

Corrosion

Figure 9. Influence de la corrosion sur la résistance à la fatigue à température ambiante. Le type de charge est une contrainte de flexion alternée avec une contrainte moyenne égale à 0. La probabilité de rupture est 50 %.

A = SANDVIK 12R11, 7C27Mo2 et 20L dans l'air sec

B = SANDVIK 12R11, 7C27Mo2 dans l'eau ordinaire

C = SANDVIK 20L dans l'eau ordinaire

Généralités

Certaines industries telles que les industries alimentaires, textiles et chimiques, utilisent depuis longtemps des ressorts en acier inoxydable soit pour répondre à des critères d'hygiène ou de résistance à la corrosion.

Cependant, de plus en plus, l'acier inoxydable est utilisé dans d'autres domaines pour la réalisation de ressorts dans beaucoup d'autres industries qui jusqu'à présent n'utilisaient que des ressorts en acier au carbone, l'industrie automobile étant un bon exemple sur ce point.

La bonne résistance à la corrosion des aciers inoxydables est due à un film d'oxyde de chrome qui se développe à la surface de l'acier et qui a des propriétés très élevées de résistance aux attaques de corrosion.

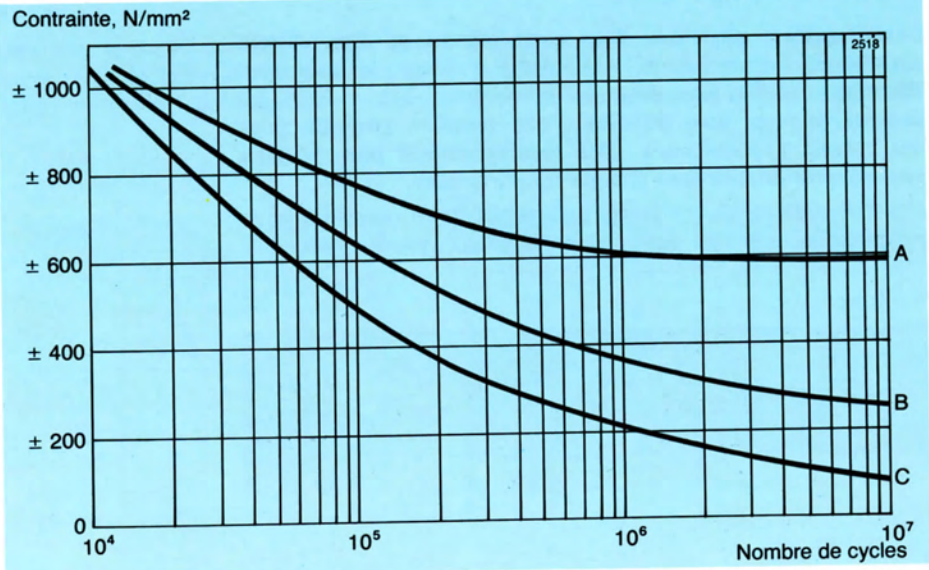
La teneur en chrome minimum du métal pour la formation de ce film et pour résister à la corrosion dans de l'eau courante sous des conditions atmosphériques normales est d'environ 12 %.

La résistance à la corrosion est améliorée par des augmentations de la teneur en chrome et aussi par l'addition de Molybdène. Le Nickel, quant à lui, améliore la résistance des aciers à certains types de corrosion.

Fatigue de corrosion

Du fait de leur résistance à la corrosion supérieure et par conséquent de leur plus grande résistance à la fatigue par corrosion, les ressorts en acier inoxydable ont une durée de vie en service beaucoup plus longue que des ressorts en acier au Carbone. Ces derniers sont susceptibles de se rompre par une fatigue de corrosion, même dans une ambiance faiblement agressive et sans qu'aucune marque visible d'attaque de corrosion puisse être remarquée. La figure 9 illustre l'influence de la corrosion sur la résistance à la fatigue des ressorts.

En l'absence d'une influence quelconque de corrosion, les aciers présentent une résistance à la fatigue appelée limite de fatigue, en dessous de laquelle les ruptures apparaissent rarement. Voir page 12. Mais, si le ressort est exposé à une ambiance corrosive, tout en étant soumis à une contrainte mécanique, aucune limite de fatigue ne peut être déterminée



et la résistance à la fatigue continue de décroître. Lorsque le nombre de cycles de charge augmente, cette décroissance est bien plus évidente pour les aciers au carbone. Voir C dans la figure 9.

