au façonnage.

Des fabricants renommés d'engins de BTP, d'installations de transport et de traitement des matériaux utilisent les aciers DILLIDUR et font confiance à la longue expérience de DILLINGER HÜTTE GTS dans la production d'aciers résistants à l'usure.

Les aciers DILLIDUR ont été mis au point pour répondre aux besoins les plus divers. Ils sont

disponibles en différentes classes de dureté afin de répondre à tous les types d'applications : DILLIDUR 275 C, 325 L, 400 V, 450 V et 500 V.

Pour obtenir des informations concernant la variante DILLIDUR développée spécialement pour la construction de moules, veuillez consulter la fiche technique correspondante.

Notre programme de fabrication donne les dimensions auxquelles les aciers DILLIDUR sont disponibles de façon standard. En outre, des dimensions spéciales peuvent éventuellement être réalisées après consultation.



Le choix de la nuance optimale pour une application donnée repose sur la connaissance précise des conditions d'utilisation et des possibilités de façonnage.

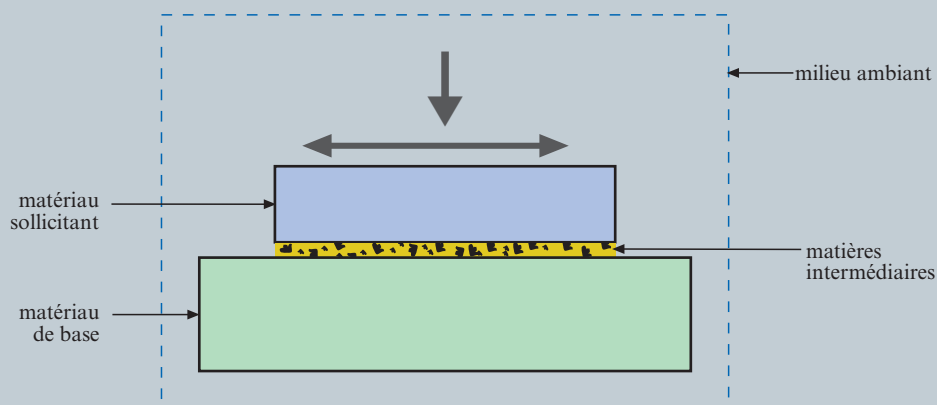
Votre analyse des phénomènes d'usure doit tenir compte de la diversité des processus tribologiques, et examiner en détail la contribution de toutes les com-

posantes impliquées. Vous pourrez recourir à cet effet à l'ancienne norme DIN 50320 « Usure ». La figure 2 schématise un tel « système tribologique ».

Contrairement aux propriétés telles que la dureté, la résistance, etc., considérées comme caractéristiques du matériau,

le taux d'usure d'une machine résulte de l'interaction entre toutes les composantes impliquées dans le processus d'usure. L'usure ne peut donc être décrite qu'à l'aide de paramètres spécifiques au système. En bref : « l'usure n'est pas une caractéristique du matériau, mais toujours une caractéristique du système ! »

Figure 2 : Structure d'un système tribologique ¹⁾



¹⁾ Reproduit avec l'autorisation de DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
La version de la norme DIN la plus récente est celle qui fait foi pour son application. Elle peut être obtenue chez Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, Allemagne. Traduit par DILLINGER HÜTTE GTS. Cette traduction n'a pas été vérifiée par DIN Deutsches Institut für Normung e.V.



Les éléments intervenant dans le processus d'usure sont généralement au nombre de quatre : matériau de base, matériau sollicitant, matières intermédiaires et milieu ambiant (voir figure 2). Ces éléments constituent la structure proprement dite du système tribologique, et doivent être pris en compte lors du choix d'un acier anti-usure approprié (matériau de base).

Les questions et explications suivantes ont pour but de vous aider à analyser cette structure et, par conséquent, à choisir un matériau adapté aux sollicitations appliquées.

- Quelles sont la nature et/ou la dureté du matériau sollicitant (pierres, sable siliceux, gravier, charbon, boue, farine, sucre, etc.) ?
- De quel type de sollicitation s'agit-il (glissement, roulement, chocs, ruissellement) et quelle est l'intensité des forces intervenantes (vitesse, pression, température, durée de la sollicitation, etc.) ?
- Quelles sont les matières intermédiaires impliquées dans le processus (eau, huile, acide, air, produits d'usure, etc.) ?
- Dans quel milieu se déroule le processus d'usure (air humide, salin, sec, température ambiante, etc.) ?

Les phénomènes d'usure peuvent être classés en types d'usure et mécanismes d'usure suivant le type de sollicitation.

Le tableau 1 décrit les principaux types d'usure que peuvent entraîner les différentes sollicitations tribologiques en s'inspirant de l'ancienne norme DIN 50320 (utilisée ici à titre informatif), et détaille les mécanismes d'usure correspondants.



Tableau 1 : Classification des phénomènes d'usure, inspirée de l'ancienne norme DIN 50320 ¹⁾

Structure du système	Solicitation tribologique (symboles)	Type d'usure	Mécanismes actifs (isolés ou combinés)			
			adhésion	abrasion	fissuration de surface	réaction tribochimique
- solide - mat. intermédiaire (séparation) - solide	glissement roulement chocs 	-	-	-	■	□
- solide - solide (frottement solide ou mixte)	glissement 	usure par glissement	■	□	□	■
	roulement 	usure due au roulement	□	□	■	□
	oscillation 	usure due aux oscillations	■	■	■	■
	chocs 	usure par chocs	□	□	■	□
- solide - particules	chocs 	abrasion par chocs	-	■	■	□
	glissement 	abrasion par glissement	-	■	-	□
- solide - solide/particules	glissement 	abrasion à trois corps	□	■	■	□
	roulement 		□	■	■	□
	chocs 		□	□	■	□
- solide - particules - liquide	ruissellement 	hydro-abrasion (lessivage)	-	■	■	□
- solide - particules (gaz)	ruissellement 	érosion	□	■	■	□
	ruissellement chocs 	usure par jet oblique	□	■	■	□
- solide - liquide	ruissellement vibrations 	érosion par cavitation	-	-	■	□
	impacts 	érosion par impact de gouttes	-	-	■	□
	ruissellement 	érosion par liquide	-	-	□	■
- solide - gaz	ruissellement 	érosion par gaz	-	-	-	■

■ principal
□ secondaire

¹⁾ Reproduit avec l'autorisation de DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
La version de la norme DIN la plus récente est celle qui fait foi pour son application. Elle peut être obtenue chez Beuth Verlag GmbH, Burggrafstraße 6, 10787 Berlin, Allemagne. Traduit par DILLINGER HÜTTE GTS. Cette traduction n'a pas été vérifiée par DIN Deutsches Institut für Normung e.V.



Les types d'usure décrivent principalement la cinétique et la structure des systèmes tribologiques. Les micromécanismes d'usure correspondent à l'interaction des matériaux et à l'échange d'énergie entre le matériau de base et le matériau sollicitant. On distingue¹⁾ :

- l'adhésion : adhérence ponctuelle des surfaces en contact ;
- l'abrasion : enlèvement de matière consécutif à des rayures ;
- la fissuration de surface : fatigue et fissuration dues à des sollicitations mécaniques alternées (pitting) ;
- la réaction tribochimique : formation de produits secondaires lors de la sollicitation tribologique suite à une réaction chimique avec le milieu ambiant, telle l'oxydation.

Chacun de ces mécanismes sollicite le matériau d'une manière différente ; il est donc nécessaire d'optimiser certaines caractéristiques du matériau, par exemple la dureté en cas d'abrasion prépondérante, ou la ténacité s'il s'agit de fissuration de surface.

Connaître la structure d'un système tribologique permet de bien analyser les phénomènes d'usure et de les limiter en prenant les mesures qui s'imposent, si possible dès la phase de conception d'une machine.

Il est en général très difficile de prévoir avec précision les phénomènes et les taux d'usure, étant donné leur grande diversité. Malgré l'expérience acquise, seul l'essai en conditions réelles peut fournir des paramètres d'usure fiables.

Le choix de matériaux appropriés n'est pas le seul moyen de réduire sensiblement l'usure : la

conception ainsi que l'optimisation des conditions de service peuvent également y contribuer.

Par exemple, dans le cas d'un entonnoir de chargement, une variation de vitesse de transport des matériaux peut modifier le déversement et l'angle d'impact. Les parts respectives de l'usure par chocs et de l'abrasion varient, ce qui influence le taux d'usure (optimisation des conditions de service). L'angle d'inclinaison de la paroi de l'entonnoir peut également être modifié (optimisation de la conception).

Une protection passive contre l'usure, conduisant à une auto-protection du matériau d'usure, comme par exemple la pose de baguettes sur la paroi de l'entonnoir, peut également contribuer à réduire l'usure des composants.

¹⁾ Reproduit avec l'autorisation de DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
La version de la norme DIN la plus récente est celle qui fait foi pour son application. Elle peut être obtenue chez Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, Allemagne. Traduit par DILLINGER HÜTTE GTS. Cette traduction n'a pas été vérifiée par DIN Deutsches Institut für Normung e.V.



Outre les caractéristiques intrinsèques d'un acier qui améliorent sa résistance à l'usure telles que la dureté, la déformabilité, ou la résistance à l'initiation et à la propagation des fissures, les critères principaux de choix du matériau sont :

- la soudabilité
- l'aptitude au formage à froid
- l'aptitude au formage à chaud
- l'usinabilité
- la ténacité
- la rentabilité

Les aciers DILLIDUR constituent un compromis optimal entre une haute résistance à l'usure et une excellente aptitude au façonnage. Ceci permet de réduire les coûts de matériau et de mise en œuvre.

Pour vous faciliter le choix de la nuance d'acier DILLIDUR appropriée, nous avons rassemblé dans le tableau 2 les caractéristiques des différentes nuances DILLIDUR. Ces valeurs s'appliquent à des tôles d'épaisseur

< 25 mm et sont données à titre indicatif. Toutefois, les écarts relatifs entre les différentes nuances d'acier varient peu en fonction de l'épaisseur.

Vous trouverez des informations détaillées sur les différentes caractéristiques de DILLIDUR dans les chapitres correspondants de cette brochure.

Tableau 2 : Critères de choix de la nuance DILLIDUR adaptée aux sollicitations

DILLIDUR	275 C	325 L	400 V	450 V	500 V
résistance à l'usure ¹⁾	+++	+	++	++(+)	+++
soudabilité	0	+	+++	++	+
aptitude au formage à froid	+	++	++	++	+
aptitude au formage à chaud	++	++	0	0	0
usinabilité	++	++	++	+	0
ténacité	0	+	++	++(+)	+

(+++ = très bonne, ++ = bonne, + = satisfaisante, 0 = cette nuance n'est pas recommandée lorsque cette caractéristique est particulièrement importante)

¹⁾ s'applique principalement à l'abrasion (résistance à l'usure mesurée en laboratoire)



Grâce à leur dureté et leur microstructure particulières, les aciers DILLIDUR présentent une résistance à l'usure jusqu'à 5 fois supérieure à celle des aciers conventionnels (cf. figure 3). Ainsi, les aciers modernes tels DILLIDUR permettent aujourd'hui aux constructeurs d'alléger leurs constructions et d'améliorer la résistance à l'usure partout où cela est nécessaire.

