

Méthodes d'essai mécanique

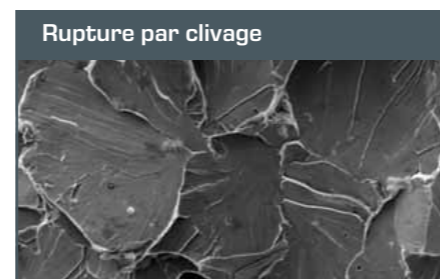
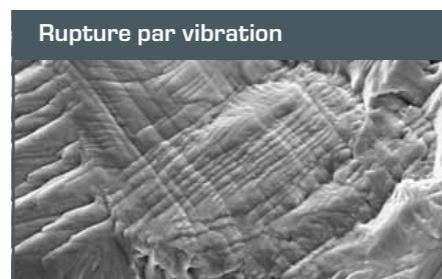
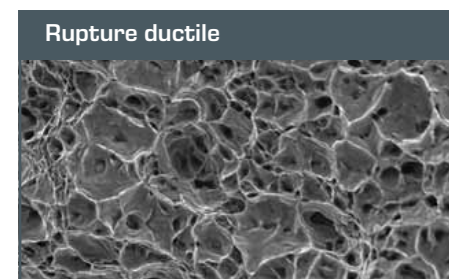
L'essai des matériaux étudie le comportement des matériaux soumis à différentes sollicitations. Il s'agit pour l'essentiel d'observer le rapport qui existe entre les forces appliquées et la déformation, ainsi que les sollicitations limites résultantes entraînant une défaillance des composants.

Les valeurs caractéristiques obtenues par les méthodes d'essai mécanique sont utilisées dans le développement des matériaux, la conception des composants, ainsi que dans l'application de l'assurance qualité. Afin de caractériser aussi précisément que possible les propriétés des matériaux, on dispose d'une série de méthodes d'essai normalisées:

Propriété mécanique	Méthode d'essai
Élasticité, plasticité	Essai de traction, essai de compression, essai de flexion, essai de torsion
Comportement des matériaux soumis à une sollicitation statique	
Comportement au fluage	Essai de fluage
Dureté	Brinell, Rockwell, Vickers
Ténacité	Essai de résilience
Comportement à la fatigue, résistance à la durée / aux efforts alternés	Essai de Wöhler

On se sert du comportement de rupture d'un matériau pour le caractériser. L'aperçu suivant montre le rapport qui existe entre le mécanisme de rupture et la sollicitation:

Forme de rupture	Mécanisme de rupture	Sollicitation
Rupture par la force <ul style="list-style-type: none"> se produit brutalement surface mate ou cristalline brillante, partiellement déshépatée sur l'ensemble de sa coupe transversale; en cas de rupture de déformation, des lèvres de cisaillement apparaissent souvent en bordure 	Sursollicitation statique <p>a) il se produit une rupture par clivage à faible déformation, lorsque la contrainte normale la plus élevée dépasse la contrainte de rupture par clivage</p> <p>b) la rupture de déformation (rupture ductile microscopique) se produit lorsque la contrainte de cisaillement la plus élevée dépasse la contrainte de fluage</p> <p>c) une rupture inter cristalline à faible déformation peut se produire en cas de diminution de la cohésion limite des grains sous l'influence d'une contrainte normale</p>	Essai de traction, essai de résilience
Rupture par fatigue <ul style="list-style-type: none"> peut apparaître au terme de sollicitations répétées sous l'influence de contraintes de cisaillement et de contraintes normales rupture à faible déformation 	Sursollicitation dynamique <p>Des fissures par vibration se propagent au travers du matériau, en raison de la présence d'entailles ou d'endroits défectueux. Lorsque la résistance du matériau est dépassée, la surface résiduelle subit une rupture par la force.</p>	Essai de Wöhler
Rupture par fluage <ul style="list-style-type: none"> phénomène continu qui dépend du temps apparaît à des températures élevées et entraîne une rupture, bien que la sollicitation du matériau soit inférieure à la limite élastique à chaud la présence de pores aux limites de grain provoque l'endommagement du matériau 	Sollicitation statique, p.ex. température élevée <p>D'innombrables fissures apparaissent indépendamment les unes des autres</p>	Essai de fluage



Essai de traction pour la détermination de la résistance à la traction et de l'allongement de rupture

L'essai de traction est considéré comme étant la principale méthode des essais destructifs des matériaux. Dans ce dernier, l'éprouvette normalisée de coupe transversale connue est soumise à une force de croissance relativement faible dans la

direction longitudinale jusqu'à la rupture. Avant que la striction ne débute, l'éprouvette présente un état de contrainte axiale. Le diagramme force-allongement enregistré permet d'illustrer le rapport qui existe entre la contrainte et la déformation.