Donc, dans le cas où une grande fiabilité en service est nécessaire, on devra choisir avec attention la nuance d'acier inoxydable pour ressorts à utiliser.

Corrosion générale

Les aciers inoxydables austénitiques et martensitiques sont résistants aux acides minéraux froids et dilués comme l'acide phosphorique, l'acide chromique, l'acide nitrique.

La résistance à la corrosion dans les acides non oxydants comme l'acide sulfurique et l'acide phosphorique est améliorée en premier lieu par le Molybdène mais également par le Nickel.

Dans les acides oxydants, comme l'acide nitrique et l'acide chromique, les aciers inoxydables sont supérieurs aux alliages de cuivre et de nickel (Monel K500 65Mi 30CuAl), ainsi qu'aux alliages à base de cuivre qui contiennent du zinc (laiton et bronze).

Dans les acides organiques, comme les acides citrique, lactique, acétique et tartrique, les aciers dits austénitiques ont une résistance plus élevée que les aciers martensitiques.

La résistance à la corrosion des aciers inoxydables est très bonne dans la majorité des solutions salines neutres. A température normale et faible teneur en chlorures, les nitrites, nitrates, sulfites, sulfates, carbonates, etc. n'ont pas une influence négative sur les aciers inoxydables. Chlorures et bromures ne donnent pas naissance à une corrosion générale, mais à la place peuvent occasionner des attaques locales.

Les aciers au Carbone et les aciers inoxydables sont plus résistants à la corrosion dans les solutions alcalines que dans les solutions acides.

A l'inverse, de fortes concentrations

d'hydroxide à température élevée peuvent provoquer une très forte corrosion générale ainsi qu'un développement de la corrosion sous tension.

Corrosion par piqûres et corrosion interstitielle

Ces types de corrosion peuvent se développer dans l'acier inoxydable en présence de solutions neutres ou légèrement acides contenant des chlorures ou bromures. Molybdène et Chrome améliorent la résistance à ces types de corrosion.

Ainsi, en présence de chlorures, SANDVIK 11R50HV et 11R51 sont préférables à l'acier au carbone et aux nuances inoxydables ne contenant pas de molybdène comme SANDVIK 12R11.

Corrosion sous tension

La corrosion sous tension peut se produire en présence de chlorures, bromures ou de teneurs très élevées en hydroxyde et à des températures de 60° C environ, lorsque l'acier est le siège de contraintes mécaniques. Les martensitiques sont plus résistants que les aciers austénitiques à la corrosion sous tension.

Corrosion intergranulaire

Tout traitement thermique effectué dans une plage de température entre 550 et 850° C favorise la sensibilisation des aciers inoxydables austénitiques à la corrosion intergranulaire en présence d'agents corrosifs.

Ceci est dû au fait qu'à ces températures, on facilite la formation de carbures de chrome aux joints de grains du métal, provoquant ainsi un appauvrissement de la teneur en chrome à proximité de ceux-ci.

Les aciers inoxydables laminés à froid et à haute teneur en carbone comme SANDVIK 12R11 et 11R51 ont néanmoins une bonne résistance à cette forme d'attaque du fait que la répartition uniforme des carbures de chrome à l'intérieur des grains du métal ne laisse aucune zone appauvrie par rapport à d'autres.

Propriétés physiques

Les propriétés physiques d'un acier dépendent d'un certain nombre de facteurs dont les éléments d'alliage, le traitement thermique et le processus de fabrication. Les valeurs ci-dessous peuvent être utilisées d'une manière générale pour des calculs approximatifs. Des renseignements plus détaillés peuvent être donnés dans chaque cas particulier.

Des renseignements sur la rémanence, la force coercitive et la perméabilité pour les autres aciers sont fournis sur demande.

Tableau 5.