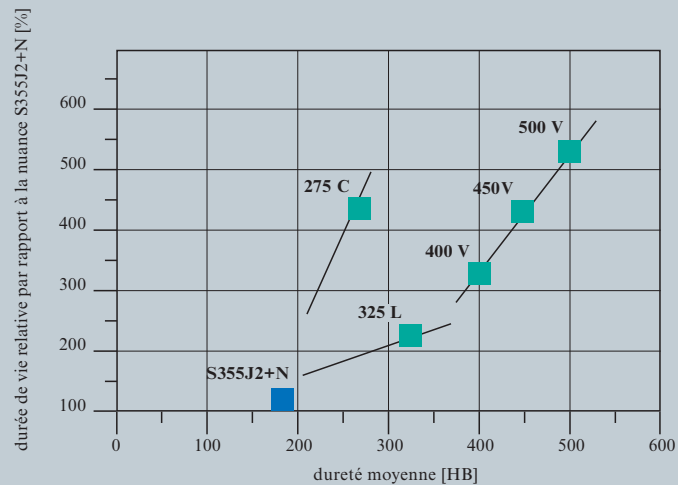
Il ressort également de la figure 3 que l'affirmation : « plus un acier est dur, plus sa résistance à l'abrasion est élevée » n'est valable qu'avec certaines restrictions. Ceci est dû aux différences de microstructure métallurgique et s'applique à l'ensemble des aciers résistants à l'usure.

Lors d'essais réalisés en laboratoire à l'aide d'un abrasimètre à gravier sec, la résistance à l'usure de chaque nuance par

rapport à l'acier de construction S355J2+N et leur dureté moyenne ont été comparées. Il en ressort que le lien entre augmentation de la dureté et amélioration de la résistance à l'abrasion dépend du type d'acier (C, L ou V).

En effet, la dureté d'un acier peut être obtenue par différents procédés (cf. chapitre « La fabrication de DILLIDUR », p. 12).

Figure 3 : Durée de vie relative des aciers DILLIDUR comparés à la nuance S355J2+N





LA FABRICATION DE DILLIDUR

La dureté élevée des aciers DILLIDUR n'est pas seulement due à une teneur appropriée en éléments d'alliage, mais également à une méthode de fabrication particulière : les tôles subissent après laminage un traitement thermique de trempe. Les différentes étapes de fabrication – élaboration de l'acier, laminage des tôles fortes et trempe à l'eau – sont coordonnées avec précision pour chaque coulée d'acier, conférant au matériau une micro-structure optimale et par là même d'excellentes propriétés.

Elaboration de l'acier

Après une désulfuration soignée, les aciers DILLIMAX sont affi-

nés par insufflation d'oxygène, puis traités en poche pour obtenir l'analyse souhaitée. La solidification s'effectue par coulée continue pour les formats usuels de tôles. Dans le cas de tôles de forte épaisseur ou de poids unitaire élevé, on a recours au procédé de coulée en lingots.

Une faible teneur en phosphore et en soufre est l'une des conditions pour obtenir une bonne ténacité. En règle générale, la teneur en phosphore ne dépasse pas 0,020 % et la teneur en soufre 0,005 %. La teneur en éléments d'alliage est également fixée avec précision au niveau de la poche de coulée, réalisant ainsi un compromis optimal entre des proprié-

tés mécaniques très élevées et une mise en œuvre aisée.

Le carbone équivalent (CEV, PCM et/ou CET), qui augmente parallèlement à la teneur en éléments d'alliage, fait l'objet d'une attention particulière. En effet, une faible valeur de carbone équivalent est un indice de bonne soudabilité. Cependant, un minimum d'éléments d'alliage est nécessaire pour obtenir une profondeur de trempe suffisante. Ce minimum augmente avec l'épaisseur de la tôle.

Le tableau 3 donne des valeurs indicatives du carbone équivalent de DILLIDUR 275 C, 325 L, 400 V, 450 V et 500 V.

Tableau 3 : Carbone équivalent de Dillidur 275 C, 325 L, 400 V, 450 V et 500 V (valeurs données à titre indicatif)

DILLIDUR	275 C	325 L	400 V					450 V			500 V		
Epaisseur [mm]	40	40	10	25	40	80	120	10	40	80	10	40	80
CEV	0,80	0,78	0,37	0,46	0,51	0,61	0,64	0,46	0,53	0,65	0,47	0,52	0,67
CET	0,66	0,44	0,28	0,31	0,33	0,35	0,36	0,33	0,36	0,39	0,36	0,37	0,42
PCM	0,62	0,37	0,23	0,25	0,27	0,30	0,31	0,29	0,32	0,35	0,34	0,35	0,39

Carbone équivalent :

$$CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15$$

$$CET = C + (Mn + Mo)/10 + (Cr + Cu)/20 + Ni/40$$

$$PCM = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Mo/15 + Ni/60 + V/10 + 5 \cdot B$$



Laminage des tôles

DILLINGER HÜTTE GTS dispose de deux des cages de laminage les plus performantes au monde. Les brames produites à l'aciérie y sont laminées conformément à un schéma de laminage précis et adapté à l'analyse de la coulée. Les forces

de laminage très élevées (jusqu'à 108 000 kN / 11 000 t) permettent de déformer la tôle à cœur, même pour les fortes épaisseurs. La microstructure ainsi obtenue se prête particulièrement bien au traitement de trempe, contribuant à conférer aux aciers DILLIDUR des propriétés mécaniques élevées et homogènes.

La reproductibilité du processus de laminage en termes de température, de force de laminage, et de réduction d'épaisseur à chaque passe est assurée par une mesure exacte et une régulation rapide des paramètres de laminage.

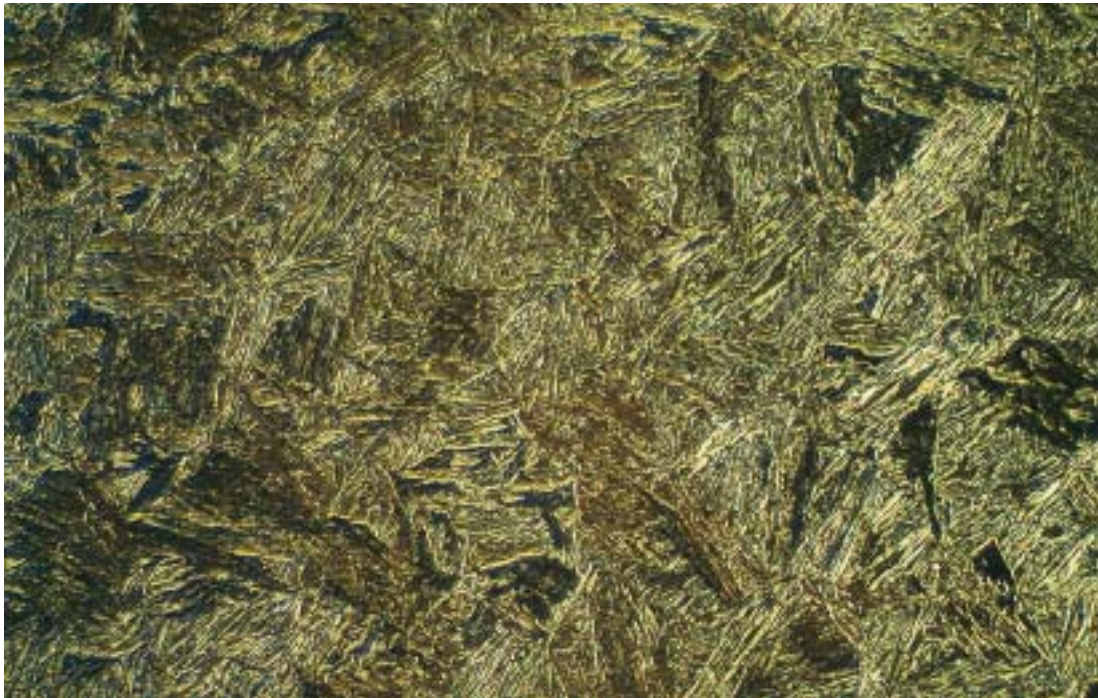


Figure 4 : La microstructure de trempe typique des aciers DILLIDUR V – grossissement 500 x



Figure 5 : Une tôle austénisée en DILLIDUR V entre dans l'installation de trempe



Trempe

DILLIDUR 275 C est normalisé ; sa dureté provient essentiellement de sa teneur en carbone. La microstructure de cette nuance est principalement ferrito-perlitique.

DILLIDUR 325 L est également normalisé. La dureté de cette nuance provient de l'ajout d'éléments d'alliage supplémentaires associés à une faible teneur en carbone pour améliorer la soudabilité. La structure de cet acier normalisé est principalement bainitique.

La dureté élevée des aciers DILLIDUR V n'est pas seulement due à l'ajout ciblé d'éléments d'alliage, mais également à un procédé de fabrication spécifique. Après laminage, les tôles sont portées à la température d'austénisation et refroidies à l'eau dans une installation de trempe spécialement conçue à cet effet. Le film d'eau qui coule sur les faces supérieure et inférieure de la tôle permet d'atteindre des vitesses de refroidissement exceptionnelles, conférant ainsi à l'acier une microstructure à grain fin et dureté élevée. Le refroidissement

est continu et régulier, assurant ainsi une trempe homogène. Ceci constitue la base d'une résistance à l'usure élevée.

La figure 4, page 13 présente la microstructure typique d'un acier DILLIDUR V après trempe.

La figure 5 permet de jeter un « coup d'œil » dans l'installation de trempe.



Figure 6 : Trémie d'alimentation d'une installation de broyage, parois en DILLIDUR 400 V



PROPRIETES DE MATERIAU DE DILLIDUR

Dureté et résistance

Les aciers DILLIDUR présentent des duretés qui dépassent de loin celles des aciers conventionnels.

Le tableau 4 donne à titre indicatif des valeurs de la dureté, de la limite d'élasticité, de la résistance à la traction, de l'allongement minimal à la rupture ainsi que de la ténacité de DILLIDUR.

Bien qu'ayant des propriétés de résistance élevées, les aciers DILLIDUR ne sont pas conçus pour être utilisés dans les élé-

ments de construction qui jouent un rôle significatif dans la sécurité de la construction. Les aciers HLE trempés et revenus DILLIMAX sont disponibles pour ce genre d'application.

Ténacité

Bien qu'ayant une dureté élevée, les aciers DILLIDUR possèdent des propriétés de ténacité suffisantes pour leur domaine d'utilisation usuel. La résilience la plus élevée caractérise les aciers DILLIDUR V, à faible teneur en carbone et à microstructure martensitique. Toutefois, le degré de ténacité diminue lente-

ment au fur et à mesure que la teneur en carbone augmente. C'est pourquoi les valeurs de résilience de DILLIDUR 325 L sont plus basses (structure bainitique), et celles de DILLIDUR 275 C faibles en raison de la forte teneur en carbone.

La ténacité peut être déterminante même pour les aciers résistants à l'usure, en cas de sollicitation brusque ou d'une usure par chocs entraînant une fissuration de la surface, par exemple pour les bennes basculantes de camions (cf. figure 21, p. 38).

Tableau 4 : Valeurs indicatives de dureté, de limite d'élasticité, de résistance à la traction, d'allongement à la rupture et de ténacité pour une épaisseur de tôle < 25 mm

DILLIDUR	275 C	325 L	400 V	450 V	500 V
dureté [HB] ¹⁾	275	320	400	450	500
limite d'élasticité R _{eH} [MPa]	650	650	800	950	1100
résistance à la traction R _m [MPa]	950	1000	1200	1400	1600
allongement à la rupture A [%] ²⁾	9	15	12	11	9
résilience [J] ³⁾	10	20	45	35	25

¹⁾ dureté moyenne en surface

²⁾ éprouvette de traction circulaire, sens travers

³⁾ éprouvettes Charpy V sens long, testées à -20 °C



Trempe à cœur

Pour conférer à l'acier d'excellentes propriétés mécaniques, c'est-à-dire obtenir une dureté élevée au cœur de la tôle, ainsi qu'une microstructure homogène, il faut veiller à maintenir une vitesse de refroidissement très élevée, ainsi que de faibles teneurs en inclusions non métalliques et en hydrogène, et ajouter des éléments d'alliage de manière précise et adaptée à la nuance.