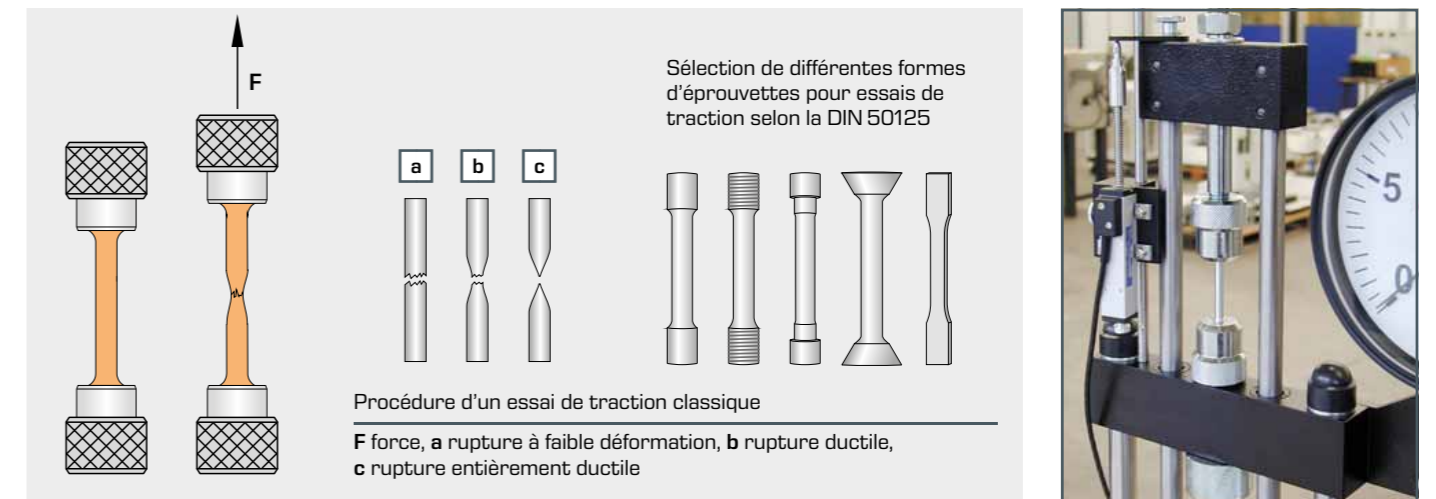
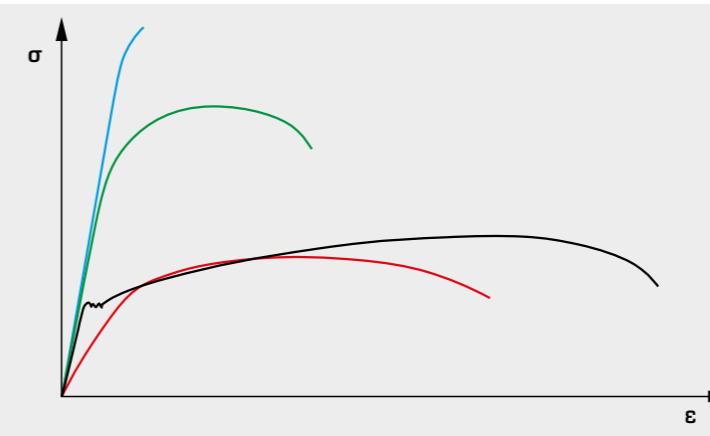
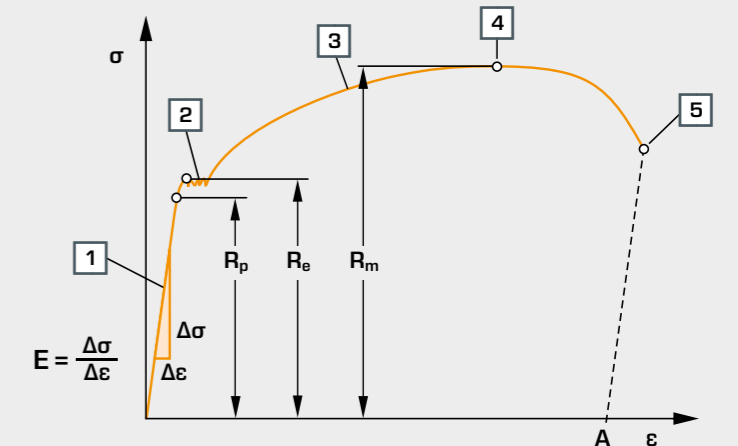


Diagramme contrainte-déformation

Le diagramme contrainte-déformation met très bien en évidence les différences de comportement des matériaux, et fournit les valeurs caractéristiques de résistance à la traction R_m , limite d'élasticité R_e , limite de proportionnalité R_p , allongement de rupture A et module d'élasticité E .

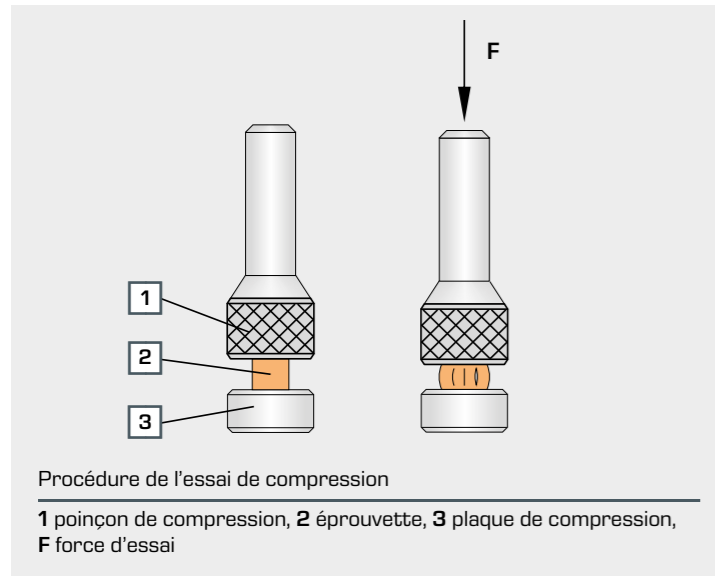


Chaque matériau a une courbe caractéristique de déformation et de contrainte.

- acier trempé: très haute résistance à la traction
- acier trempé et revenu: haute résistance à la traction
- acier de faible résistance: déformation très importante, faible résistance à la traction
- alliage d'aluminium: faible module d'élasticité