SANDVIK					
	15LM	20L	7C27Mo2	12R10	11R50HV
	15S1C1		6C27	12R11	11R51
	13HS30				
Densité, g/cm ³	7.85	7.85	7.70	7.90	7.90
Conductibilité thermique, W/m · °C					
à 20° C	51	49	24	15	15
100° C	49	47	—	16	15
300° C	43	42	—	19	19
Chaleur massique, J/kg · °C					
valeur moyenne pour					
50—100° C	460	460	460	500	500
250—300° C	540	540	540	540	540
Dilatation linéaire, par °C, × 10 ⁻⁶					
de 20° C à					
100° C	11.6	10.4	10.5	15.5	15.0
200° C	12.2	11.6	11.0	16.0	15.5
300° C	12.7	12.4	11.4	16.5	16.0

Figure 10. Perméabilité maxi en fonction de la résistance à la traction.

A = SANDVIK 12R11

B = SANDVIK 11R51

C = SANDVIK 12R10

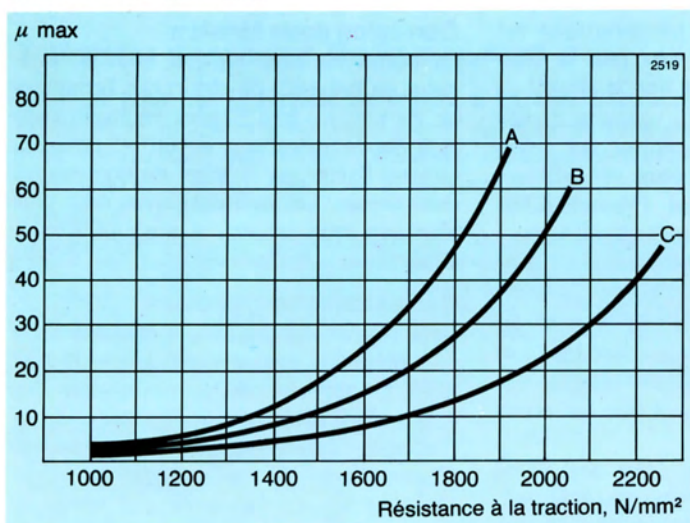


Figure 11. Dilatomètre.



Tableau 6. Résistivité

SANDVIK	Résistance à la traction N/mm ²	Résistivité, μΩm à °C			
		20	100	200	300
15S1C1	1600	0.39	0.43	0.49	0.57
20L	1700	0.22	0.27	0.35	0.43
7C27Mo2	1800	0.64	0.70	0.78	0.86
12R11	1500	0.79	0.84	0.89	0.95
	1700	0.80	0.85	0.91	0.96
11R50HV	1900	0.90	0.94	0.99	1.03
11R51	1900	0.90	0.94	0.99	1.03

Résistance et essais mécaniques

Les caractéristiques de résistance, pour les aciers ressorts SANDVIK, qui sont présentées dans cette brochure, sont basées sur des essais poussés effectués aux laboratoires de Sandvik. Les méthodes d'essai les plus courantes, l'équipement et les définitions employées sont décrits ci-dessous.

Essai de traction et de dureté

L'essai fondamental pour déterminer la résistance statique d'une matière est l'essai de traction, au moyen duquel on peut déterminer la limite élastique, la résistance à la traction, l'allongement et le module d'élasticité (module d'Young).

Dans une certaine mesure, la résistance d'un matériau peut être déterminée par les essais de dureté qui sont plus simples à exécuter. Les plus courants sont les essais Vickers, Brinell et Rockwell.

Cependant, l'essai de traction présente de gros avantages quant à la précision et à la reproductibilité des résultats obtenus par rapport aux essais de dureté et de plus permet l'évaluation d'un plus grand nombre de caractéristiques. La traction est donc la caractéristique la plus clairement définie sur laquelle le producteur base sa propre fabrication.

Toutes les valeurs de résistance qui sont données dans cette brochure ont été déterminées par essai de traction. Il y a lieu d'observer que lors du dimensionnement de ressorts on calcule dans la majorité des cas avec la limite d'élasticité lors d'une contrainte de flexion. Cette valeur est environ 25—30 % plus élevée que les valeurs limites d'élasticité indiquées dans les tableaux.

L'essai de dureté ne permet de mesurer que la dureté superficielle d'un matériau donné et le résultat peut prêter totalement à confusion si la charge d'essai (donc la profondeur d'empreinte) est trop importante par rapport à l'épaisseur du feuillard. Ce point important est malheureusement souvent oublié lors de la rédaction des spécifications. Le diagramme de la figure 12 peut servir de guide lors du choix de la méthode et de la charge d'essai.