Les éléments tels que le chrome, le molybdène, le manganèse, le vanadium et le bore favorisent la trempe à cœur. La composition chimique des aciers DILLIDUR est ajustée de manière à minimiser la baisse de dureté au cœur de la tôle, en tenant compte de la limitation du carbone équivalent indispensable pour assurer une bonne soudabilité. La trempe à cœur permet d'éviter une usure trop rapide de la tôle dans l'épaisseur.

Résistance mécanique aux températures élevées

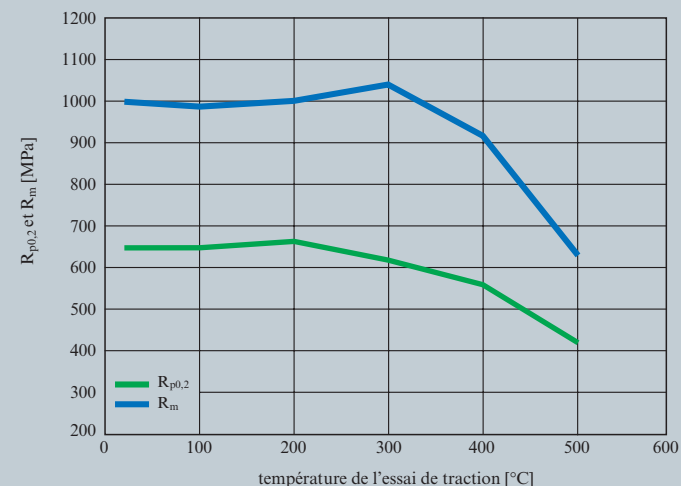
Les processus d'usure se déroulant à des températures élevées exigent des matériaux utilisés de bonnes caractéristiques de résistance mécanique à ces températures. En effet, la protection contre l'usure doit être aussi bonne que possible, même pour des températures de service éle-

vées, afin d'augmenter la durée de vie des pièces.

DILLIDUR 275 C et 325 L peuvent être utilisés en service continu jusqu'à 400 °C.

La figure 7 montre que l'acier DILLIDUR 325 L possède encore à cette température une résistance mécanique allant jusqu'à 630 MPa.

Figure 7 : Influence de la température sur la limite d'élasticité et la résistance à la traction de DILLIDUR 325 L (valeur données à titre indicatif, épaisseur de tôle = 20 mm)





En raison de leur traitement thermique particulier, les aciers DILLIDUR V ne peuvent pas être utilisés de manière continue à des températures supérieures à 200 °C - 250 °C sans perdre leur dureté et leur résistance.

Les figures 8 et 9 montrent l'influence typique de la température sur les propriétés mécaniques des aciers DILLIDUR 400 V et DILLIDUR 500 V.

Figure 8 : Influence de la température sur la limite d'élasticité et la résistance à la traction de DILLIDUR 400 V (valeurs données à titre indicatif, épaisseur de tôle = 20 mm)

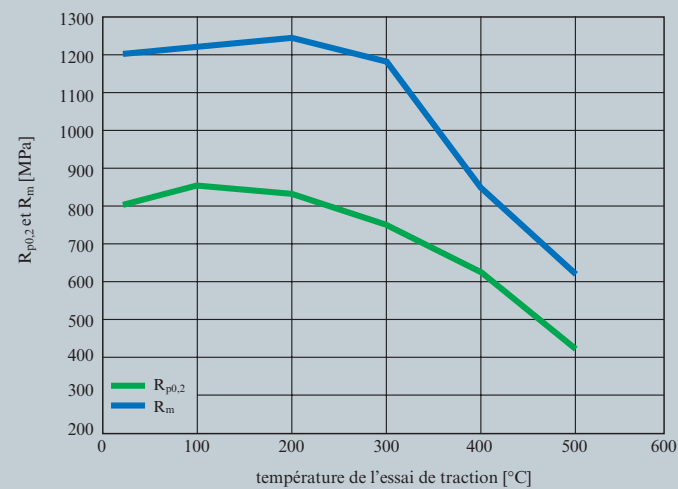
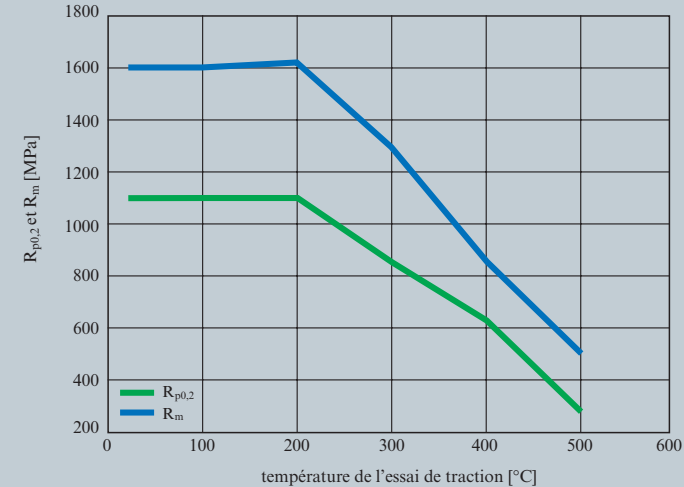


Figure 8 : Influence de la température sur la limite d'élasticité et la résistance à la traction de DILLIDUR 500 V (valeurs données à titre indicatif, épaisseur de tôle = 20 mm)





MISE EN ŒUVRE DE DILLIDUR

Les aciers DILLIDUR sont faciles à façonner malgré leur dureté élevée. Il convient néanmoins de respecter certaines règles. L'utilisateur doit s'assurer que ses procédés de calcul, de construction et de fabrication sont adaptés à l'acier, qu'ils correspondent aux règles de l'art que le fabricant doit respecter et qu'ils conviennent pour l'utilisation envisagée.

Les chapitres ci-après détaillent quelques principes fondamentaux et donnent des indications pratiques pour la mise en œuvre des aciers DILLIDUR.

Formage à froid

Les aciers DILLIDUR sont faciles à mettre en forme à froid par cintrage ou par pliage malgré leur dureté et leur résistance élevées. Il faut cependant tenir compte de l'augmentation des forces nécessaires au formage d'une épaisseur de tôle donnée lorsque la limite d'élasticité de l'acier augmente. Le retour élastique augmente également.

Pour éviter le risque de fissuration partant des bords, il convient de meuler les rives cisailées ou oxycoupées dans la zone de formage à froid. Il est également conseillé de chanfreiner légèrement la rive située sur la partie extérieure de la tôle lors du pliage.

La rive oxycoupée de DILLIDUR 275 C est très dure (environ 600 HB) et fragile,

cela étant dû à sa teneur élevée en carbone. C'est pourquoi il convient d'éliminer environ 3 mm de rive oxycoupée avant le formage à froid.

Le rayon de cintrage minimum pour les aciers DILLIDUR (cf. tableau 5) varie suivant la nuance, par suite des traitements thermiques différents. En raison du processus de déformation lors du laminage, le rayon de cintrage et l'ouverture de matrice minimum nécessaires sont plus faibles en sens travers (par rapport au sens de laminage) qu'en sens long.

Les valeurs indicatives données ci-contre pour le rayon de pliage minimum s'appliquent aux aciers DILLIDUR lorsque la vitesse de déformation est inférieure à 10 % d'allongement de la fibre extérieure par seconde.



Tableau 5 : Rayon de pliage et ouverture de matrice minimum pour le formage à froid de DILLIDUR

DILLIDUR	275 C		325 L		400 V		450 V		500 V	
Direction de pliage par rapport au sens de laminage	sens travers	sens long	sens travers	sens long	sens travers	sens long	sens travers	sens long	sens travers	sens long
Rayon de pliage	6 t	8 t	5 t	6 t	3 t	4 t	5 t	6 t	7 t	9 t
Ouverture de matrice	14 t	18 t	14 t	16 t	10 t	12 t	14 t	16 t	16 t	20 t
Formage à chaud	possible		possible		-	-	-	-	-	-

angle de pliage < 90° ; t = épaisseur de la tôle ; durée de déformation > 2s (allongement de la fibre extérieure < 10 % par seconde).

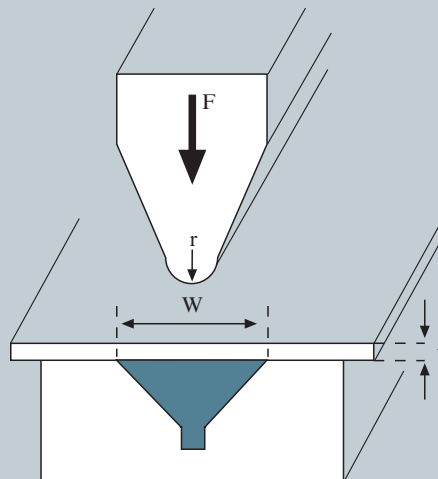




Figure 10 : Appareil de déchargement en continu de navires dans le port de DILLINGER HÜTTE GTS



Formage à chaud

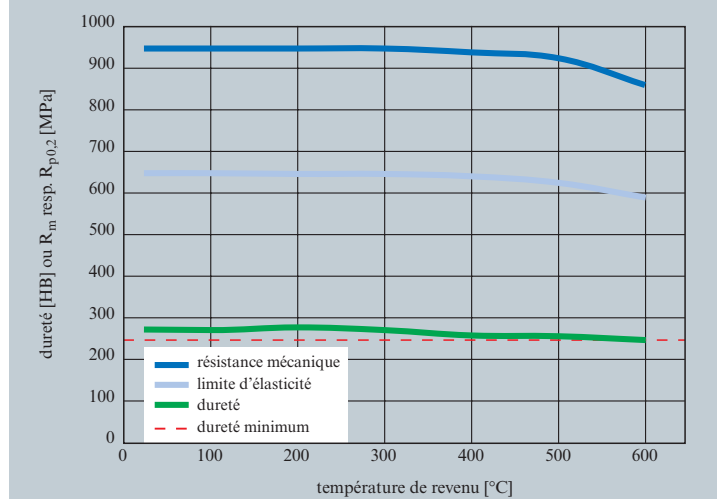
En général, le terme de formage à chaud est utilisé pour désigner la mise en forme à une température susceptible d'entraîner une modification métallurgique de l'acier. Pour DILLIDUR 275 C et DILLIDUR 325 L, il s'agit de la température du recuit de détensionnement (580 °C environ). Pour les aciers DILLIDUR V, en raison du traitement de trempe, cette température limite est nettement plus basse (250 °C environ).

La limite d'élasticité des aciers diminue lorsque la température augmente. Lorsque la construction prévoit des rayons de pliage étroits et de fortes épaisseurs, il peut donc être avantageux pour DILLIDUR 275 C et DILLIDUR 325 L d'effectuer le formage à température élevée, étant donné que les forces nécessaires au formage diminuent.

DILLIDUR 275 C : Cette nuance obtient sa dureté par refroidissement à l'air après normalisation. Il est donc possible de la mettre en forme à chaud sans perte de dureté, à condition de réaliser ensuite une nouvelle normalisation ou d'assurer un cycle thermique équivalent lors du formage à chaud. La température de normalisation est de 880 à 950 °C.

