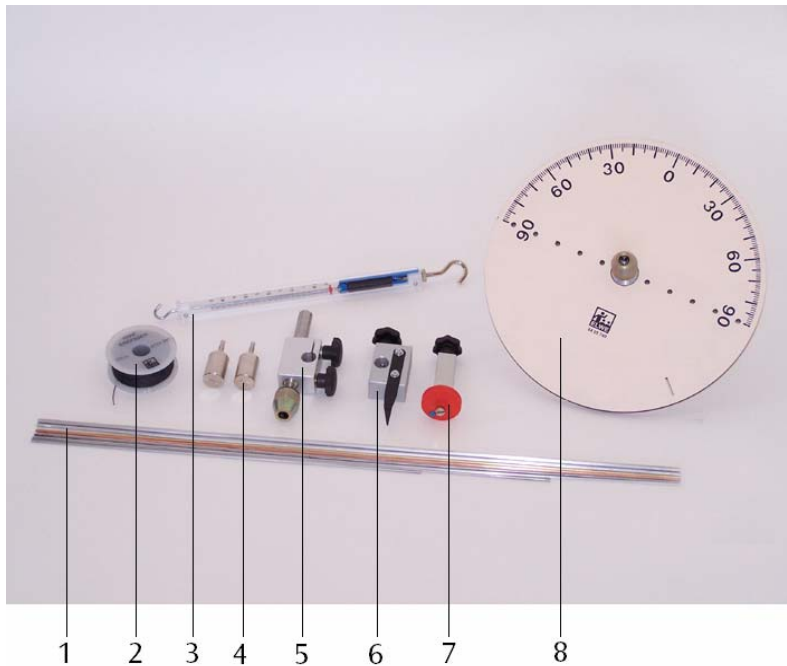


Torsionsgerät 8405740

Bedienungsanleitung

07/06 JS



- 1 Torsionsstäbe
- 2 Hanfbindfaden
- 3 Federkraftmesser
- 4 Massestücke
- 5 Gegenlager mit Rändelschrauben
- 6 Zeiger
- 7 Umlenkrolle
- 8 Kreisscheibe

1. Beschreibung

Das Torsionsgerät dient zur statischen oder dynamischen Messung der elastischen Eigenschaften von Metallstäben unterschiedlicher Längen und Stärken und der dazu gehörigen Torsionsschwingungen bis hin zur Elastizitätsgrenze.

- 1 Umlenkrolle, 30 mm Ø, mit 4 mm-Steckerstift
- 1 Halter für Umlenkrolle
- 2 Massestücke, 50 g, mit 4 mm-Steckerstift
- 1 Hanfbindfaden, 100 m
- 1 Kraftmesser, 5 N

2. Lieferumfang

- 1 Torsionsgrundgerät bestehend aus:
 - 1 Kreisscheibe mit Lager und Spannfutter, 1 Zeiger, 1 Gegenlager mit Spannfutter
- 1 Torsionsstab, Stahl, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 Torsionsstab, Messing, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 Torsionsstab, Kupfer, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 Torsionsstab, Al, 300 mm x 2 mm Ø
- 1 Torsionsstab, Al, 400 mm x 2 mm Ø
- 1 Torsionsstab, Al, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 Torsionsstab, Al, 500 mm x 3 mm Ø
- 1 Torsionsstab, Al, 500 mm x 4 mm Ø

3. Technische Daten

Kreisscheibe	
Abmessungen:	5 mm x 230 mm Ø
Masse:	545 g
Gegenlager mit Spannfutter	
Länge:	120 mm
Masse:	115 g
Zeiger	
Abmessungen:	20 × 30 × 45 mm ³

4. Zusätzlich erforderlich

Für den Aufbau:

1 H-Fuß	8611130
3 Stativstangen, 750 mm, 12 mm Ø	8611340
1 Muffe, vierkant	8613180
1 Stiel mit Haken	8615110

Für die dynamische Messung:

1 Stoppuhr	8533135
------------	---------

5. Versuchsbeispiele

5.1 Statische Messung im elastischen Bereich

- Versuchsaufbau gemäß Fig. 1 durchführen.
- Kreisscheibe mit ihrem Spannfutter gegenüber dem Gegenlager auf gleicher Höhe aufbauen. Dabei auf waagerechte Ausrichtung und exakte Orientierung der gegenüberliegenden Spannfutter achten
- Torsionsstab unverdrillt zwischen den beiden Spannfuttern einspannen; dazu den H-Fuß auf die richtige Länge bringen.
- Nullpunkt der Winkelskala einstellen. Dazu die vordere Rändelschraube am Gegenlager leicht lösen und Stab drehen. Rändelschraube wieder fest ziehen.
- Umlenkrolle an der Stativstange befestigen. Darauf achten, dass die Umlenkrolle auf derselben senkrechten Ebene wie die Kreisscheibe platziert ist.
- Kraftmesser mittels der Vierkantmuffe und dem Stiel mit Haken über der Umlenkrolle aufhängen.
- Hanfbindfaden an der Kreisscheibe befestigen, durch die Rille und über die Umlenkrolle führen und am Kraftmesser befestigen.
- Die auf die Kreisscheibe wirkende Kraft und damit das Drehmoment durch Verschieben der Umlenkrolle entlang der Stativstange in Schritten von 0,1 N erhöhen und die sich einstellenden Torsionswinkel ablesen.
- Drehmoment in Abhängigkeit des Torsionswinkels grafisch darstellen.