L'essai de dureté Rockwell permet de calculer la dureté en fonction de la profondeur de l'empreinte et les particules ou impuretés diverses se trouvant éventuellement entre la table d'essai et l'éprouvette peuvent être un élément faussant le résultat.

Il n'existe aucune relation théorique entre la résistance à la traction et les valeurs de dureté déterminées par les différentes méthodes d'essai, mais seulement des valeurs de comparaison obtenues

sur la base des expériences pratiques. Voir le tableau 7 et la figure 14. Cette brochure présente les valeurs

d'essai de résistance à la traction déterminées à haute et basse température ainsi qu'à température ambiante.

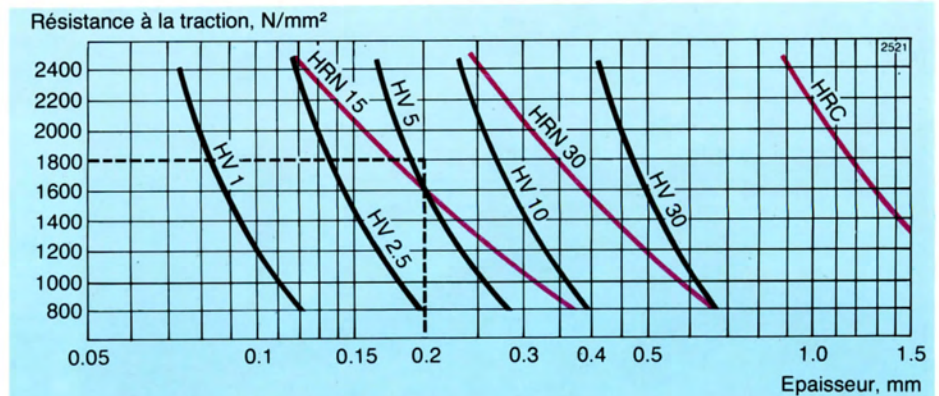


Figure 12. Essai de dureté. Ce diagramme approximatif doit seulement être considéré comme un guide pour le choix de la méthode et de la charge d'essai d'un feuillard d'acier pour ressort. Exemple : Un feuillard d'épaisseur 0,20 mm avec une résistance à la traction de 1800 N/mm² doit subir des essais de dureté. Le point d'intersection sur le diagramme se trouve le plus près de la courbe HV5, ce qui signifie qu'un essai par la méthode Vickers avec une charge d'au moins 5 kg est à recommander.

D'une manière générale, tout essai doit être effectué avec une charge aussi élevée que possible par rapport à l'épaisseur du feuillard et le point d'intersection entre l'épaisseur et la résistance à la traction doit toujours se trouver à droite de la courbe de dureté applicable.

Tableau 7.

Conversion approximative entre différentes échelles de dureté et différentes résistances à la traction pour des aciers inoxydables martensitiques et des aciers au carbone à l'état trempé.

Vickers HV	Rockwell Cône diamant		HRN15	HRN30	HRN45	Résistance à la traction N/mm ² 1
	HRC	HRA				
700	60.1	81.3	90.3	77.6	66.7	—
680	59.2	80.8	89.9	76.8	65.7	2350
660	58.3	80.3	89.5	75.9	64.7	2280
640	57.3	79.8	89.0	75.1	63.5	2200
620	56.3	79.2	88.5	74.2	62.4	2120
600	55.2	78.6	88.0	73.2	61.2	2040
580	54.1	78.0	87.5	72.1	59.9	1960
560	53.0	77.4	86.9	71.2	58.6	1890
540	51.7	76.7	86.3	70.0	57.0	1820
520	50.5	76.1	85.7	69.0	55.6	1750
500	49.1	75.3	85.0	67.7	53.9	1670
480	47.7	74.5	84.3	66.4	52.2	1590
460	46.1	73.6	83.6	64.9	50.4	1520
440	44.5	72.8	82.8	63.5	48.4	1450
420	42.7	71.8	81.8	61.9	46.4	1380
400	40.8	70.8	80.8	60.2	44.1	1310
380	38.8	69.8	79.8	58.4	41.7	1250
360	36.6	68.7	78.6	56.4	39.1	1180
340	34.4	67.6	77.4	54.4	36.5	1110
320	32.2	66.4	76.2	52.3	33.9	1040
300	29.8	65.2	74.9	50.2	31.1	970
280	27.1	63.8	73.4	47.8	27.9	900
260	24.0	62.4	71.6	45.0	24.3	830