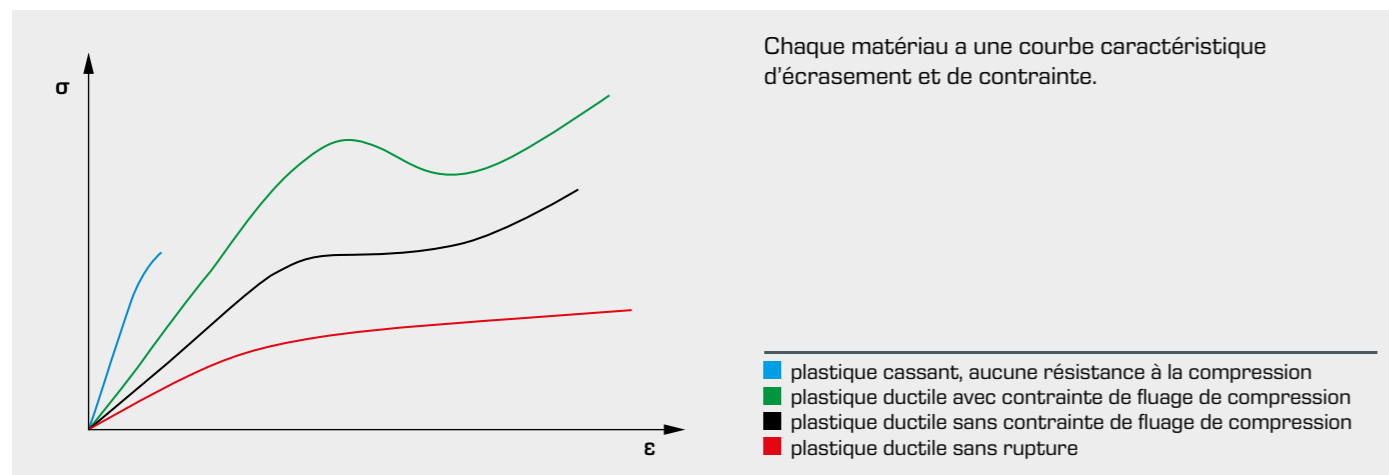
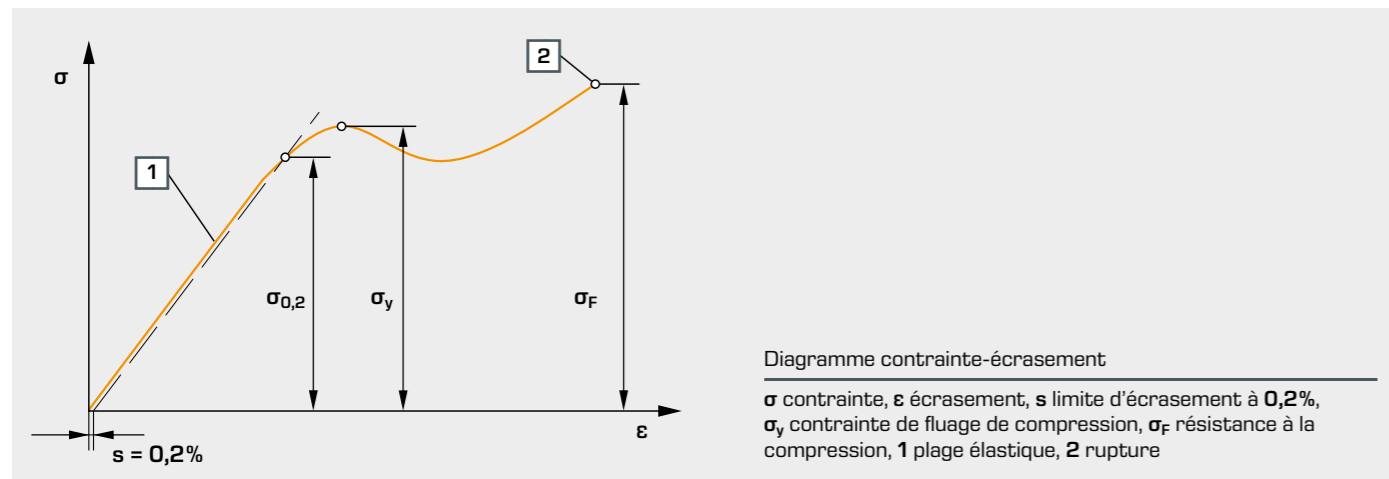
Méthodes d'essai mécanique

Essai de compression pour la détermination des courbes de fluage



Les essais de compression tiennent une place moins importante que les essais de traction dans le contrôle des matériaux métalliques. Mais ils sont toutefois essentiels pour l'étude de matériaux tels que les pierres naturelles, les briques, le béton, le bois de chauffage, etc. Lors de ces essais, l'éprouvette normalisée de coupe transversale connue est soumise à une force de croissance faible dans la direction longitudinale jusqu'à la rupture. L'éprouvette présente un état de contrainte axiale. Le diagramme force-trajectoire enregistré permet d'illustrer le rapport qui existe entre la contrainte et l'écrasement. Le **diagramme contrainte-écrasement** met très bien en évidence les différences de comportement des matériaux, et fournit les valeurs caractéristiques de résistance à la compression, de limite d'écrasement à 0,2%, ainsi que de contrainte de fluage de compression.

Diagramme contrainte-écrasement



Différentes méthodes de détermination de la dureté

On désigne par le terme de dureté la résistance mécanique qu'un corps oppose à la pénétration d'un autre corps.

Principe de l'essai de dureté Brinell

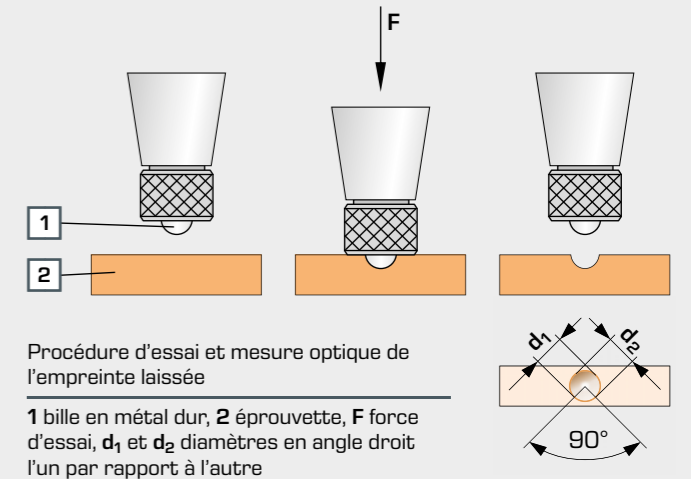
Cette méthode d'essai consiste, dans des conditions définies, à enfoncer un corps d'essai normalisé, une bille en métal dur, à l'intérieur du matériau. La surface de l'empreinte laissée est ensuite mesurée optiquement. Puis la surface de l'empreinte est calculée à partir de son diamètre et du diamètre de la bille. La pénétration du corps d'essai entraîne l'apparition d'un état de contrainte triaxiale dans l'éprouvette.

La dureté Brinell est calculée à partir de la force d'essai et de la surface de l'empreinte de la section sphérique.