Der Experimentieraufbau gewährleistet hierbei immer ein senkrecht Einwirken der Kraft, da der Faden tangential zur Kreisscheibe verläuft. Damit kann das wirkende Drehmoment nach der einfachen Formel

$$M = F \cdot r$$

ermittelt werden.

Es ist darauf zu achten, dass die Kraft nicht zu stark erhöht wird, damit der elastische Bereich der Verformung nicht verlassen wird (je nach Material unterschiedlich). Wenn die Kreisscheibe nach der

Entlastung in die Nulllage zurückkehrt, ist der elastische Bereich nicht überschritten worden.

Im elastischen Bereich ist das wirkende Drehmoment M dem Torsionswinkel φ proportional. Dieser Zusammenhang läßt sich wie folgt darstellen:

$$M = D_w \cdot \varphi .$$

Der Proportionalitätsfaktor D_w ist die Winkelrichtgröße. Diese physikalische Größe ist vom Material und den Abmessungen des Drahtes abhängig. Sie kann aus dem Anstieg der Geraden im Diagramm bzw. dem Quotienten aus dem Drehmoment M und dem Torsionswinkel φ ermittelt werden:

$$D_w = M/\varphi$$

Die Winkelrichtgröße D_w eines Materials nimmt mit der Länge des Drahtes ab und mit dem Durchmesser des Drahtes zu.

5.1.1 Ermittlung der Elastizitätsgrenze

- Torsionsgerät wie unter 5.1 beschrieben aufbauen.
- Durch Verschieben der Umlenkrolle Kraft in Schritten von 0,1 N erhöhen und die sich einstellenden Torsionswinkel ablesen.
- Nach jedem Erhöhungsschritt der Kraft durch Abnehmen des Federkraftmessers die Kreisscheibe entlasten und den Winkel von 0° als Ruhestellung kontrollieren.

Keht die Kreisscheibe nach der Entlastung nicht mehr bis zum Winkel von 0° zurück und es verbleibt eine geringe Restverformung, wurde die Elastizitätsgrenze überschritten.

Die erzielten Torsionswinkel und Drehmomente hängen vom Material und der Geometrie (Länge und Durchmesser des untersuchten Drahtes) ab.

Wird die Elastizitätsgrenze überschritten, verlaufen die Messwerte nicht mehr auf einer Geraden. Es tritt eine plastische (bleibende) Verformung des Drahtes auf.

5.2 Statische Messung im plastischen Bereich – Mechanische Hysterese

- Torsionsgerät wie unter 5.1 beschrieben aufbauen.
- Durch Verschieben der Umlenkrolle Kraft in Schritten von 0,1 N erhöhen und die sich einstellenden Torsionswinkel ablesen.
- Nach Erreichen eines Torsionswinkels von 180° die Kraft wieder in Schritten von 0,1 N verringern.

Auch bei vollständiger Entlastung tritt noch ein Torsionswinkel auf, der Draht ist um einen entsprechenden Betrag plastisch verformt worden.

- Jetzt den Faden in der entgegengesetzten Richtung um die Kreisscheibe legen, so dass die

Krafteinwirkung durch den Federkraftmesser in umgekehrter Richtung erfolgt.

- Kraft wieder in Schritten von 0,1 N erhöhen und die sich einstellenden Torsionswinkel ablesen.

Um die 0°-Marke zu erreichen (Ausgangszustand), ist jetzt eine Gegenkraft erforderlich.

- Draht weiter schrittweise bis zu einem Torsionswinkel von -180° verformen.
- Nach Erreichen dieses Torsionswinkels Faden erneut umlegen und die Richtung der Kraft umkehren.
- Kraft schrittweise bis zum Erreichen des Torsionswinkels von 180° erhöhen.

Damit ist eine komplette Hysteresekurve durchlaufen. Charakteristische Werte dieser Kurve sind der Torsionswinkel nach Entlastung (also ohne Krafteinwirkung, Schnittpunkt mit der Abzisse) und die erforderliche Kraft zum Rückverformen des Drahtes bis zur Ausgangslage von 0° (Schnittpunkt mit der Ordinate).

5.3 Dynamische Messung (Torsionsschwinger)

- Torsionsgerät wie unter 5.1 beschrieben aufbauen, jedoch ohne Federkraftmesser.
- Kreisscheibe aus der Ruhelage um einen Winkel von etwa 25° auslenken.
- Zeit für 10 volle freie Torsionsschwingung messen und daraus die Schwingungsdauer des Systems berechnen.
- Die erste Messung mit der Kreisscheibe ohne Zusatzmassen durchführen. Bei den Folgemessungen die beiden Zusatzmassen mit 4 mm-Stecker symmetrisch zur Achse der Kreisscheibe einstecken und die Messung wiederholen. Dabei mit der innersten Steckposition beginnen und die Zusatzmassen für jedes weitere Experiment um eine Position nach außen versetzen.
- Die ermittelten Zeiten und den Abstand der Zusatzmassen von der Drehachse protokollieren.