Si aucun recuit de normalisation ultérieur n'est pratiqué, l'acier peut être porté à une température d'environ 600 °C sans perte notable de dureté. La figure 11 présente l'évolution de la dureté et des propriétés mécaniques de DILLIDUR 275 C en fonction de la température de revenu.

Figure 11 : DILLIDUR 275 C : impact de la température de revenu sur la résistance mécanique, la limite d'élasticité et la dureté après refroidissement à température ambiante (valeurs données à titre indicatif)

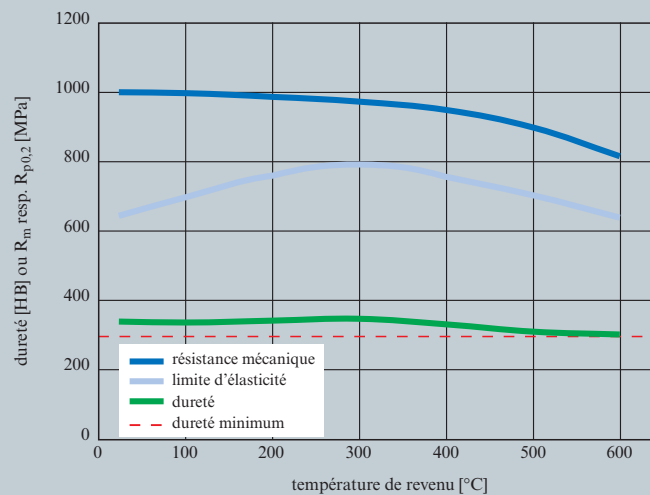




DILLIDUR 325 L : Cette nuance obtient sa dureté par refroidissement à l'air après normalisation. Il est donc possible de la mettre en forme à chaud sans perte de dureté, à condition de réaliser ensuite une nouvelle normalisation ou d'assurer un cycle thermique équivalent lors du formage à chaud. La température de normalisation est de 900 à 950 °C.

Si aucun recuit de normalisation n'est pratiqué, l'acier peut être porté à une température d'environ 600 °C sans perte notable de dureté. La figure 12 présente l'évolution de la dureté et des propriétés mécaniques de DILLIDUR 325 L en fonction de la température de revenu.

Figure 12 : DILLIDUR 325 L : impact de la température de revenu sur la résistance mécanique, la limite d'élasticité et la dureté après refroidissement à température ambiante (valeurs données à titre indicatif)





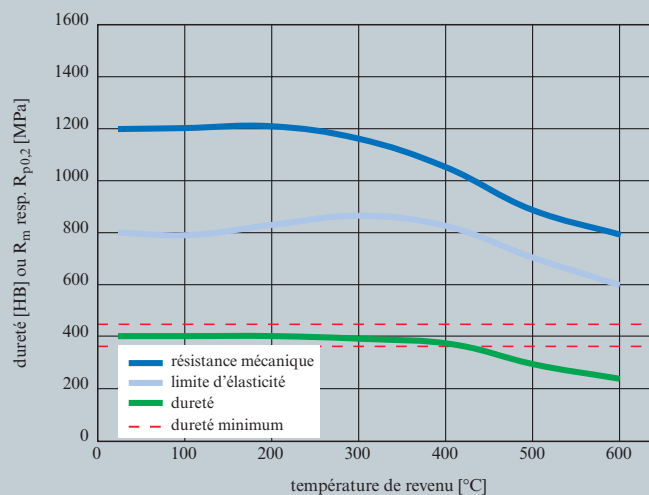
DILLIDUR 400 V/450 V/500 V :

Ces nuances obtiennent leur dureté par austénisation puis trempe. Il n'est donc pas possible de les mettre en forme à chaud, sauf si on réalise ensuite une nouvelle trempe.

Compte tenu de la diversité des dispositifs de traitement thermique dont disposent les utilisateurs et de la géométrie souvent complexe des pièces, les vitesses de refroidissement obtenues sont plus faibles que chez le producteur de tôles.

Il n'est en général pas possible d'obtenir une dureté et une trempe à coeur aussi élevées qu'à l'état initial. De plus, la pièce risque de se déformer. Si une nouvelle trempe des pièces est nécessaire en cours de fabrication, il convient de consulter DILLINGER HÜTTE GTS

Figure 13 : DILLIDUR 400 V : impact de la température de revenu sur la résistance mécanique, la limite d'élasticité et la dureté après refroidissement à température ambiante (valeurs données à titre indicatif)



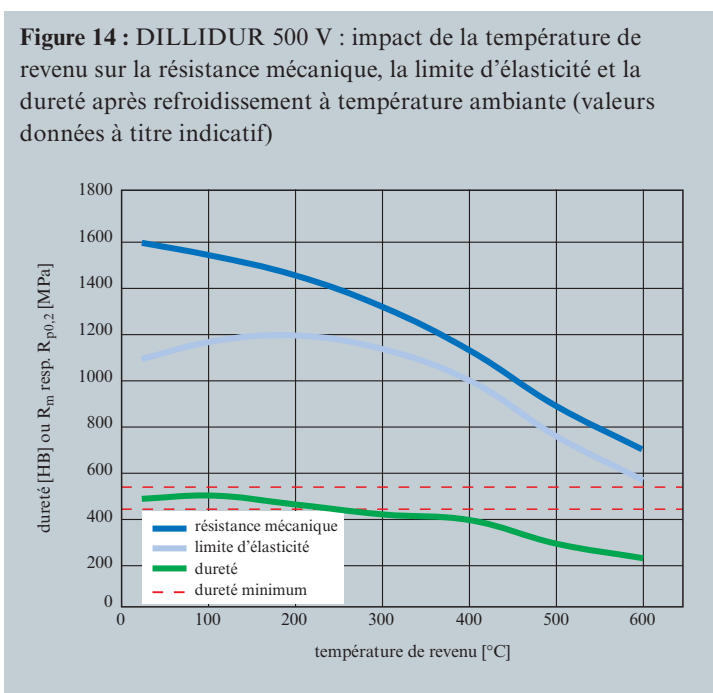
pour, le cas échéant, adapter la composition chimique.

Les figures 13 et 14 montrent l'évolution de la résistance

mécanique, de la limite d'élasticité et de la dureté des aciers DILLIDUR 400 V et 500 V en fonction de la température de revenu.



Figure 14 : DILLIDUR 500 V : impact de la température de revenu sur la résistance mécanique, la limite d'élasticité et la dureté après refroidissement à température ambiante (valeurs données à titre indicatif)



Si le formage à chaud des aciers DILLIDUR V est nécessaire, il doit s'effectuer si possible à une température comprise entre 880 et 950 °C.

Lors de la trempe consécutive au formage, il faut veiller à l'évacuation rapide de la chaleur en évitant la formation de couches de vapeur isolantes, afin de garantir une profondeur de trempe suffisante.



Découpage thermique

Le découpage des aciers DILLIDUR L et V par les procédés usuels (oxycoupage, découpage par fusion plasma ou découpage laser) ne pose pas de difficultés à condition de travailler selon les règles de l'art, avec des outils de qualité et adaptés à la mise en œuvre prévue. Les différents fabricants ayant mis au point des outils divers, il convient de respecter les valeurs de référence et les indications des fabricants figurant dans les tableaux de découpage (choix des busettes, pressions de gaz, mode opératoire, vitesse, etc.).

L'état de surface des tôles a également une influence marquée sur le bon déroulement de l'oxycoupage et la qualité de la surface de coupe. Si les exigences de qualité de la surface de coupe sont élevées, il est indispensable de retirer de la zone de coupe

sur la face supérieure de la tôle toute trace de calamine, de rouille, de peinture ou autres impuretés.

Oxycoupage : Cette méthode consiste à porter l'acier à la température d'inflammation grâce à une flamme gaz-oxygène et à le brûler ensuite dans un jet d'oxygène. Suivant la distance à la rive oxycoupée, on observe diverses transformations du matériau suite à l'apport de chaleur. Une zone très étroite (< 1 mm) à proximité de la rive est portée à la température de trempe (austénisée) ; le flux thermique très élevé en direction du matériau froid avoisinant lui confère une microstructure de trempe. Cette dissipation de chaleur peut atteindre une vitesse comparable à celle de la trempe à l'eau. Les zones voisines subsistent quant à elles un revenu. On parle également de zone affectée thermiquement (Z.A.T.). Les

forts gradients de température peuvent créer des contraintes et, dans des conditions très défavorables, conduire à des tapures de trempe. L'oxycoupage des aciers DILLIDUR doit faire l'objet d'une attention plus particulière que les aciers conventionnels lorsque l'épaisseur et la teneur en éléments d'alliages augmentent.

L'oxycoupage doit avoir lieu à une température suffisamment élevée afin d'éviter la formation de fissures. La zone austénisée subit ainsi une trempe moins sévère et les contraintes de retrait diminuent nettement.

Les températures de préchauffage minimum indiquées dans le tableau 6 ont donné de bons résultats pour l'oxycoupage.

Il convient d'oxycouper les angles rentrants avec un rayon afin d'amoindrir l'effet d'entaille.

Tableau 6 : Températures de préchauffage minimum pour l'oxycoupage de DILLIDUR

épaisseur de tôle [mm]	< 10	< 20	< 30	< 50	< 60	< 100
DILLIDUR 275 C	150 °C	150 °C	175 °C	225 °C	225 °C	225 °C
DILLIDUR 325 L	15 °C	75 °C	100 °C	120 °C	–	–
DILLIDUR 400 V ¹⁾	15 °C	15 °C	15 °C	75 °C	100 °C	100 °C
DILLIDUR 450 V ¹⁾	15 °C	15 °C	50 °C	75 °C	100 °C	125 °C
DILLIDUR 500 V ¹⁾	50 °C	50 °C	75 °C	100 °C	150 °C	180 °C

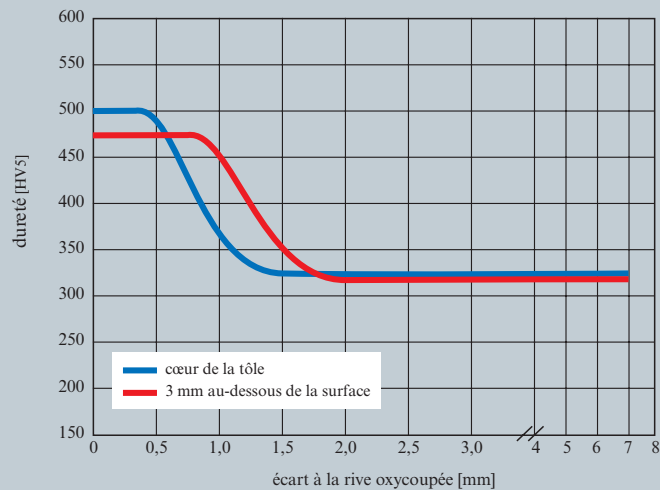
¹⁾ température maximum de chauffage < 250 °C (300 °C pour une courte durée)



Si les rives oxycoupées doivent être mises en forme à froid, par exemple par pliage, nous vous recommandons pour tous les aciers DILLIDUR de meuler les zones durcies dans la zone de formage prévue (cf. chapitre « Formage à froid », p. 20).

La figure 15 montre des profils de dureté typiques dans la Z.A.T. de la rive oxycoupée de DILLIDUR 325 L. Les valeurs de dureté atteintes sont similaires à celles résultant d'une trempe à l'eau. Cependant, cette dureté diminue en s'éloignant de la rive pour retomber rapidement au niveau de dureté initial de la pièce.