$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{A_B} \quad 0,102 = \frac{1}{9,81} = \frac{1}{g}$$

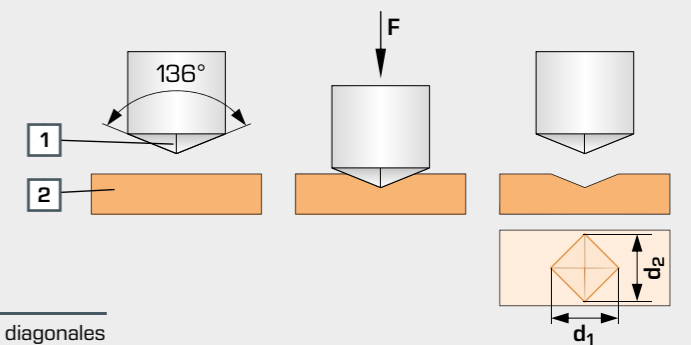
pour la conversion de N en kilogramme-force

HB valeur de dureté Brinell, F force d'essai en N, A_B surface de l'empreinte en mm², g = 9,81 accélération de la pesanteur



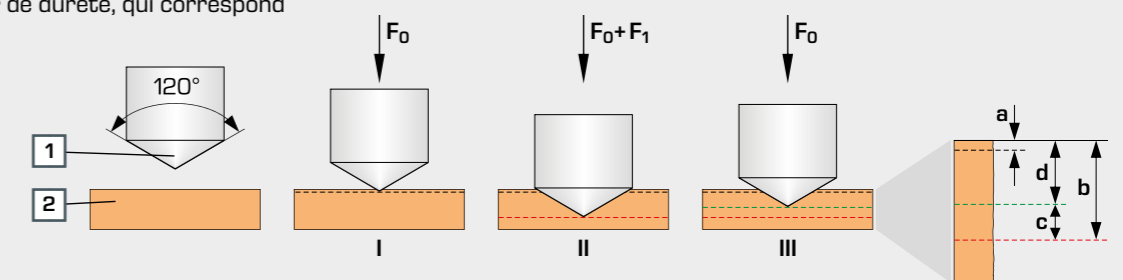
Principe de l'essai de dureté Vickers

La méthode d'essai est similaire à celle de l'essai de dureté Brinell. Mais à la différence de la méthode Brinell, le corps d'essai utilisé est un diamant de forme pyramidale. La mesure des deux diagonales d₁ et d₂ et le calcul de la moyenne permettent de déterminer la diagonale de l'empreinte. La dureté Vickers est le quotient de la force d'essai par la surface de l'empreinte.



Principe de l'essai de dureté Rockwell

La méthode d'essai de dureté Rockwell permet de lire directement la valeur de dureté, qui correspond au différentiel des profondeurs de pénétration, sur le comparateur à cadran.

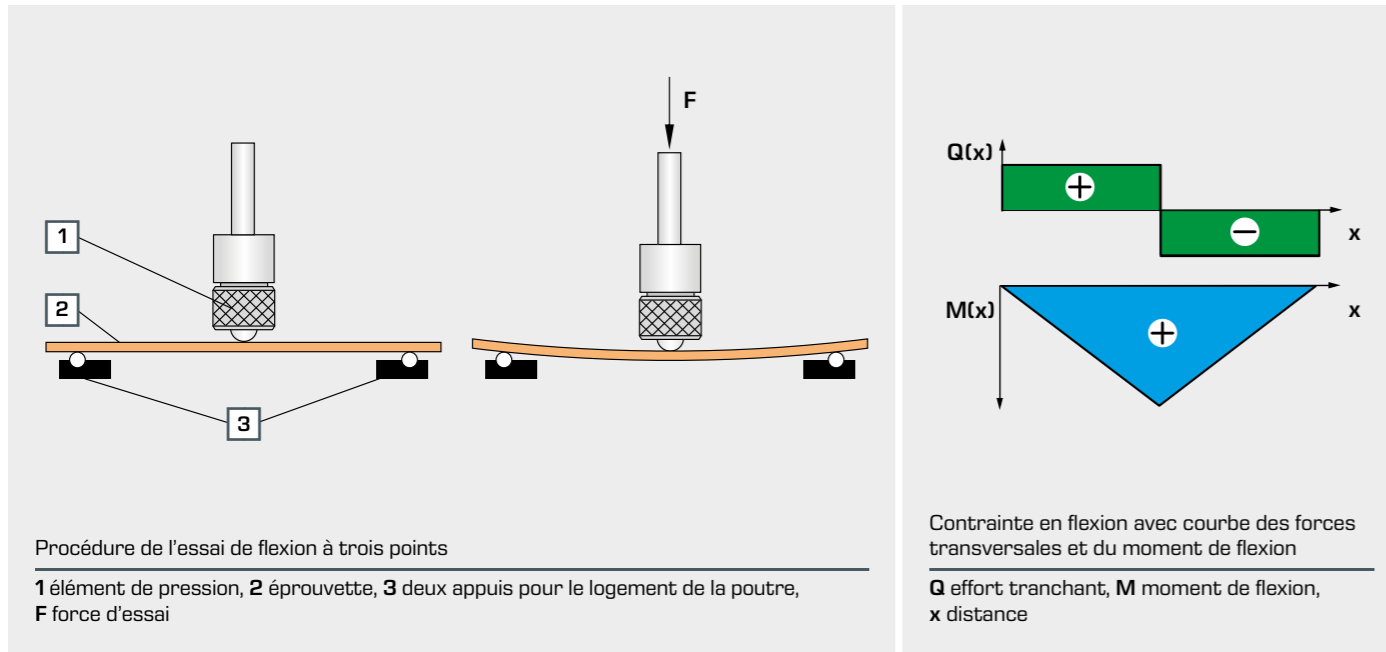


Méthodes d'essai mécanique

Essais de flexion pour l'étude du comportement de déformation

Le cas de charge de flexion le plus étudié dans les essais des matériaux est l'essai de flexion à trois points. Il s'agit d'étudier une poutre logée sur deux appuis, et soumise au milieu à une charge unique. L'essai de flexion démontre le rapport qui existe

entre la charge appliquée sur une poutre en flexion et sa déformation élastique. Il met en évidence l'influence exercée par le module d'élasticité et le moment d'inertie géométrique.