Für die Schwingungsdauer T des Torsionsschwingers gilt:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{J}{D}} \quad (1)$$

wobei J das Trägheitsmoment des Schwingers und D die Richtgröße ist. Das Trägheitsmoment J_{ges} setzt sich aus dem Trägheitsmoment J_K der Kreisscheibe und dem Trägheitsmoment J_Z der Zusatzmassen additiv zusammen.

$$J_{\text{ges}} = J_K + J_Z \quad (2)$$

Werden die Zusatzmassen als Massepunkte betrachtet, so errechnet sich ihr Trägheitsmoment wie folgt:

$$J_Z = 2mr^2 \quad (3)$$

Aus Gleichung (1), (2) und (3) ergibt sich nach Quadrieren:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{(J_K + 2mr^2)}{D} = \frac{4\pi^2}{D} J_K + \frac{8\pi^2 m}{D} r^2 \quad (4)$$

Das Trägheitsmoment der Kreisscheibe ist zunächst nicht bekannt. In der grafischen Darstellung $T^2=f(r^2)$ muss sich gemäß Gleichung (4) eine Gerade ergeben, die (durch das Trägheitsmoment der Kreisscheibe) nicht durch den Koordinatenursprung verläuft.

Die Umstellung von Gleichung (1) nach D und Einsetzen von (2) ergibt:

$$D = (J_K + J_Z) \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad (5)$$

J_K der Kreisscheibe ist immer gleich, J_Z ändert sich gemäß (3) entsprechend dem Abstand der Zusatzmassen von der Drehachse. Aus 2 Messwerten für die Schwingungsdauer für unterschiedliche J_Z kann man aus (5) J_K eliminieren und D gemäß folgender Formel ermitteln:

$$D = \frac{(J_{Z2} - J_{Z1}) \cdot 4\pi^2}{T_2^2 - T_1^2} \quad (6)$$

Wegen der Differenzbildung sollten sich J_{Z1} und J_{Z2} stark voneinander unterscheiden, um den Fehler klein zu halten. Eine Fehlerbetrachtung liefert für die dynamische Messung wesentlich genauere Werte als die statische Messung. Prinzipiell ergibt die dynamische Messung kleinere Werte für D , da sich die Reibung bei der statischen Messung wie eine Vergrößerung der Richtgröße D bemerkbar macht.