Figure 15 : Profils de dureté de DILLIDUR 325 L après oxycoupage à l'acétylène (valeurs données à titre indicatif, épaisseur de la tôle : 15 mm)





Dans le cas des aciers DILLIDUR V, la rive oxycoupée atteint à nouveau la dureté initiale du matériau trempé à l'eau. La zone intermédiaire, étroite, présente une faible dureté. Cette zone s'élargit au voisinage de la surface en raison d'une largeur de flamme plus élevée (cf. figures 16 et 17).

Il est conseillé de ne pas porter les aciers DILLIDUR V à une température supérieure à 250 °C de façon prolongée, car leur dureté diminue alors sensiblement.

Pour limiter cet adoucissement, il est recommandé non pas de préchauffer, mais plutôt de refroidir les pièces à oxycouper qui ne peuvent pas évacuer la chaleur assez rapidement, par exemple les pièces de petite taille, les lames, les tôles perforées pour cribles, les lamelles, etc.

Ceci peut être réalisé par exemple par un oxycoupage sous eau : la tôle à oxycouper est plongée aux 2/3 dans l'eau, ce qui permet d'évacuer rapidement la chaleur par convection. Les contraintes dues au retrait sont dans ce cas nettement plus faibles, et l'étréouissement de la Z.A.T. élimine le risque de fissuration. Un autre avantage de cette méthode est l'obtention d'excellentes tolérances dimensionnelles.

Figure 16 : Profils de dureté de DILLIDUR 400 V après oxycoupage à l'acétylène (valeurs données à titre indicatif, épaisseur de la tôle : 20 à 30 mm) et exemple de la ZAT d'oxycoupage en rive de tôle (micrographie)

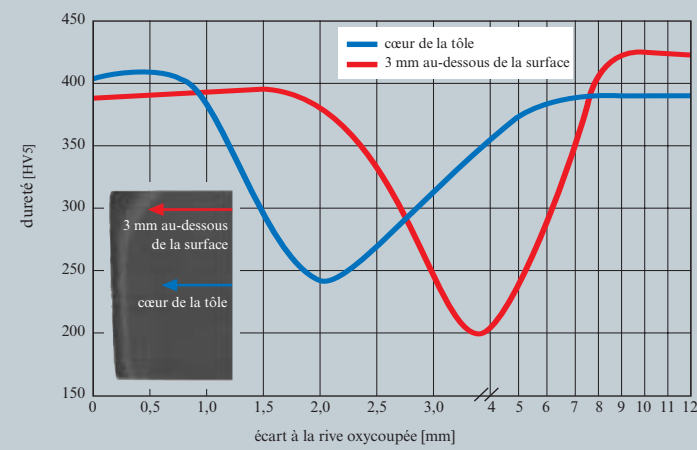
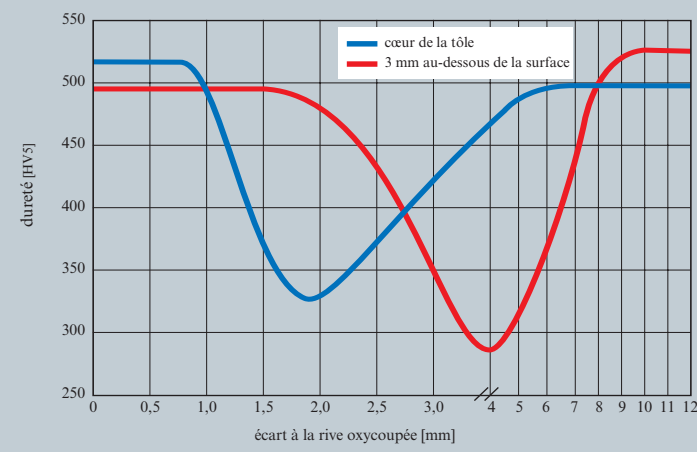


Figure 17 : Profils de dureté de DILLIDUR 500 V après oxycoupage à l'acétylène (valeurs données à titre indicatif, épaisseur de la tôle : 20 à 30 mm)





Découpage au laser et découpage plasma

Les principaux avantages du découpage au laser et plasma sont les suivants : un découpage plus performant, des saignées étroites et un apport thermique très faible. Ces deux méthodes de découpage permettent de couper des pièces de petite taille, des lamelles et des cribles avec peu de déformation et sans perte de dureté (cf. figure 18). De plus, ces méthodes ne nécessitent pas de préchauffage.

Le découpage au laser n'est possible que sur des tôles présentant un excellent état de surface, car le rayon laser doit être focalisé en un foyer à la surface de la tôle sans pertes par réflexion et absorbé sans interférences.

Pour répondre à ce cas particulier, tous les aciers DILLIDUR peuvent être livrés grenailés et peints sur demande.

Les résultats obtenus lors du découpage dépendent en grande

partie de l'adéquation entre la puissance du laser et l'épaisseur de la tôle à découper. Pour une tôle de 10 mm d'épaisseur et une puissance de 2-3 kW, il est possible d'atteindre des vitesses de coupe de 2000 mm/min.

Un traitement de surface approprié peut dans certaines conditions améliorer la performance.



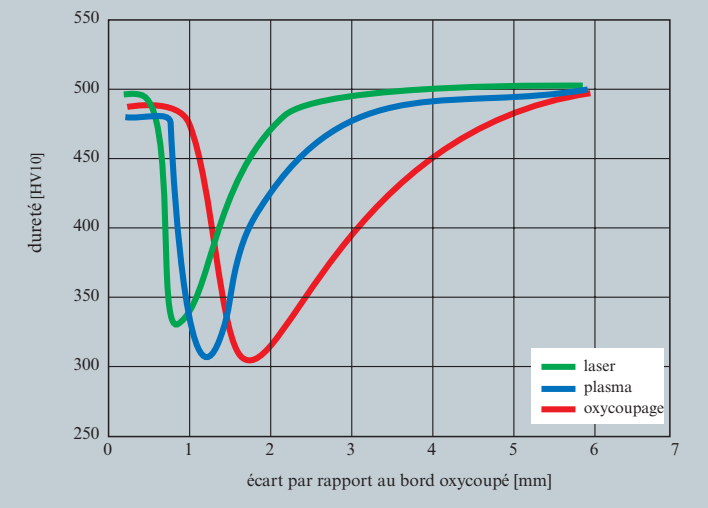
Figure 18 : Tôle perforée pour cribles en DILLIDUR 400 V, découpée au laser, épaisseur de la tôle : 12 mm



Contrairement au découpage au laser, le découpage plasma est également adaptée aux épaisseurs supérieures à 30 mm. La zone affectée thermiquement est toutefois un peu plus large. La figure 11 montre l'impact des différentes méthodes de découpage sur la Z.A.T. d'un acier résistant à l'usure, trempé à l'eau.

Découpage au jet d'eau : Cette méthode est particulièrement appropriée pour découper les aciers DILLIDUR, en raison de l'absence de flux thermique pouvant modifier les propriétés du matériau. Les propriétés de la pièce ne sont donc pas affectées. Toutefois, les vitesses de coupe sont plus faibles.

Figure 19 : Influence des différentes méthodes de découpage thermique sur la zone affectée thermiquement d'un acier résistant à l'usure trempé à l'eau (valeurs données à titre indicatif)





*Figure 20 : Godet de pelle soudé en DILLIDUR V
(photo publiée avec l'aimable autorisation de Schlüter Baumaschinen, Erwitte, Allemagne)*



Soudage

Soudabilité : Plus les teneurs en éléments d'alliage sont élevées, plus grand est le soin à apporter à la mise en œuvre, en particulier au contrôle de l'apport de chaleur lors du soudage.

Les aciers DILLIDUR 400 V et 450 V se prêtent très bien au soudage à l'aide des procédés usuels : soudage à l'arc sous flux poudreux, soudage manuel à l'arc et soudage à l'arc sous protection gazeuse, à condition de respecter les règles techniques générales du soudage (EN 1011, cf. chapitre «Bibliographie», p. 49) ainsi que les recommandations ci-après.

DILLIDUR 275 C est en revanche plus difficile à souder à cause de sa teneur en carbone relativement élevée. D'autres types d'assemblage sont préférables pour cet acier (vis par exemple).

DILLINGER HÜTTE GTS signale que les recommandations ci-après concernant le soudage ont un caractère purement indicatif.

Les diverses conditions de soudage, la construction et les métaux d'apport utilisés ont une influence prépondérante sur la qualité du joint soudé. Etant donné que nous ne connaissons pas les conditions de soudage

spécifiques aux différentes entreprises, nous ne pouvons garantir a priori ni les propriétés mécaniques des soudures ni l'absence de défauts. La pratique montre toutefois que les résultats obtenus sont satisfaisants si le soudage est effectué dans des conditions appropriées.

Préparation du cordon de soudure : Le cordon de soudure peut être préparé par usinage ou par découpage thermique. Au début de l'opération de soudage, la zone de soudure doit présenter un éclat métallique, être sèche et exempte de scories d'oxycoupage, de rouille, de calamine, de peinture et autres impuretés.



Métaux d'apport et consommables secondaires : Les métaux d'apport doivent être choisis en fonction des exigences auxquelles doivent satisfaire les propriétés mécaniques.

Pour les soudures d'angle et les soudures bord à bord partiellement sollicitées, il suffit dans la plupart des cas d'utiliser un métal d'apport « mou » présentant une résistance et une dureté faibles (limite d'élasticité ≤ 355 MPa). Si les cordons de soudure peuvent être placés dans des zones relativement peu exposées à l'usure, ceci n'affectera pas la durée de vie de la pièce.

Le tableau 7 recense des métaux d'apport « mous » appropriés. Nous vous recommandons de souder au moins la racine du

cordon avec un métal d'apport « mou », afin de permettre la relaxation des contraintes.

Pour les cordons de soudure fortement sollicités par l'usure, il est recommandé de réaliser les passes finales avec des électrodes spéciales permettant d'apposer une couche particulièrement dure. Le tableau 8 recense des métaux d'apport « durs » appropriés. N'oubliez pas toutefois que le risque de fissuration à froid augmente avec la dureté du cordon de soudure.

Pour le soudage manuel à l'arc, on utilise pour des raisons de ténacité des électrodes en baguettes à enrobage basique. Les électrodes de ce type présentent deux avantages : la résilience du métal déposé est plus

élevée, et leur apport en hydrogène (environ 5 ml/100 g de métal fondu), est nettement inférieur à celui de tous les autres types d'enrobage (environ 10 à 15 ml/100 g de métal fondu). Le risque de fissuration à froid diminue donc sensiblement. Il faut s'assurer que le séchage et le stockage se fassent en suivant scrupuleusement les indications du fabricant, étant donné que les enrobages basiques absorbent l'humidité de l'air.

L'utilisation d'électrodes austénitiques ou d'électrodes à base de nickel permet dans certains cas de souder sans préchauffage. Du fait de leur coût élevé, les électrodes de ce type ne présentent un intérêt que pour les soudures de faible section.