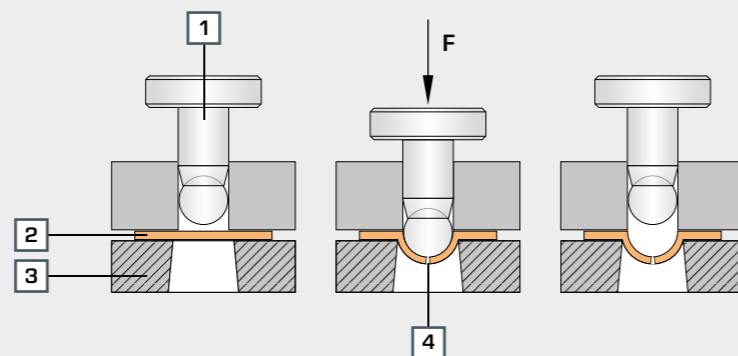


Essai d'emboutissage pour la détermination de la capacité d'emboutissage (capacité de déformation à froid) de tôles et de bandes

L'emboutissage pose des exigences élevées en ce qui concerne la capacité de déformation à froid des tôles et des bandes. Pendant le traitement, il faut éviter toute formation de fissures sur

ces tôles fines. L'essai d'emboutissage sert donc à contrôler la capacité de déformation à froid des tôles.

L'éprouvette d'emboutissage à contrôler est fixée entre un support de tôle et une matrice, puis bosselée (emboutie) au moyen d'un poinçon sphérique durci. La profondeur obtenue sert de référence de mesure de la capacité de déformation à froid. On évalue également la nature de la fissure et la structure de la surface de la zone débosselée.



Essai de cisaillement pour l'étude de la capacité de charge contre le cisaillement

L'essai de cisaillement est utilisé pour le contrôle des vis, rivets, tiges et clavettes, et sert à déterminer la résistance au cisaillement du matériau ou le comportement du matériau en cas de sollicitation de cisaillement. À cet effet, on génère des contraintes de cisaillement dans l'éprouvette, en lui appliquant

des efforts tranchants externes jusqu'à ce qu'elle se cisaille. Il existe deux méthodes pour déterminer la résistance d'un matériau à la sollicitation de cisaillement: la méthode de test à simple section, et la méthode de test à double section.

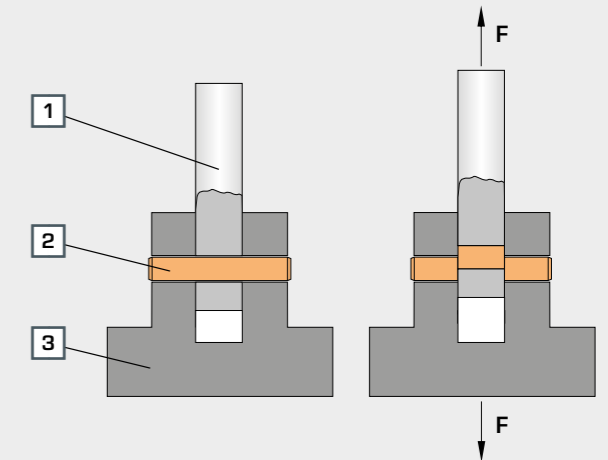
Dans le cas de la méthode à double section, l'éprouvette est cisailée au niveau de deux sections, tandis qu'elle ne se cisaille que sur une section dans le cas de la méthode à simple section. Le calcul de la résistance au cisaillement diffère pour ces deux méthodes en ce qui concerne la surface de section à poser. La résistance au cisaillement déterminée lors de l'essai de cisaillement est importante pour le dimensionnement des vis, rivets et tiges, ainsi que pour le calcul de la force requise pour le cisaillement et le poinçonnage.

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot A}$$

Résistance au cisaillement pour la méthode à double section
 τ résistance au cisaillement,
 F force, A surface de cisaillement

Procédure de l'essai de cisaillement à double section

1 tirant de traction, 2 éprouvette, 3 boîtier, F force d'essai



Essai de torsion pour l'étude du comportement plastique des matériaux

Les composants soumis à des mouvements rotatifs sont sollicités en rotation. Cette rotation est également appelée torsion. La résistance de torsion déterminée par l'essai de torsion sert d'orientation pour connaître la sollicitation admissible du

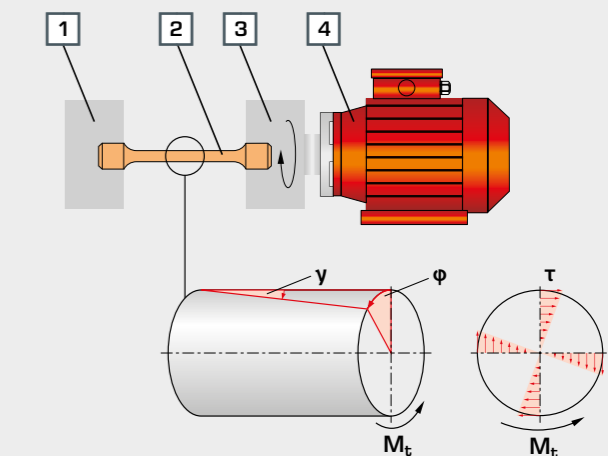
matériau. Cette méthode est utilisée pour les arbres, axes, fils métalliques et ressorts, ainsi que pour évaluer le comportement de ténacité des aciers à outils.

Lors de l'essai de torsion, une éprouvette est fermement fixée à une extrémité, et soumise à l'autre extrémité à un couple en croissance constante, le moment de torsion. Le moment de torsion provoque des contraintes de cisaillement dans la section de l'éprouvette; un état de contrainte s'installe, entraînant une déformation, puis une rupture.



Procédure de l'essai de torsion

1 serrage fixe, 2 éprouvette, 3 serrage rotatif, 4 entraînement;
 M_t moment de torsion, γ angle de cisaillement, ϕ angle de torsion,
 τ contrainte de cisaillement