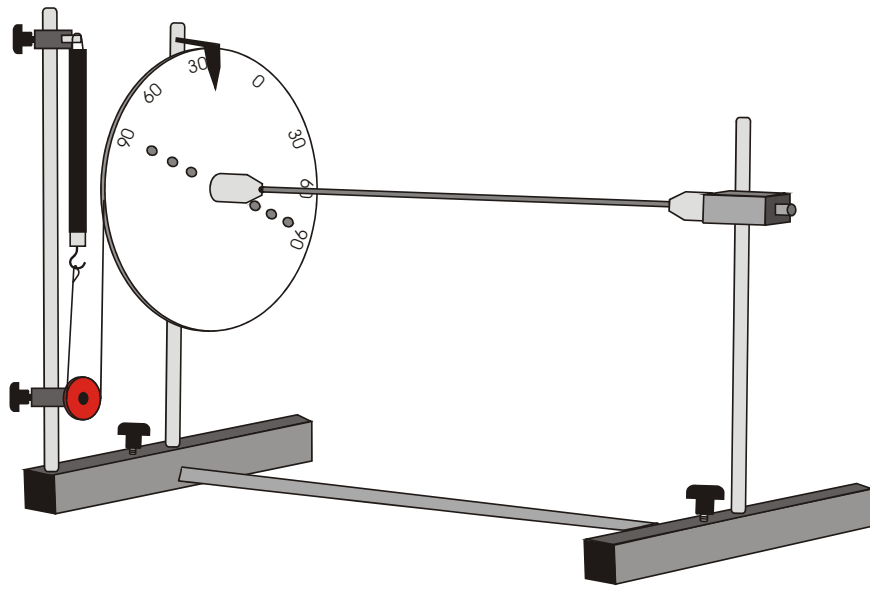


Fig.1 Experimenteller Aufbau für statische Messung

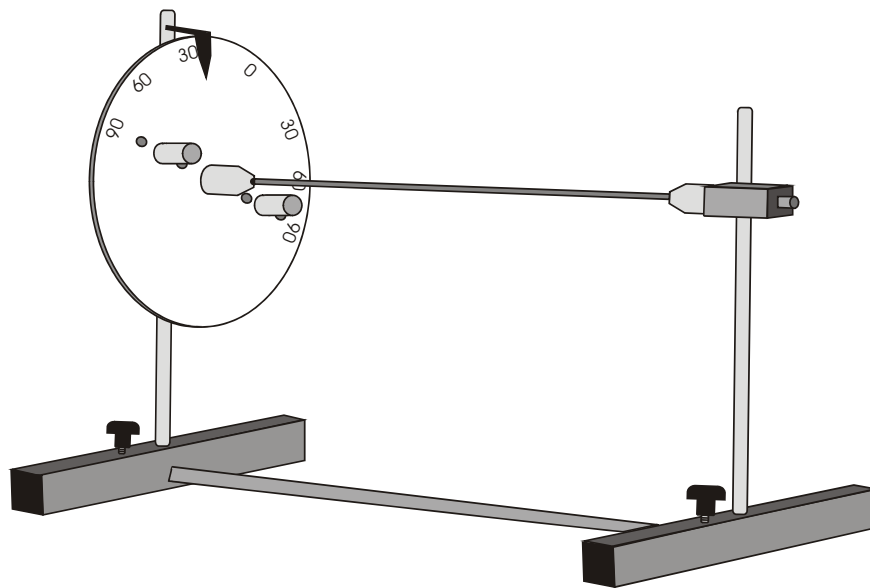
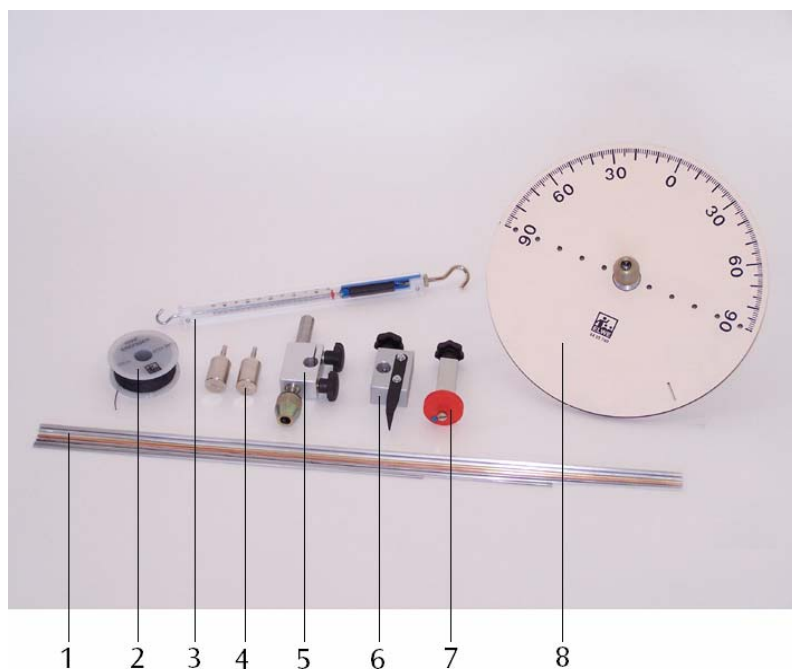


Fig. 2 Experimenteller Aufbau für dynamische Messung

Torsion apparatus 8405740

Instruction sheet

07/06 JS



- 1 Torsion rods
- 2 Hemp string
- 3 Spring dynamometer
- 4 Weights
- 5 Counter-bearing with knurled screws
- 6 Pointer
- 7 Pulley
- 8 Circular scale

1. Description

The torsion apparatus allows for static or dynamic measurement of elastic properties of metal rods of different lengths and thickness and the corresponding torsional oscillations up to the limit of elasticity.

- 1 Pulley, 30 mm Ø, with 4 mm stem
- 1 Holder for pulley
- 2 Weights, 50 g, with 4 mm stem
- 1 Hemp string, 100 m
- 1 Spring dynamometer, 5 N

2. Scope of delivery

- 1 Basic torsion equipment, consisting of:
 - 1 Circular scale with bearing and chuck,
 - 1 pointer, 1 counter-bearing with chuck
- 1 Torsion rod, steel, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 Torsion rod, brass, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 Torsion rod, copper, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 Torsion rod, Al, 300 mm x 2 mm Ø
- 1 Torsion rod, Al, 400 mm x 2 mm Ø
- 1 Torsion rod, Al, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 Torsion rod, Al, 500 mm x 3 mm Ø
- 1 Torsion rod, Al, 500 mm x 4 mm Ø

3. Technical data

Circular scale

Dimensions: 5 mm x 230 mm Ø
Weight: 545 g

Counter-bearing with chuck

Length: 120 mm
Weight: 115 g

Pointer

Dimensions: 20 × 30 × 45 mm

4. Additionally required

For setting up:

1 H-shaped base	8611130
3 Stand rods, 750 mm, 12 mm Ø	8611340
1 Square clamp	8613180
1 Rod with hook	8615110

For dynamic measurements:

1 Stopwatch	8533135
-------------	---------

5. Sample experiments

5.1 Static measurement in the elastic range

- Set up experiment as in Fig. 1.
- Set up circular scale and chuck opposite its counter-bearing and at the same both bearings are aligned horizontally and that the orientation towards the opposing chuck is accurate.
- Secure torsion rod into both chucks without twisting it. Adjust the H-shaped base to the correct length for this.
- Calibrate the zero point for the angular scale by slightly loosening the knurled screw on the counter-bearing and rotating the rod. Tighten knurled screw again.
- Fasten pulley to stand rod. Make sure that the pulley is in the same vertical plane as the circular scale.
- Suspend the spring dynamometer over the pulley using the square clamp and the rod with a hook.
- Fasten hemp string to circular scale, thread through the groove and around the pulley, and fasten to spring scale.
- Increase the force acting on the circular scale (i.e., the torque) in 0.1 N steps by shifting the pulley along the stand rod and read the resulting angle of twist or torsional angle.
- Plot a graph of torsional angle and torque.