Tableau 7 : Métaux d'apport « mous » et consommables secondaires pour le soudage de DILLIDUR

Soudage manuel à l'arc

Désignation	Norme	Fabricant
Tenacito	DIN EN 499 E 42 6 B 42 H5 – AWS A 5.1 E 7018	OERLIKON
Phoenix 120 K	DIN EN 499 E 42 5 B 32 H5 – AWS A 5.1 E 7018	THYSSEN
Fox EV 50	DIN EN 499 E 42 4 B 42 H5 – AWS A 5.1 E 7018	BOEHLER
OK 48.00	DIN EN 499 E 38 2 B 42 H5 – AWS A 5.1 E 7018	ESAB

Soudage à l'arc sous protection gazeuse

Désignation	Norme	Fabricant
Fluxofil 30	DIN EN 758 T 42 2 B C 3 – AWS A 5.20 E 70 T-5	OERLIKON
Fluxofil 31	DIN EN 758 T 42 4 B C 3 – AWS A 5.20 E 70 T-5	OERLIKON
Union K 52	DIN EN 440 G 42 A C G3 Si1 – AWS A 5.18 ER 70 S-6	THYSSEN
OK Autrod 12.51	DIN EN 440 G 42 5 M G3 Si1 – AWS A 5.18 ER 70 S-6	ESAB

Soudage à l'arc sous flux poudreux

Désignation	Norme	Fabricant
OE S2	DIN 756 S2 – AWS A 5.17 EM 12	OERLIKON
Union S2	DIN 756 S2 – AWS A 5.17 EM 12	THYSSEN
OK Autrod 12.20	DIN 756 S2 – AWS A 5.17 EM 12	ESAB
EMS 2	DIN 756 S2 – AWS A 5.17 EM 12	BOEHLER

à combiner avec des poudres basiques au fluorure, type FB selon la norme EN 760, par exemple A FB 1 55 AC



Tableau 8 : Métaux d'apport « durs » et consommables secondaires pour le soudage de DILLIDUR

Soudage manuel à l'arc

Désignation	Norme	Fabricant
Tenacito 80	DIN EN 757 E 69 4 Mn2NiCrMo B H5 – AWS A 5.5 E 11018-G	OERLIKON
Tenacito 100	DIN EN 757 E 89 2 Mn2Ni1CrMo B H5 – AWS A 5.5 E 12018-G	OERLIKON
SH Ni2 K 90	DIN EN 757 E 55 5 2 NiMo B – AWS A 5.5 E 10018-M	THYSSEN
SH Ni2 K 130	DIN EN 757 E 89 2 Mn2Ni1CrMoB – AWS A 5.5 E 12018-M	THYSSEN

Soudage à l'arc sous protection gazeuse

Désignation	Norme	Fabricant
Union NiMoCr	AWS A 5.28 ER 100 S-1	THYSSEN
Fluxofil 41	DIN EN 758 T 50 6 1NiMo B C(M) 3 – AWS A 5.29 E 90 T5-G	OERLIKON
Fluxofil 42	AWS A 5.29 E 110 T5 K4	OERLIKON

Soudage à l'arc sous flux poudreux

Désignation	Norme	Fabricant
Union S3 Mo	DIN EN 756 S3Mo – AWSA 5.23 EA 4	THYSSEN
Union S3 NiMoCr	AWSA 5.23 ~ EM2	THYSSEN
Fluxocord 41	AWSA 5.23 F9A8-EC-G	OERLIKON
Fluxocord 42	AWSA 5.23 F11 A8-EC-F5	OERLIKON

à combiner avec des poudres basiques au fluorure, type FB selon la norme EN 760, par exemple A FB 1 55 AC



Comment éviter la fissuration à froid : Comme tous les aciers trempés résistants à l'usure, les aciers DILLIDUR sont sujets, si les conditions sont défavorables, à la fissuration à froid au voisinage du cordon de soudure.

Etant donné que les fissures n'apparaissent que plusieurs heures après le soudage, il convient d'effectuer un contrôle des fissures au plus tôt 48 heures après le soudage.

On peut en principe éviter la formation de fissures à froid en prenant des précautions appropriées pendant le soudage et avant tout en éliminant les deux facteurs qui favorisent la fissuration à froid : la présence d'hydrogène dans le métal déposé et les contraintes résiduelles. Un troisième facteur influent, à savoir la dureté due à la trempe dans la Z.A.T. des aciers DILLIDUR, est difficile à corriger en raison de la teneur relativement élevée en éléments d'alliage du métal de base (selon le type d'acier) et des métaux d'apport. Le dépôt d'atomes d'hydrogène aux joints de grains du métal

d'apport et le long de la ligne de fusion est en majeure partie responsable de la fissuration à froid. L'apport d'hydrogène se fait par le biais de métaux d'apport humides, de films d'humidité sur les chanfreins de soudure ou de l'atmosphère entourant l'arc. On peut limiter ce phénomène en choisissant des métaux d'apport appropriés et en les stockant à un endroit sec, et surtout en préchauffant la pièce à souder, et plus précisément la zone du cordon de soudure.

La température plus élevée a pour effet de retarder le refroidissement du cordon de soudure après le soudage et donne ainsi à l'hydrogène plus de temps pour diffuser vers l'extérieur. Ce processus a lieu principalement dans la fourchette de température de 300 à 100 °C.

Le contrôle de la température n'est pas seulement un chauffage préalable de la zone de soudure, mais aussi le maintien d'une température minimale donnée pendant toute la durée du soudage (température de travail).

Les conditions optimales de préchauffage dépendent du procédé utilisé.

Pour le soudage à l'arc sous protection gazeuse, l'apport d'hydrogène dans le métal déposé est relativement faible (< 2 ml/100g) : il est donc souvent possible de renoncer au préchauffage des aciers DILLIDUR 400 V et 450 V, à condition d'utiliser des électrodes à faible résistance mécanique.

En raison de l'apport de chaleur plus élevé, le risque de fissuration à froid est plus faible pour le soudage à l'arc sous flux poudreux que pour le soudage manuel à l'arc, à condition de sécher et stocker les poudres conformément aux instructions du fabricant.

L'expérience montre que le soudage à l'arc sous flux poudreux n'est approprié que pour DILLIDUR 400 V. Lorsque l'apport de chaleur dépasse 2,5 kJ/mm, les températures de préchauffage indiquées peuvent en général être réduites d'environ 30 °C.



Figure 21 : Benne basculante de camion en DILLIDUR 400 V, épaisseur de la tôle : 10 mm



Les températures de préchauffage pour le soudage sont données dans les figures 22 à 25. Il s'agit des températures de préchauffage minimum recommandées en fonction de l'épaisseur de la tôle et de la teneur en hydrogène dans le métal fondu.

Tenez compte du fait que l'épaisseur de la tôle n'est pas l'épaisseur combinée. C'est toujours la tôle la plus épaisse dans la construction à souder qui est déterminante.

Au début du soudage, la température de préchauffage doit être atteinte sur toute la longueur du cordon de soudure. Pour ce faire, il convient de porter à la température de préchauffage

une zone large de 100 mm environ (ou au moins quatre fois l'épaisseur de la tôle) des deux côtés du cordon de soudure. Pour les soudures multipasses, la température interpasse doit rester au-dessus de la température minimum de préchauffage indiquée.

Le risque de fissuration dans les joints soudés suite à des contraintes résiduelles est particulièrement élevé lorsque la section de la soudure n'est qu'en partie remplie. C'est pourquoi il faut absolument éviter que la température ne descende au-dessous de la température de travail prescrite, et ce pendant toute la durée du soudage. En évitant les transitions de section brusques et l'accumulation des cordons

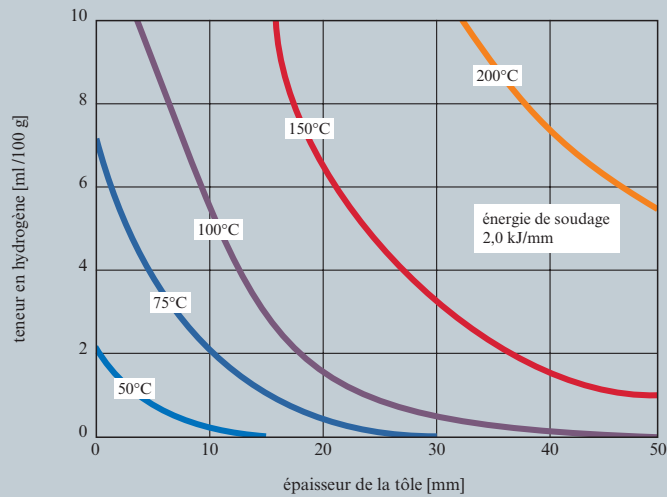
de soudure, on peut réduire les contraintes résiduelles. Veillez par ailleurs à bien ajuster les différentes pièces à souder et à réaliser des cordons de soudure sans entaille. Le choix judicieux des séquences de soudage permet également de réduire les contraintes résiduelles.

La séquence de soudage doit être choisie de sorte que les différentes pièces puissent se contracter librement le plus longtemps possible.

La racine de la soudure et les soudures d'épingle doivent être suffisamment épaisses et réalisées en respectant les températures de préchauffage minimum.



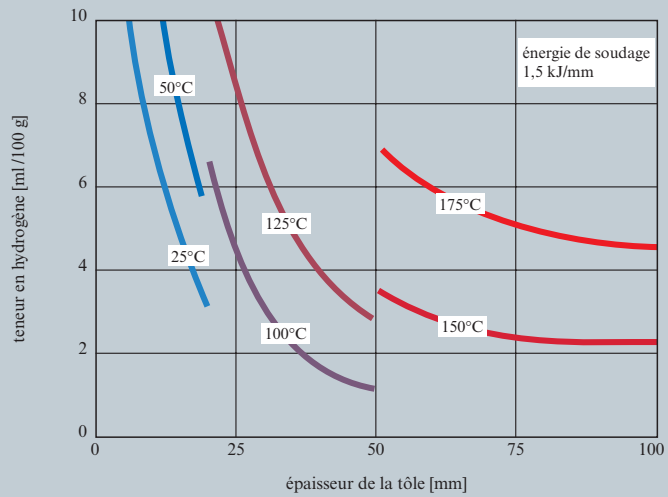
Figure 22 : DILLIDUR 325 L : températures de préchauffage recommandées en fonction de l'épaisseur de la tôle et de la teneur en hydrogène du métal fondu



teneur en hydrogène HDM conformément à la norme ISO 3690



Figure 23 : DILLIDUR 400 V : températures de préchauffage recommandées en fonction de l'épaisseur de la tôle et de la teneur en hydrogène du métal fondu



teneur en hydrogène HDM conformément à la norme ISO 3690



Figure 24 : DILLIDUR 450 V : températures de préchauffage recommandées en fonction de l'épaisseur de la tôle et de la teneur en hydrogène du métal fondu