Méthodes d'essai mécanique

Essai de résilience pour la détermination de la propriété de ténacité

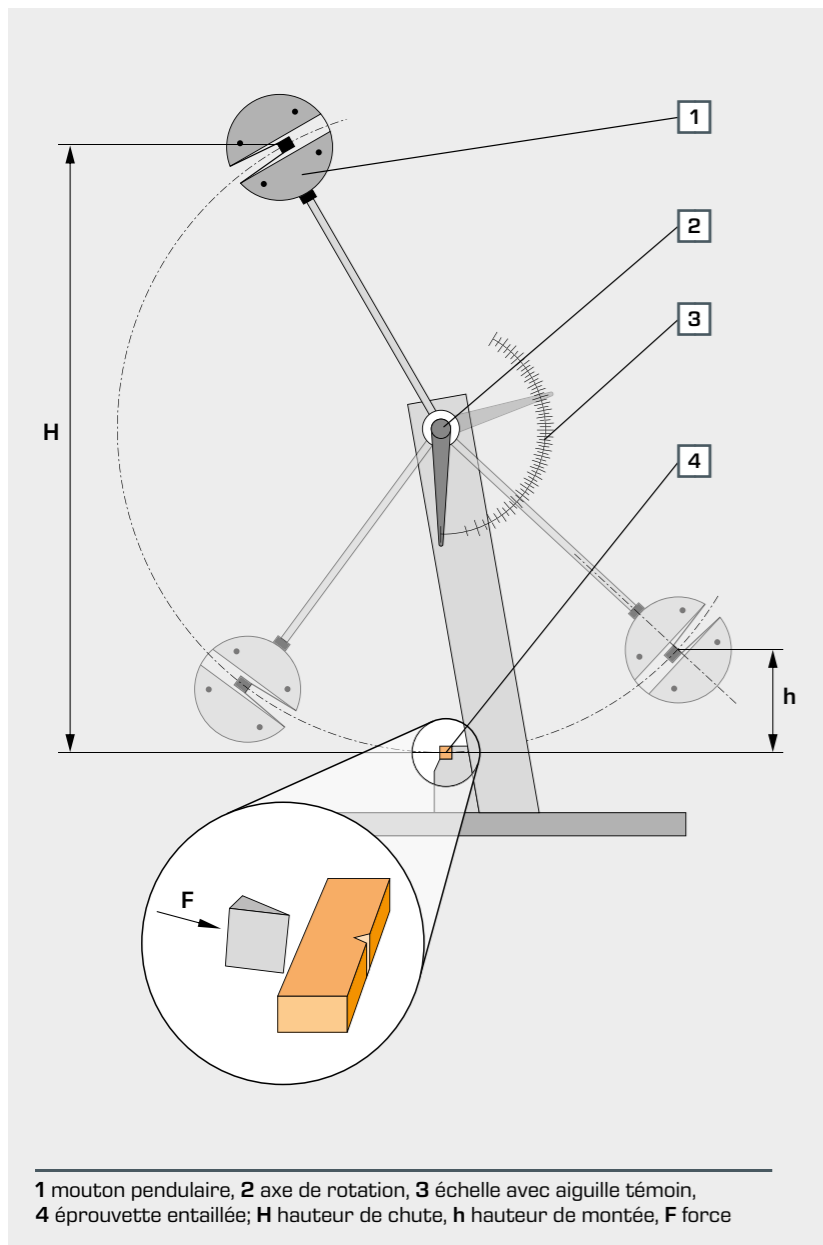
L'essai de résilience est une méthode avec sollicitation brutale, essentiellement adaptée à la détermination de la tendance à la rupture de fragilité ou de la propriété de ténacité d'un matériau. La méthode d'essai ne fournit pas de valeurs caractéristiques du matériau. Les valeurs de résilience déterminées au cours de l'essai de résilience ne sont pas directement utilisées pour calculer la résistance; elles aident uniquement à choisir des matériaux pour des applications spécifiques.

Le comportement de déformation est souvent un critère important de sélection des matériaux. Il permet de déterminer rapidement lesquels parmi les matériaux sélectionnés sont cassants

ou solides. La fragilité d'un matériau ne dépend pas seulement de lui, elle est également influencée par des données extérieures telles que la température ou l'état de contrainte.

Différentes méthodes d'essai sont utilisées pour déterminer la résilience. Pour l'essai Charpy, le corps d'essai est maintenu sur deux côtés, et le pendule entre en contact avec le corps d'essai au milieu, à la hauteur de l'entaille. Pour les méthodes d'essai Izod et Dynstat, le corps d'essai est à la verticale, et le pendule entre en contact avec l'extrémité libre du corps d'essai, au-dessus de l'entaille.

Principe de l'essai de résilience Charpy



Lors de l'essai de résilience, un mouton pendulaire tombe d'une hauteur maximum. Au point le plus bas, selon le principe de Charpy, le mouton entre en contact avec la face arrière d'une éprouvette entaillée. Lorsque les butées transpercent ou passent par l'éprouvette, le mouton transmet son énergie d'impact à l'éprouvette. L'énergie résiduelle du mouton diminue à chaque passage oscillant par le point le plus bas (point zéro), freinant ainsi le mouton. Lorsque le mouton passe en oscillant par le point le plus bas, l'aiguille témoin est entraînée, et le travail délivré pour le choc est indiqué sur une échelle.

La forme des éprouvettes de choc est normalisée.

L'énergie de choc requise est la force nécessaire pour transpercer une éprouvette entaillée définie. La résilience déterminée à partir de l'énergie de choc donne une mesure de la fragilité du matériau.