1 Les résistances à la traction dépassant 1750 N/mm² sont plus incertaines.

Relaxation

Toutes les nuances SANDVIK pour ressorts subissent des essais de relaxation à la température ambiante et élevée. Les résultats sont présentés sous forme de diagrammes qui montrent la perte de charge en fonction du temps pendant lequel la matière est sous contrainte. La perte de charge est très rapide au commencement puis diminue par la suite pour devenir beaucoup plus lente. Ce fait est particulièrement notable à température élevée. Voir figure 15.

L'essai à température ambiante est réalisé en fixant un feuillard sur un montage et en sollicitant celui-ci par une contrainte axiale. Les pertes de charge sont calculées à partir des mesures des variations de la fréquence de résonance dans le feuillard à différentes périodes de temps.

L'essai à température élevée est réalisé en courbant un feuillard à la surface d'un cylindre. En faisant varier le rayon du cylindre on fait varier les contraintes de flexion appliquées au feuillard. Après un certain temps de maintien à température constante, le feuillard est libéré et à partir des déformations résiduelles qu'il conserve on calcule les pertes de charge subies.

Résilience

Pour l'essai de résilience, une éprouvette, figure 16, est exposée au choc d'un mouton pendulaire. Cette éprouvette, munie d'une amorce de rupture en son milieu est placée dans un dispositif la supportant à chaque extrémité. L'énergie nécessaire pour casser l'éprouvette donne la valeur de la résilience de la matière, laquelle est mesurée en joules/cm².

Les valeurs nécessaires au tracé des courbes de la figure 17 ont été déterminées sur une machine d'essai miniature de marque Schopper, particulièrement adaptée à l'essai de feuillards minces. Comme on peut le voir, les aciers inoxydables austénitiques SANDVIK 11R50HV et 11R51, ont de très bonnes propriétés à basse température. Les nuances SANDVIK 12R10 et 12R11 ont pratiquement les mêmes propriétés.

Fatigue

Le diagramme Wöhler est la présentation classique de la résistance à la fatigue d'un matériau, voir figure 18. De cette courbe, il ressort que les aciers présentent une limite de fatigue, c'est-à-dire une limite en dessous de laquelle on n'obtient pratiquement aucune rupture. En effet au-dessus d'environ 2 millions de cycles de charge, la courbe Wöhler est pratiquement horizontale. Ceci est vrai à condition que le matériau ne soit pas soumis à un environnement corrosif. Si c'est le cas, la courbe

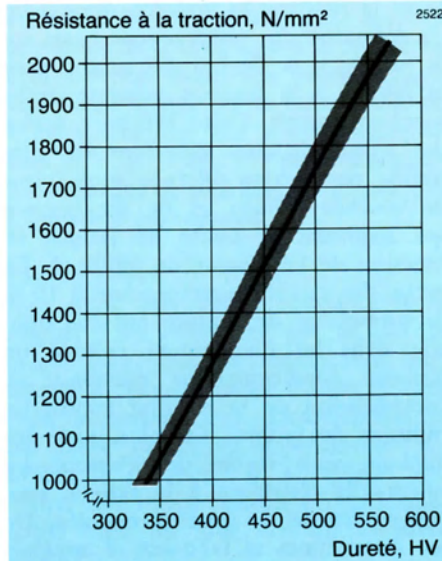


Figure 14. Conversion entre la résistance à la traction et la dureté pour les aciers austénitiques inoxydables. Cette courbe est approximative et la zone ombrée montre les déviations de celle-ci.

Figure 17. Résilience en fonction de la température. Les éprouvettes en SANDVIK 11R50HV et 11R51 ont été prélevées aussi bien parallèlement que perpendiculairement au sens de laminage. Cela signifie donc des coups perpendiculairement et parallèlement resp. au sens de laminage. Pour les autres nuances, des éprouvettes ont seulement été prélevées parallèlement au sens de laminage.