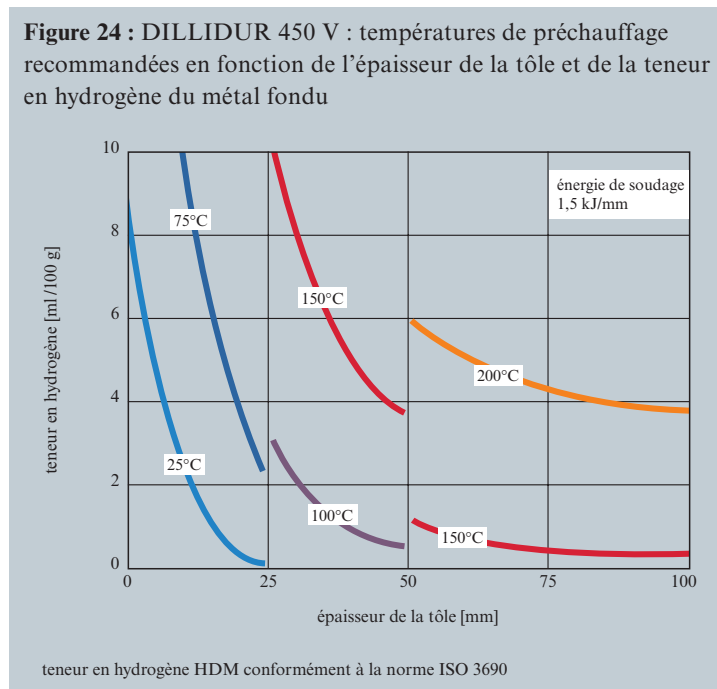
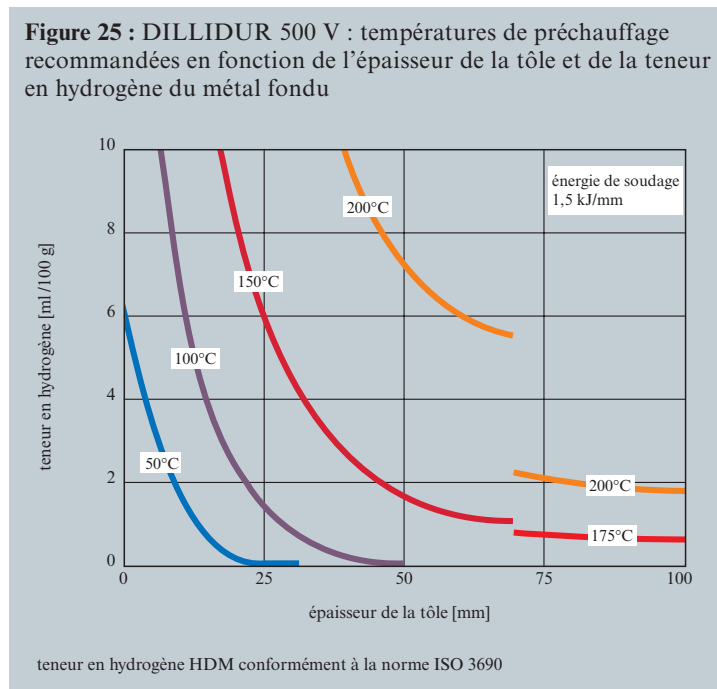




Figure 25 : DILLIDUR 500 V : températures de préchauffage recommandées en fonction de l'épaisseur de la tôle et de la teneur en hydrogène du métal fondu



**Rechargement par soudure :**

Les soudures localement très sollicitées par l'usure peuvent être renforcées par une passe finale de rechargement. Ce type de protection peut être pratiqué sur tous les aciers DILLIDUR.

Cependant, il faut savoir que le rechargement par soudure peut modifier les caractéristiques initiales de la tôle dans la zone affectée thermiquement, notamment pour les aciers DILLIDUR V.

Une fois la passe de soudure usée, il se peut que le métal de base adouci s'use plus rapidement que le matériau à l'état initial. Si la passe finale n'est pas renouvelée à temps, ce type de protection contre l'usure peut, à long terme, s'avérer néfaste.

Nous vous recommandons donc de prendre contact avec les fabricants respectifs pour obte-

nir des informations supplémentaires sur les métaux d'apport appropriés au rechargement par soudure.

Usinage

Les aciers DILLIDUR présentent une bonne usinabilité malgré leur résistance et leur dureté élevées. Il faut cependant respecter lors de l'usinage les quelques règles fondamentales ci-après.

Pour éviter toute vibration, il est recommandé de travailler sur une machine la plus rigide possible et de minimiser l'écart entre la pièce à usiner et la machine (bâti). Il est également conseillé de bien serrer la pièce à usiner sur la table de travail.

Le refroidissement doit être suffisant et adapté au type d'usinage. Une alimentation en réfrigérant discontinue ou insuffisante peut provoquer une surchauffe du tranchant, ce qui

entraîne une usure plus rapide de celui-ci, voire même une rupture de l'outil. Veuillez à cet effet respecter les indications des fabricants d'outils.

Afin de minimiser les frais d'entretien et de prolonger la durée de vie des outils, il est conseillé de vérifier régulièrement leur degré d'usure (marque d'abrasion) et de les affûter.

Les recommandations des tableaux suivants concernant le choix d'outils et les paramètres d'usinage des aciers DILLIDUR sont des valeurs indicatives qui peuvent donner des résultats différents selon les machines. L'utilisateur doit donc vérifier leur validité sur le terrain. Pour obtenir des informations plus détaillées sur l'usinage et le choix optimal des outils, nous vous conseillons de prendre contact avec les fabricants d'outils ou DILLINGER HÜTTE GTS.



Perçage : Le perçage des aciers DILLIDUR s'effectue sans difficulté malgré leur dureté élevée. On peut utiliser à cet effet des forets hélicoïdaux à coupe rapide au cobalt, des forets hélicoïdaux à mise rapportée en métal dur, des forets hélicoïdaux en alliage dur (éventuellement avec refroidissement intérieur)

ainsi que des forets à plaquettes réversibles. Dans le cas de forets stables, il est recommandé de démarrer le perçage avec une avance plus rapide, afin d'assurer une prise rapide et stable. Ceci permet également de réduire les vibrations. De la même façon, l'interruption de l'avance avant la sortie du foret

permet de relâcher machine et outil et d'éviter ainsi les ruptures de tranchant.

Le tableau 9 donne des indications complémentaires sur le choix des outils et des paramètres de perçage adaptés.

Tableau 9 : Valeurs indicatives des paramètres de perçage pour DILLIDUR 325 L, 400 V, 450 V et 500 V

DILLIDUR	Type d'outil (matériau de coupe)	Vitesse de coupe V_c [m/min]	Avance f [mm/rev.] en fonction du diamètre		
			5 – 15 mm	20 – 30 mm	30 – 40 mm
325 L	foret hélicoïdal en métal dur et/ou à mise rapportée ¹⁾	8 – 12	0,02 – 0,12	0,10 – 0,20	0,15 – 0,25
	foret à plaquettes amovibles ²⁾	80 – 90	0,06 – 0,075	0,10 – 0,11	0,11 – 0,12
400 V	foret à coupe rapide en métal dur (TIN) ¹⁾	35 – 50 sans refroidissement intérieur 40 – 70 avec refroidissement intérieur	0,06 – 0,16	0,18 – 0,25	–
	foret hélicoïdal en acier rapide (HSS) allié au cobalt ²⁾	8 – 10	0,05 – 0,16	0,20 – 0,25	–
	foret à plaquettes amovibles ²⁾	60 – 70	–	0,10 – 0,12	0,12
450 V	foret à coupe rapide en métal dur (TIN) ¹⁾	35 – 50 sans refroidissement intérieur 40 – 70 avec refroidissement intérieur	0,06 – 0,16	0,18 – 0,25	–
	foret hélicoïdal en acier rapide (HSS) allié au cobalt ²⁾	6 – 10	0,05 – 0,15	0,20 – 0,25	–
	foret à plaquettes amovibles ²⁾	50 – 60	–	0,10 – 0,12	0,11
500 V	foret à coupe rapide en métal dur (TIN) ¹⁾	35 – 50 sans refroidissement intérieur 40 – 70 avec refroidissement intérieur	0,06 – 0,16	0,18 – 0,25	–
	foret hélicoïdal en acier rapide (HSS) allié au cobalt ²⁾	4 – 10	0,05 – 0,13	0,18 – 0,25	–
	foret à plaquettes amovibles ²⁾	40 – 50	–	0,10	0,10

¹⁾ résultats obtenus à l'aide d'outils de Fette GmbH, Schwarzenbek, Allemagne

²⁾ résultats obtenus à l'aide d'outils de Ferrotec, Bielefeld, Allemagne

Agent réfrigérant et/ou lubrifiant : émulsion



Fraisage conique : le fraisage conique et cylindrique des tôles trempées est facilité lorsque l'outil dispose d'un tourillon de guidage. Ceci permet d'éviter les vibrations, de même que l'utilisation de forets aléseurs à trois tranchants. Le tableau 10 donne des valeurs indicatives pour la vitesse de coupe et l'avance.

Taraudage : Il est généralement possible de réaliser les filetages à la machine. Le tableau 11 donne des indications concernant le choix des outils, la vitesse de coupe et la vitesse de rotation.

Sciage : Nous vous recommandons d'utiliser une scie à ruban pour scier les aciers DILLIDUR. Il est également préférable de

meuler la rive oxycoupée dans la zone de sciage sur une profondeur de 1 à 2 mm et de scier la section la plus petite. En pratique, les rubans de scie au cobalt ou les lames de scie en métal dur donnent de bons résultats. Nous recommandons une vitesse de coupe d'environ 18 m/min avec un refroidissement approprié.

Tableau 10 : Valeurs indicatives des paramètres de fraisage conique pour DILLIDUR 325 L, 400 V, 450 V et 500 V

DILLIDUR	Type d'outil (matériau de coupe)	Vitesse de coupe V_c [m/min]	Avance f [mm/tr.] en fonction du diamètre	
			15 – 30 mm	30 – 60 mm
325 L 400 V 450 V 500 V	foret en métal dur et/ou à mise rapportée ¹⁾	30 – 40 30 – 40 20 – 30 10 – 20	0,10 – 0,15	0,15 – 0,25

¹⁾ résultats obtenus à l'aide d'outils de Fette GmbH, Schwarzenbek, Allemagne et Ferrotec, Bielefeld, Allemagne

Agent réfrigérant et/ou lubrifiant : émulsion

Tableau 11 : Valeurs indicatives des paramètres de taraudage pour les aciers DILLIDUR V

DILLIDUR	Type d'outil (matériau de coupe)	Vitesse de coupe V_c [m/min]	Vitesse de rotation n [1/min] en fonction du diamètre de filetage				
			M10	M16	M20	M30	M42
400 V 450 V 500 V	Taraud à main ou machine HSS-Co ¹⁾	1,5 – 3,5	50 – 120	40 – 80	30 – 60	20 – 40	15 – 30

¹⁾ résultats obtenus à l'aide d'outils de Ferrotec, Bielefeld, Allemagne

Agent réfrigérant et/ou lubrifiant : émulsion



Fraisage : Les aciers DILLIDUR peuvent être fraisés à l'aide d'outils en acier à coupe rapide (HSS, TiN, TiCN) et d'outils munis de plaquettes réversibles. En raison de la dureté des rives oxycoupées, qui peut atteindre des valeurs élevées, il est préférable d'effectuer la première entaille à une profondeur d'au moins 2 mm, c'est-à-dire suffisamment loin de la zone affectée thermiquement. Il est recommandé d'utiliser des plaquettes réversibles circulaires pour fraisier les aciers DILLI-

DUR V. Il s'est avéré que cette géométrie présentait des avantages par rapport à celle de la fraise à surfacer (avec un angle d'inclinaison de 45°). L'utilisation de plaquettes réversibles à large tranchant permet une réduction supplémentaire de l'usure. Dans ce cas, il est conseillé de remplacer le refroidissement par émulsion par un usinage à sec. En revanche, l'utilisation d'air comprimé ou d'une quantité minimale de lubrifiant permet d'améliorer encore la durée de vie des outils.

Les plaquettes réversibles en métal dur sont sensibles aux vibrations. Ces dernières doivent donc être réduites par tous les moyens envisageables, par exemple en fixant solidement la pièce à usiner. Si vous souhaitez fraisier de grandes surfaces, nous vous recommandons de procéder à un fraisage alterné sur les deux faces, afin d'éviter la déformation de la pièce à usiner. Les tableaux 12 et 13 donnent des valeurs indicatives de la vitesse de coupe et de l'avance pour le surfacage et le chanfreinage.