The experiment set-up guarantees that the force will always act vertically, since the string runs at a tangent to the circular scale. This means the simple equation

$$M = F \cdot r$$

can be used to calculate the effective torque.

It is imperative that the force is not increased too much in order not to exceed the elastic range of deformation (different from material to material). If the circular scale returns to zero after relieving the force, the elastic range has not been exceeded.

Within the elastic range, the effective torque M is proportional to the torsional angle φ . This relation can be described as follows:

$$M = D_w \cdot \varphi.$$

The proportionality factor D_w is called the torsional constant or torsion coefficient. This physical torsion coefficient depends on the material and the dimensions of the wire. It can be derived from the slope of the line in the diagram, or the quotient of torque M and the torsional angle φ , respectively:

$$D_w = M/\varphi$$

The torsion coefficient D_w of a material decreases with the length of the wire, as well as with its diameter.

5.1.1 Determining the limit of elasticity (yield point)

- Set up the torsion apparatus as in 5.1.
- By moving the pulley, increase the force in steps of 0.1 N and read off the resulting torsional angles.
- Each time the force is increased, release the force on the circular scale by taking away the dynamometer and check that the the scale returns to an angle of 0°.

If the circular scale does not return to an angle of 0° after relieving the force and some slight deformation remains, then the limit of elasticity, the yield point, has been passed.

The resulting torsional angles and torques depend on material and geometry (length and diameter of the wire investigated).

Once the limit of elasticity has been exceeded, the measured values do not follow a straight line anymore. Plastic (permanent) deformation of the wire results.

5.2 Static measurement in the plastic range – mechanical hysteresis

- Set up the torsion apparatus as in 5.1.
- By moving the pulley, increase the force in steps of 0.1 N and read off the resulting torsional angles.
- After obtaining a torsional angle of 180°, start to decrease the force, again in steps of 0.1 N.

Even when the force is removed entirely, an angle of twist is still observed. The wire has been physically deformed by a corresponding degree.

- Now reverse the direction of the string around the circular scale, so that the force is exerted by the dynamometer in the opposite direction.
- Once more, increase the force in steps of 0.1 N and read off the resulting torsional angles.

In order to get back to the 0° mark (original position) now, an extra counteracting force is required.

- Deform wire, step by step, up to a torsional angle of -180°.

- After reaching this angle, reverse the direction of the string and the direction of the force again.
- Increase force, step by step, up to a torsional angle of 180°.

Once this is done, a complete hysteresis curve should have been obtained. The characteristic values of this curve are the torsional angle in the relieved state (meaning with zero force acting, i.e. where the curve crosses the x-axis), and the extra force required to pull the wire back to the original value of 0° (where the curve crosses the y-axis).

5.3 Dynamic measurement (torsional pendulum)

- Set up torsion apparatus as in 5.1, but without the spring scale.
- Move the circular scale from the point of origin to an angle of approximately 25° and release it.
- Measure the time taken for 10 full, unimpeded torsional oscillations and take this as a base to calculate the oscillation period of the system.
- Conduct an initial measurement with the circular scale without adding any weight. In subsequent measurements, add the two weights with the 4 mm stems symmetrical either side the axis of the circular scale and repeat the measurement. Start at the innermost stem position, and move the extra weight one position outward for each measurement.
- Write down the resulting times, and the distance of the weights from the rotating axis.

The oscillation period T of the torsional pendulum can be calculated as:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{J}{D}} \quad (1)$$

where J is the moment of inertia of the oscillator, and D is the torsion coefficient. The moment of inertia J_{tot} is the sum of the moment of inertia J_K of the circular scale and the moment of inertia J_z of the added weights.

$$J_{\text{tot}} = J_K + J_z \quad (2)$$

If the additional weights are considered, their moment of inertia can be calculated as:

$$J_z = 2mr^2 \quad (3)$$

By squaring equations (1), (2) and (3), this results in:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{(J_K + 2mr^2)}{D} = \frac{4\pi^2}{D} J_K + \frac{8\pi^2 m}{D} r^2 \quad (4)$$

At first glance, the moment of inertia of the circular scale remains unknown. According the equation (4), the plot $T^2=f(r^2)$ must result in a straight line, which, due to the circular scale's moment of inertia, does not intersect with the origin.