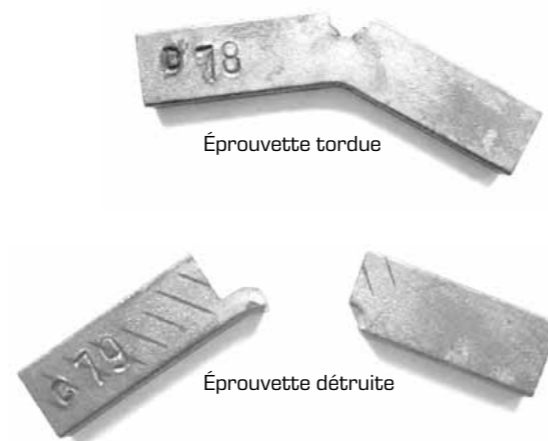
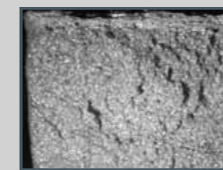
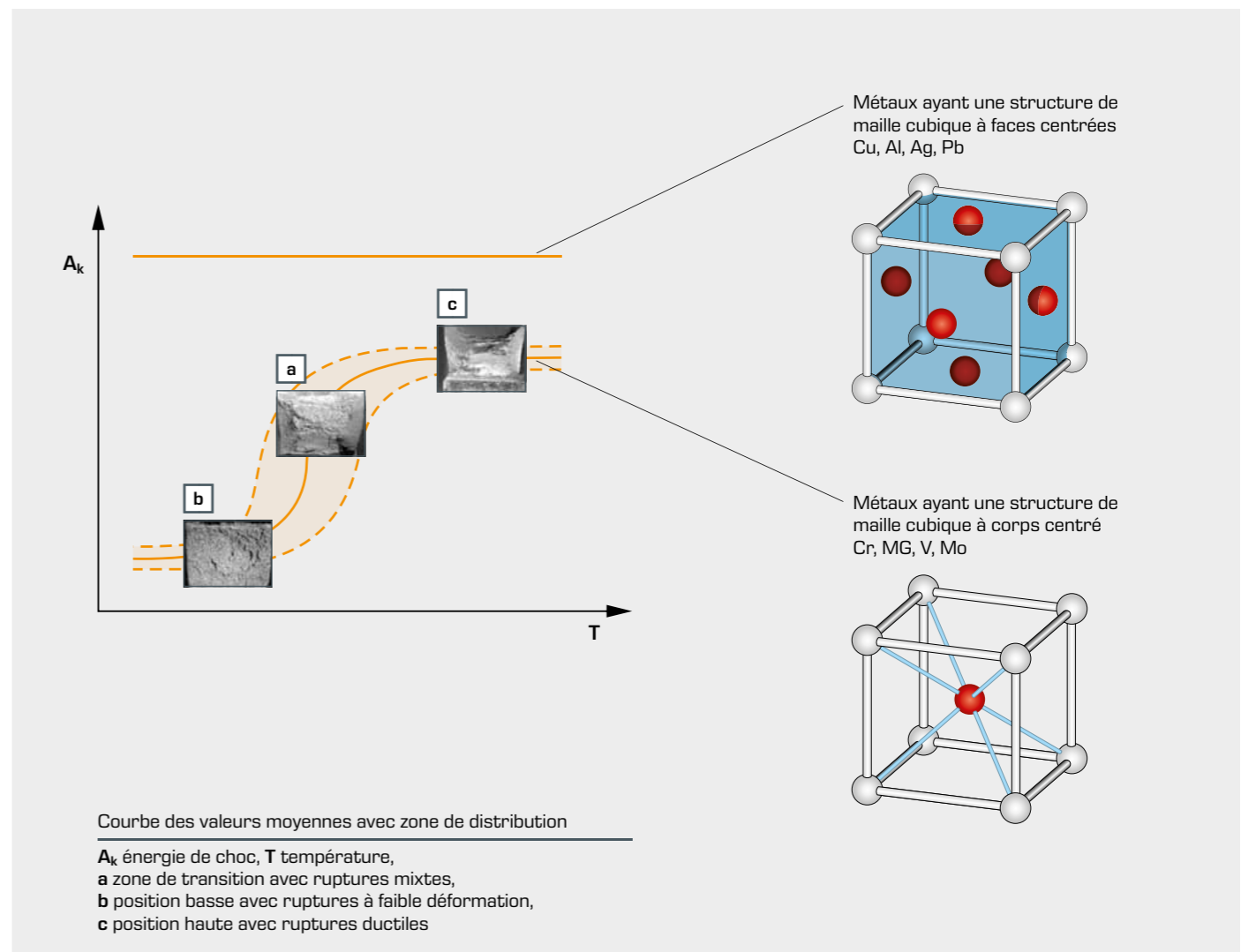


Diagramme énergie de choc-température



Rupture à faible déformation (matériaux cassants)

- la séparation du matériau se fait par le biais de contraintes normales sur des plans de clivage
- rupture transcristalline
- surface de rupture brillante, pratiquement sans déformation



Rupture mixte

- rupture de déformation à l'extérieur (rupture ductile microscopique), rupture à faible déformation à l'intérieur (rupture par clivage microscopique)



Rupture ductile (matériaux tenaces)

- déformation ductile, rupture par les grains
- structure de rupture mate très déformée

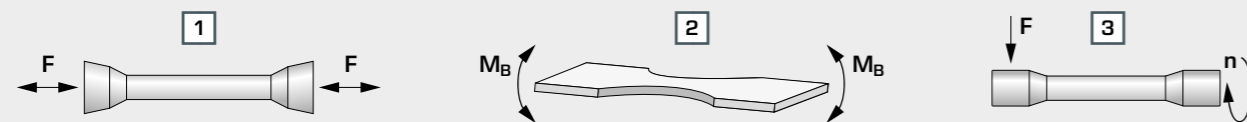
Méthodes d'essai mécanique

Fatigue du matériau

Essai de résistance à la fatigue

La résistance à la fatigue définit la limite de charge jusqu'à laquelle un matériau soumis à une charge de manière dynamique résiste sans se rompre. Ce sont avant tout les pièces de machine en mouvement qui sont soumises à des charges dyna-

miques provoquées par exemple par des vibrations. Lorsque le nombre d'alternances de charge est élevé, la rupture se produit alors à des contraintes bien inférieures à la limite d'élasticité et à la contrainte de rupture.

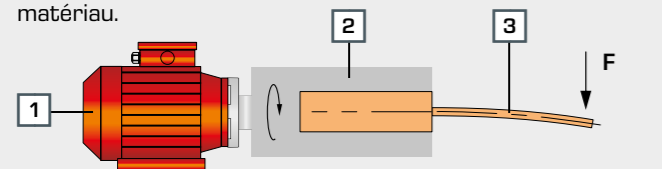


Éprouvettes soumises à des charges différentes

1 éprouvette avec sollicitation en traction-compression, 2 éprouvette avec sollicitation par flexion alternée, 3 éprouvette avec sollicitation par flexion rotative; F force, M_B moment de flexion, n vitesse de rotation

Principe de l'essai de résistance à la fatigue, avec sollicitation sur flexion rotative

Lors de l'essai de résistance à la fatigue, une éprouvette en rotation fixée sur un côté est soumise à un moment de flexion. Ce qui produit dans l'éprouvette cylindrique une sollicitation alternée par flexion rotative. Après un certain nombre de cycles de charge, l'éprouvette se rompt suite à la fatigue du matériau.