Tableau 12 : Valeurs indicatives des paramètres de surfacage pour les aciers DILLIDUR V

DILLIDUR	Type d'outil (matériau de coupe)	Vitesse de coupe V_c [m/min]	Avance/dent f_z [mm]
400 V	Fraise à copier/(FC 220N) ¹⁾ (HC-P20 + TiN)	130 – 150	0,10 – 0,12
450 V	Fraise à copier/(FC 220N) ¹⁾ (HC-P20 + TiN)	100 – 130	0,10 – 0,12
500 V	Fraise à copier/(FC 220N) ¹⁾ (HC-P20 + TiN)	80 – 90	0,10 – 0,12

¹⁾ résultats obtenus à l'aide d'outils de Fette GmbH, Schwarzenbek, Allemagne
(fraise à copier TwinCut : $d = 125$ mm, nombre de dents : $z = 8$)

Agent réfrigérant et/ou lubrifiant : aucun

Tableau 13 : Valeurs indicatives pour le chanfreinage des aciers DILLIDUR V

DILLIDUR	Type d'outil (matériau de coupe)	Vitesse de coupe V_c [m/min]	Avance/dent f_z [mm]
400 V	Fraise dégrossisseuse/(FC 220N) ¹⁾ (HC-P20 + TiN)	145 – 155	0,13 – 0,15
450 V	Fraise dégrossisseuse/(FC 220N) ¹⁾ (HC-P20 + TiN)	100 – 140	0,15 – 0,17
500 V	Fraise dégrossisseuse/(FC 220N) ¹⁾ (HC-P20 + TiN)	85 – 95	0,17 – 0,19

¹⁾ résultats obtenus à l'aide d'outils de Fette GmbH, Schwarzenbek, Allemagne
(fraise dégrossisseuse TwinCut : $d = 63$ mm, nombre de dents : $z = 3$)

Agent réfrigérant et/ou lubrifiant : aucun



Nitruration

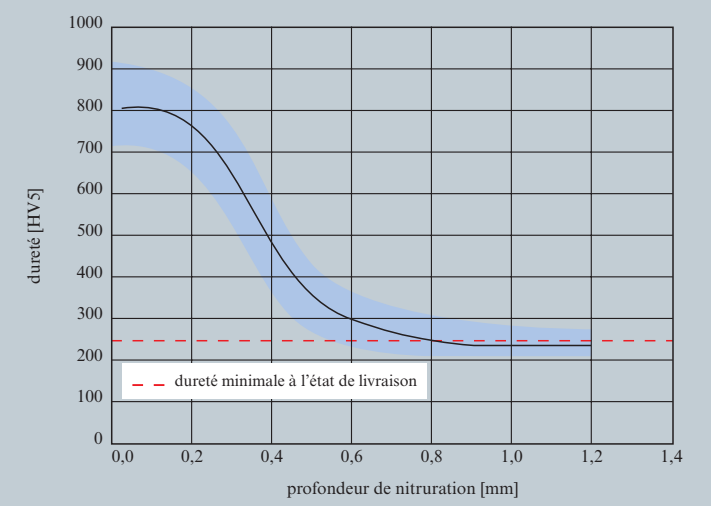
Pour des applications particulières, notamment pour les moules ou pour la réalisation de poinçons, il peut être avantageux de procéder à une nitruration des aciers DILLIDUR, afin d'augmenter leur résistance à l'usure en surface.

Le durcissement consécutif à la nitruration est dû à la diffusion d'azote à la surface de la pièce, formant ainsi des nitrures à haute dureté.

La nitruration a lieu à une température comprise entre 500 et 600 °C suivant la méthode utilisée. Les aciers DILLIDUR L et DILLIDUR V se prêtent particulièrement bien à la nitruration en raison de leur teneur en éléments nitrurants comme l'aluminium, le silicium, le chrome, le niobium, le titane et le vanadium.

La nitruration en phase gazeuse de DILLIDUR 325 L permet

Figure 26 : Fourchette de dureté après nitruration en phase gazeuse de DILLIDUR 325 L, durée de la nitruration : 80 heures environ, température de nitruration : 530 °C (valeurs données à titre indicatif)



par exemple d'atteindre une dureté de 920 HV en surface et des profondeurs de nitruration jusqu'à 0,7 mm pour 340 HV (cf. figure 26). Le revenu subi lors de la nitruration fait chuter la dureté au cœur de la tôle jusqu'au niveau de dureté minimum à l'état de livraison.

Pour le choix de la nuance DILLIDUR la mieux adaptée (y compris la variante développée spécialement pour la nitruration), veuillez prendre contact avec DILLINGER HÜTTE GTS.



BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie relative au chapitre « Protégez vos équipements de l'usure »

Uetz U : Abrasion und Erosion (abrasion et érosion). Carl Hanser Verlag, 1986, pp. 2-25

Zum Gahr K.H. : Entwicklung und Einsatz verschleißfester Werkstoffe (développement et utilisation de matériaux résistants à l'usure). Materialwissenschaft und Werkstofftechnik 19 (1988), pp. 223-230

DIN 50320 (1979) : Verschleiß (usure). Beuth Verlag GmbH, Berlin (retirée)

DIN 50321 (1979) : Verschleiß-Meßgrößen (paramètres d'usure). Beuth Verlag GmbH, Berlin (retirée)

GfT Arbeitsblatt 7 : Tribologie – Definitionen, Begriffe, Prüfung (Tribologie – définitions, terminologie, essais). Gesellschaft für Tribologie e.V., Moers, 2002

Bibliographie relative au chapitre « Mise en œuvre de DILLIDUR »

Stahl Merkblatt 252 : Thermisches Schneiden von Stahl (découpage thermique de l'acier). Stahl-Informations-Zentrum, Düsseldorf, 1985

Hermann F.D. : Thermisches Schneiden – Die schweißtechnische Praxis (découpage thermique de l'acier – la pratique du soudage). DVS-Berichte Band 13. DVS-Verlag, Düsseldorf, 1979

EN 1011 (Partie 1 : 05/2002, Partie 2 : 01/2001) : Recommendations pour le soudage des matériaux métalliques, CEN

Uwer D. et al : Schweißen moderner hochfester Baustähle (soudage d'aciers de construction modernes HLE). Stahl u. Eisen 112 (1992) 4, pp. 29-35

Stahl Merkblatt 381 : Schweißen unlegierter und niedriglegierter Baustähle (soudage d'aciers de construction non alliés et faiblement alliés). Stahl-Informations-Zentrum, Düsseldorf, 1989

NF EN ISO 3690 (02/2001) : Soudage et techniques connexes : Détermination de la teneur en hydrogène dans le métal fondu pour le soudage à l'arc des aciers ferritiques. AFNOR

Stahl Merkblatt 447 : Nitrieren und Nitrocarburieren (nituration et nitrocarburation). Stahl-Informations-Zentrum, Düsseldorf, 1983



GLOSSAIRE

Allongement à la rupture	17
Carbone équivalent	12, 39 et suivantes
Composition chimique	12
Contraintes résiduelles	39
Découpage au laser	30
Découpage plasma	30 et suivante
Découpage au jet d'eau	31
Dureté	15 et suivantes
Energie de soudage	37, 40 et suivantes
Fissuration à froid	37 et suivantes
Formage à chaud	10, 23 et suivantes
Formage à froid	10, 20 et suivante
Fraisage	47
Fraisage conique	46
Limite d'élasticité	17 et suivantes
Métaux d'apport de soudage	33 et suivantes
Microstructure	13, 15
Nitruration	48
Ouverture de matrice	20 et suivante
Oxycoupage	27 et suivantes
Perçage	45
Rayon de pliage	20 et suivante
Rechargement par soudure	44
Résilience	17
Résistance à la traction	17 et suivantes
Résistance mécanique aux températures élevées	18 et suivantes
Revenu	23 et suivantes
Sciage	46
Soudabilité	10, 33 et suivantes
Soudage à l'arc sous flux poudreux	33 et suivantes
Soudage à l'arc sous protection gazeuse	33 et suivantes
Soudage manuel à l'arc	33 et suivantes
Système tribologique	6 et suivantes
Taraudage	46
Température de préchauffage minimum	27, 39 et suivantes
Ténacité	10, 17
Teneur en hydrogène	37 et suivantes
Trempe à cœur	18
Trempe à l'eau	15 et suivantes, 26
Usinage	10, 44 et suivantes
Usure, types et mécanismes	7 et suivantes
Zone affectée thermiquement	27 et suivantes, 31



SOCIETES DE VENTE

Allemagne

Vertriebsgesellschaft
Dillinger Hütte GTS
Postfach 104927
70043 Stuttgart
Tél: +49 7 11 61 46-300
Fax: +49 7 11 61 46-221

France

Dilling-GTS Ventes
5, rue Luigi Cherubini
93212 La Plaine Saint Denis
Cedex
Tél: +33 1 71 92 16 74
Fax: +33 1 71 92 17 98

Pour obtenir les coordonnées de
notre réseau commercial dans
les autres pays, nous vous prions
de vous adresser à notre bureau
de coordination à Dillingen.
Tél: +49 68 31 47 23 85
Fax: +49 68 31 47 99 24 72

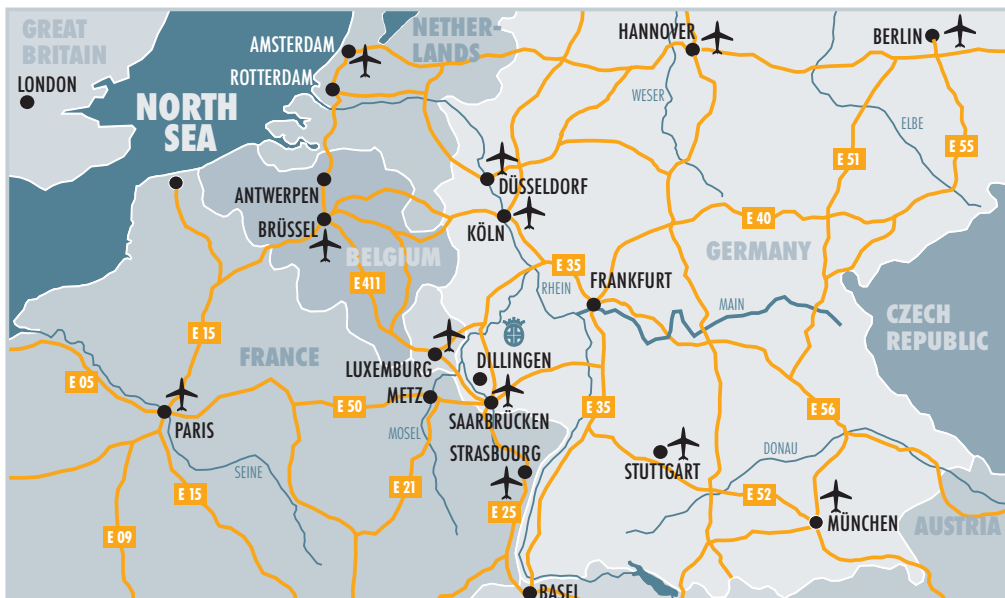


AG der Dillinger Hüttenwerke

Postfach 1580
66748 Dillingen/Saar
Tél: +49 68 31 47-21 46
Fax: +49 68 31 47-30 89

e-mail: info@dillinger.biz
<http://www.dillinger.de>

Remarque générale (responsabilité) :
Les indications relatives à la qualité
et aux possibilités d'utilisation de
matériaux et/ou de produits sont
de nature purement descriptive.
Les garanties sur la présence de
caractéristiques ou l'aptitude pour
une application donnée font tou-
jours l'objet d'un accord écrit
spécifique.



Comment nous trouver