A = SANDVIK 11R50HV et 11R51. Laminés à froid, résistance à la traction 1900 N/mm² 1)

B = SANDVIK 7C27Mo2. Trempé, résistance à la traction 1800 N/mm² 1)

C = SANDVIK 20L. Trempé, résistance à la traction 1650 N/mm² 1)

D = SANDVIK 11R50HV et 11R51. Laminé à froid, résistance à la traction 1900 N/mm² 2)

1) Eprouvette prélevée parallèlement au sens de laminage.

2) Eprouvette prélevée perpendiculairement au sens de laminage.

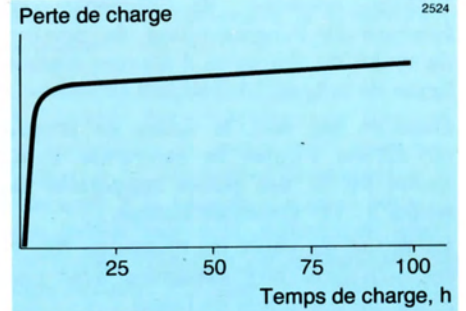
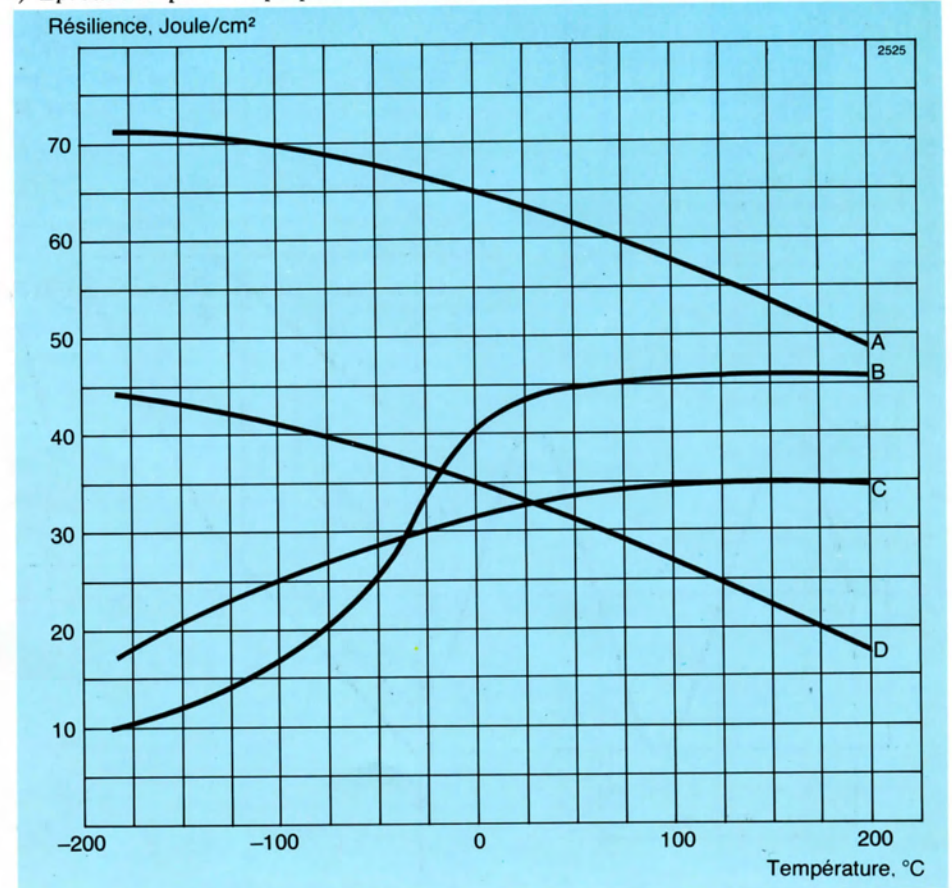


Figure 15. Perte de charge en fonction de la durée d'application de la charge. Diagramme de principe.

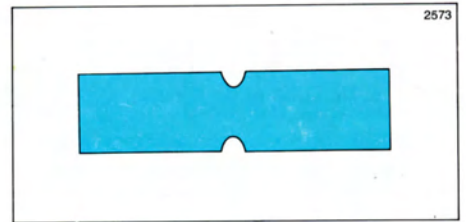


Figure 16. Eprouvette pour essai de résilience.