1 entraînement, 2 serrage fixe, 3 éprouvette rotative

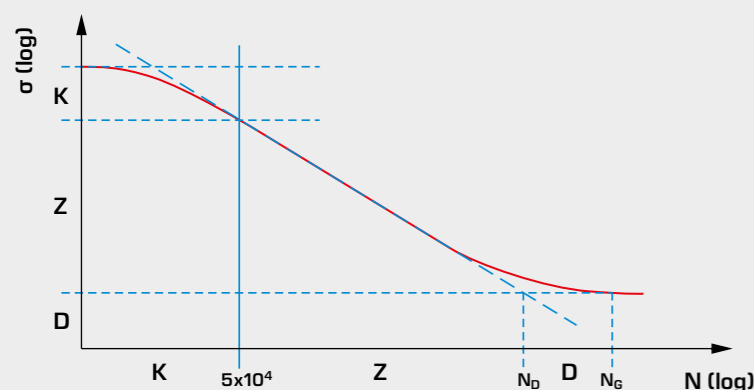


Évaluation de la surface de rupture après l'essai de résistance à la fatigue

1 à 3 rupture par fatigue, 4 rupture par la force résiduelle

Diagramme de Wöhler pour l'évaluation de l'essai

Le diagramme de Wöhler représente graphiquement le rapport existant entre l'alternance de charge jusqu'à la rupture et la sollicitation en contrainte correspondante.



N alternances de charge, σ sollicitation en contrainte, K résistance de courte durée, Z résistance dans le temps, D résistance à la fatigue, N_D nombre d'alternances de charge à partir de la résistance dans le temps, N_G nombre d'alternances de charge

Le diagramme de Wöhler comporte trois zones:

Résistance de courte durée: dépasse une limite de charge à laquelle l'éprouvette est en principe détériorée

Résistance dans le temps: le nombre d'alternances de charges avant rupture de l'éprouvette est en constante diminution avec l'augmentation de la charge

Résistance à la fatigue: contrainte max. à laquelle résiste une éprouvette infiniment et sans déformation inadmissible, du moins avant d'avoir atteint le nombre d'alternances de charge N_G

Durée de vie: nombre N d'alternances de charge jusqu'à la rupture avec une charge définie

Essai de fluage pour l'étude des processus de fluage

À charge égale, des matériaux soumis à des charges statiques sur la durée se comportent différemment selon que la température est élevée ou de local. À température élevée, une déformation plastique lente et irréversible, également appelée fluage, apparaît au bout d'un certain temps, avec des

contraintes encore inférieures à la limite élastique à chaud, et sans augmentation de la charge. Lorsque cette charge est maintenue inchangée pendant une certaine durée, cela entraîne la rupture de l'éprouvette.

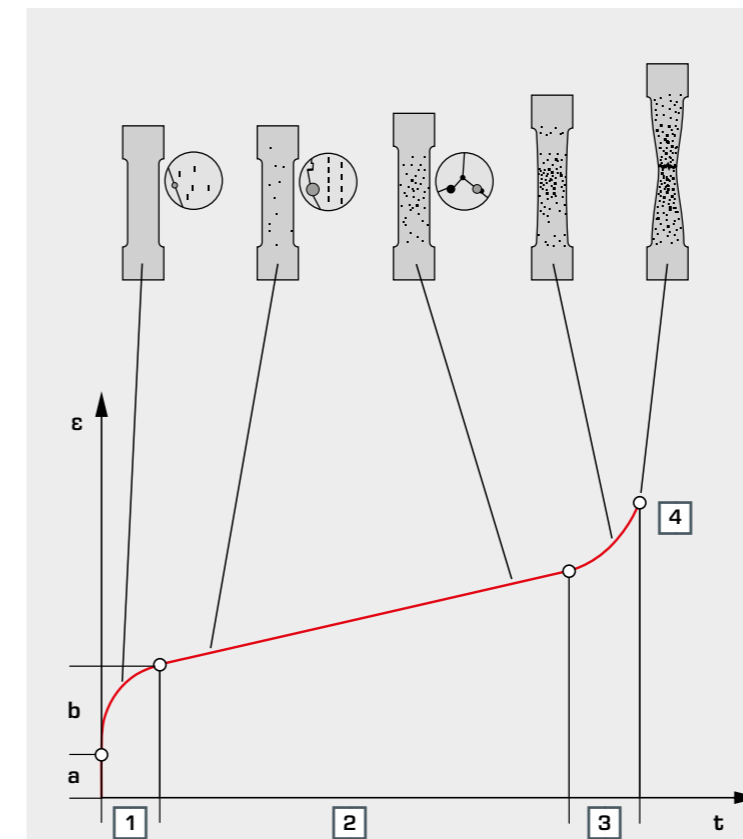
Principe de l'essai de fluage

Lors de l'essai de fluage, une éprouvette est soumise à une charge à contrainte constante et température constante. Cet essai est répété plusieurs fois avec des contraintes différentes, mais toujours à la même température. Les déformations plastiques sont mesurées à des intervalles de temps continus. Toutes les valeurs de mesure peuvent ensuite être reportées

dans un diagramme de fluage. La déformation mesurée présente une courbe caractéristique appelée courbe de fluage. Lors de l'essai de fluage, on détermine les valeurs caractéristiques de la résistance au fluage, ainsi que les différentes quantités de déformation.

Courbe déformation-temps

Lorsque l'on reporte sur un graphique la déformation en fonction du temps, on obtient ce que l'on appelle la courbe déformation-temps.



Résistance au fluage (limite de rupture dans le temps / limite de déformation dans le temps): contraintes mécaniques entraînant des déformations durables ou une rupture

Types de déformation: déformation de fluage, déformation permanente, déformation primaire plastique, recouvrement de forme inélastique

Sur la courbe déformation-temps, on distingue trois phases dans les zones techniques de fluage:

Phase 1, fluage primaire avec réduction de la vitesse de fluage très importante au début. Ici, l'influence de la perte de résistance mécanique du matériau prévaut (fluage rapide).

Phase 2, fluage secondaire avec vitesse de fluage pratiquement constante. La montée des dislocations au passage d'obstacles de fluage se trouve en équilibre stationnaire.

Phase 3, fluage tertiaire avec vitesse de fluage à nouveau croissante jusqu'à la rupture, suite à une striction à rupture croissante et à l'augmentation des contraintes réelles. Pour les ruptures à faible déformation, la phase 3 peut être très courte.

Modification de l'éprouvette au cours de l'essai

t temps, ϵ déformation, 1 fluage primaire, 2 fluage secondaire, 3 fluage tertiaire, 4 rupture de l'éprouvette, a déformation élastique, b déformation plastique