Rearranging equation (1) for D and substituting (2) results in:

$$D = (J_K + J_z) \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad (5)$$

J_K for the circular scale is always constant, J_z changes, in accordance with (3), corresponding to the distance of the added weights from the rotation axis. By taking two measurements for the oscillation period for different J_z , J_K can be eliminated from (5), and D can be calculated with the following equation:

$$D = \frac{(J_{z2} - J_{z1}) \cdot 4\pi^2}{T_2^2 - T_1^2} \quad (6)$$

Because of the subtraction, there needs to be a large difference between J_{z1} and J_{z2} , to keep the error small. An error analysis provides much more accurate values for dynamic measurements than for static measurements. In principle, dynamic measurement results in smaller values for D , since the friction in static measurements has the effect of making the torsion coefficient D appear bigger.

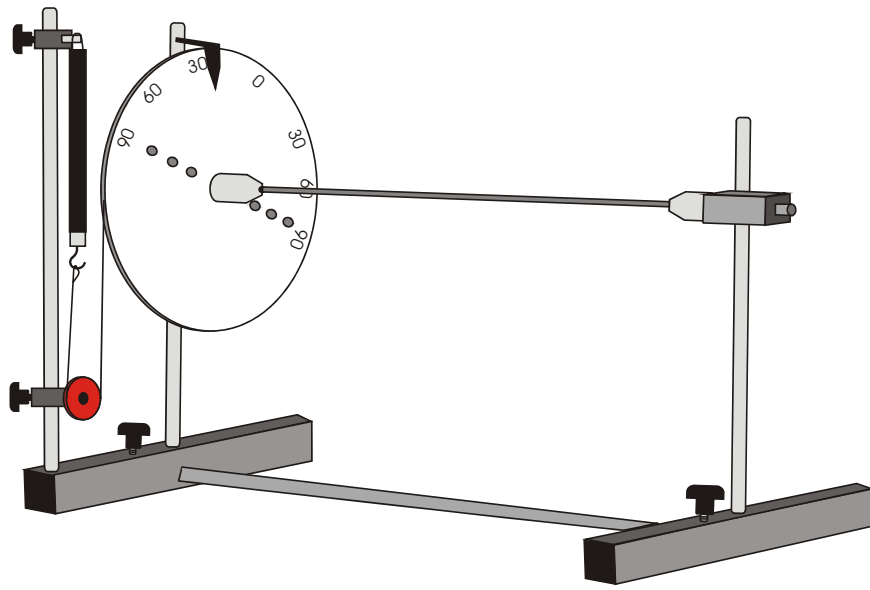


Fig. 1 Experiment set-up for static measurements

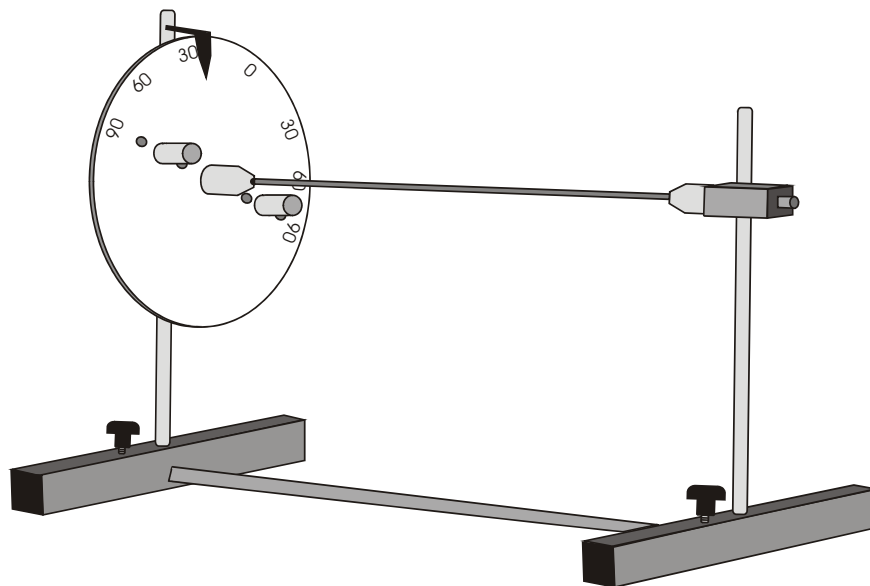
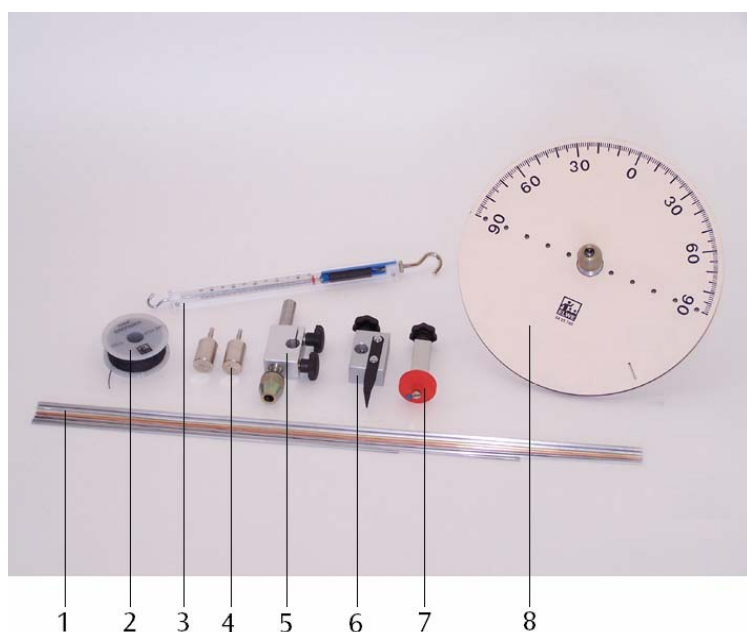


Fig. 2 Experiment set-up for dynamic measurements

Appareil de torsion 8405740

Instructions d'utilisation

07/06 JS



- 1 Barres de torsion
- 2 Fil de chanvre
- 3 Dynamomètre à ressort
- 4 Masses
- 5 Contre-palier avec vis moletées
- 6 Pointeur
- 7 Galet de renvoi
- 8 Disque circulaire

1. Description

L'appareil de torsion permet une mesure statique ou dynamique des propriétés élastiques de barres métalliques de différentes longueurs et épaisseurs et des oscillations de torsion correspondantes jusqu'à la limite d'élasticité.

- 1 galet de renvoi, Ø 30 mm, avec fiche de 4 mm
- 1 support pour galet de renvoi
- 2 masses, 50 g, avec fiche 4 mm
- 1 fil de chanvre, 100 m
- 1 dynamomètre, 5 N

2. Matériel fourni

- 1 L'appareil de base comprend :
 - 1 disque circulaire avec palier et mandrin de serrage, 1 pointeur, 1 contre-palier avec mandrin de serrage
- 1 barre de torsion, acier, 500 mm x Ø 2 mm
- 1 barre de torsion, laiton, 500 mm x Ø 2 mm
- 1 barre de torsion, cuivre, 500 mm x Ø 2 mm
- 1 barre de torsion, alu, 300 mm x Ø 2 mm
- 1 barre de torsion, alu, 400 mm x Ø 2 mm
- 1 barre de torsion, alu, 500 mm x Ø 2 mm
- 1 barre de torsion, alu, 500 mm x Ø 3 mm
- 1 barre de torsion, alu, 500 mm x Ø 4 mm

3. Caractéristiques techniques

Disque circulaire

Dimensions : 5 mm x Ø 230 mm
Masse : 545 g

Contre-palier avec mandrin de serrage

Longueur : 120 mm
Masse : 115 g

Pointeur

Dimensions : 20 x 30 x 45 mm³

4. Autres équipements requis

Pour le montage :

1 pied en H	8611130
3 barres de support, 750 mm, Ø 12 mm	8611340
1 manchon carré	8613180
1 manche à crochets	8615110

Pour la mesure dynamique :

1 chronomètre	8533135
---------------	---------

5. Exemples d'expériences

5.1 Mesure statique dans la gamme élastique

- Montez l'expérience comme le montre la fig. 1.
- Montez le disque avec son mandrin de serrage en face du contre-palier, à la même hauteur. Veillez à un alignement horizontal précis et une orientation exacte du mandrin opposé.
- Tendez la barre de torsion, sans la torsader, entre les deux mandrins de serrage en ajustant le pied en H à la bonne longueur.
- Réglez le point zéro de la graduation angulaire. Pour cela, desserrez légèrement la vis moletée du contre-palier et tournez la barre. Resserrez fermement la vis.
- Fixez le galet de renvoi à la barre de support. Veillez à ce que le galet de renvoi soit placé sur le même plan vertical que le disque circulaire.
- Accrochez le dynamomètre à l'aide du manchon carré et du manchon à crochets au-dessus du galet de renvoi.
- Fixez le fil de chanvre au disque circulaire, faites-le passer à travers la rainure et sur le galet de renvoi et fixez-le au dynamomètre.
- Augmentez la force agissant sur le disque et ainsi le couple de rotation en déplaçant le galet le long de la barre de support en pas de 0,1 N et lisez les angles de torsion.
- À l'aide d'un graphique, représentez le couple de rotation en fonction de l'angle de torsion.

Le montage de l'expérience garantit toujours une action perpendiculaire de la force, car le fil suit la tangente du disque circulaire. Le couple de rotation peut donc être déterminé aisément à l'aide de la formule suivante :

$$M = F \cdot r$$

Veillez à ne pas trop augmenter la force pour ne pas quitter la gamme élastique de la déformation (varie selon le matériau). Si le disque retourne en position zéro après la décharge, cela signifie que la gamme élastique n'a pas été dépassée.

Dans la gamme élastique, le couple de rotation M est proportionnel à l'angle de torsion φ . Ce rapport est illustré par l'équation suivante :

$$M = D_w \cdot \varphi.$$

Le facteur de proportionnalité D_w est la grandeur directionnelle de l'angle. Cette grandeur physique dépend du matériau et des dimensions du fil de fer. Elle peut être déterminée par l'augmentation des droites dans le diagramme et le quotient résultant du couple de rotation M et de l'angle de torsion φ :

$$D_w = M/\varphi$$

La grandeur angulaire D_w d'un matériau diminue avec la longueur et augmente avec le diamètre du fil de fer.

5.1.1 Détermination de la limite d'élasticité

- Montez l'appareil de torsion comme décrit au paragraphe 5.1.
- Augmentez la force en pas de 0,1 N en déplaçant le galet de renvoi et lisez les angles de torsion.
- Après chaque pas d'augmentation, déchargez le disque angulaire en retirant le dynamomètre à ressort et contrôlez la position de repos de l'angle (0°).

Si le disque ne retourne plus dans l'angle 0° après la décharge et qu'il subsiste une faible déformation résiduelle, cela signifie que la limite d'élasticité a été dépassée.

Les angles de torsion et les couples de rotation obtenus dépendent du matériau et de la géométrie (longueur et diamètre du fil étudié).

Si la limite d'élasticité a été dépassée, les valeurs de mesure ne forment plus une droite. Il apparaît une déformation plastique (restante) du fil.

5.2 Mesure statique dans la gamme plastique – Hystérésis mécanique

- Montez l'appareil de torsion comme décrit au paragraphe 5.1.
- Augmentez la force en pas de 0,1 N en déplaçant le galet de renvoi et lisez les angles de torsion.
- Après avoir atteint l'angle de torsion de 180°, réduisez de nouveau la force en pas de 0,1 N.

Même après une décharge intégrale, il apparaît encore un angle de torsion et le fil subit une déformation plastique correspondante.

- À présent, placez le fil dans le sens opposé autour du disque circulaire, de sorte que la force du dynamomètre agisse dans le sens inverse.
- Encore une fois, augmentez la force en pas de 0,1 N et lisez les angles de torsion.

Pour atteindre la marque de 0° (état initial), il faut une force opposée.

- Déformez le fil pas à pas, jusqu'à ce que vous obteniez un angle de torsion de -180° .
- Après avoir atteint cet angle de torsion, remettez le fil autour du disque et inversez le sens de la force.
- Augmentez la force, jusqu'à ce que vous obteniez un angle de torsion de 180° .

Vous venez maintenant de franchir une courbe d'hystérésis complète. Les valeurs caractéristiques de cette courbe sont l'angle de torsion après décharge (donc sans effet de force, point d'intersection avec l'abscisse) et la force requise pour ramener le fil de sa déformation dans sa position initiale de 0° (point d'intersection avec l'ordonnée).

5.3 Mesure dynamique (oscillateur à torsion)

- Montez l'appareil de torsion comme décrit au paragraphe 5.1, mais sans le dynamomètre.
- Déviez d'environ 25° le disque circulaire de sa position au repos.
- Mesurez le temps pour dix oscillations de torsion libres, puis calculez la durée d'oscillation du système.
- Effectuez la première mesure avec le disque exempt de masses supplémentaires. Pour les mesures suivantes, enfichez les deux masses supplémentaires avec les fiches de 4 mm symétriquement à l'axe du disque et répétez la mesure. Commencez par la position d'enfichage située la plus à l'intérieur et déplacez les masses d'une position vers l'extérieur à chaque expérience.
- Notez les durées déterminées et l'écart des masses avec l'axe de rotation.

Pour la période d'oscillation T de l'oscillateur de torsion :

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{J}{D}} \quad (1)$$

J étant le couple d'inertie de l'oscillateur et D la grandeur directionnelle. Le couple d'inertie J_{ges} se compose des couples d'inertie J_K du disque et J_z des masses.

$$J_{ges} = J_K + J_z \quad (2)$$

Si l'on considère les masses comme points masse, le couple d'inertie se calcule comme suit :

$$J_z = 2mr^2 \quad (3)$$

À l'aide des équations (1), (2) et (3), on obtient après élévation au carré :

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{(J_K + 2mr^2)}{D} = \frac{4\pi^2}{D} J_K + \frac{8\pi^2 m}{D} r^2 \quad (4)$$

Dans un premier temps, le couple d'inertie du disque est inconnu. Dans la représentation graphique $T^2=f(r^2)$, selon l'équation (4), il doit se former une droite qui, par le couple d'inertie du disque circulaire, ne passe pas par l'origine des coordonnées.

La conversion de l'équation (1) d'après D et application de (2) permet d'obtenir :

$$D = (J_K + J_z) \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad (5)$$

J_K du disque est toujours invariable, J_z se modifie d'après (3) en fonction de l'écart entre les masses et l'axe de rotation. Des deux valeurs de mesure pour la durée d'oscillation pour différents J_z , on peut éliminer J_K de (5) et déterminer D avec la formule suivante :

$$D = \frac{(J_{z2} - J_{z1}) \cdot 4\pi^2}{T_2^2 - T_1^2} \quad (6)$$

En raison de la différence qui en résulte, J_{z1} et J_{z2} devraient se distinguer nettement pour maintenir l'erreur aussi faible que possible. Une observation de l'erreur fournit pour la mesure dynamique des valeurs bien plus précises que la mesure statique. Fondamentalement, la mesure dynamique fournit pour D des valeurs plus petites, car le frottement au cours de la mesure statique apparaît comme un agrandissement de la grandeur directionnelle D .

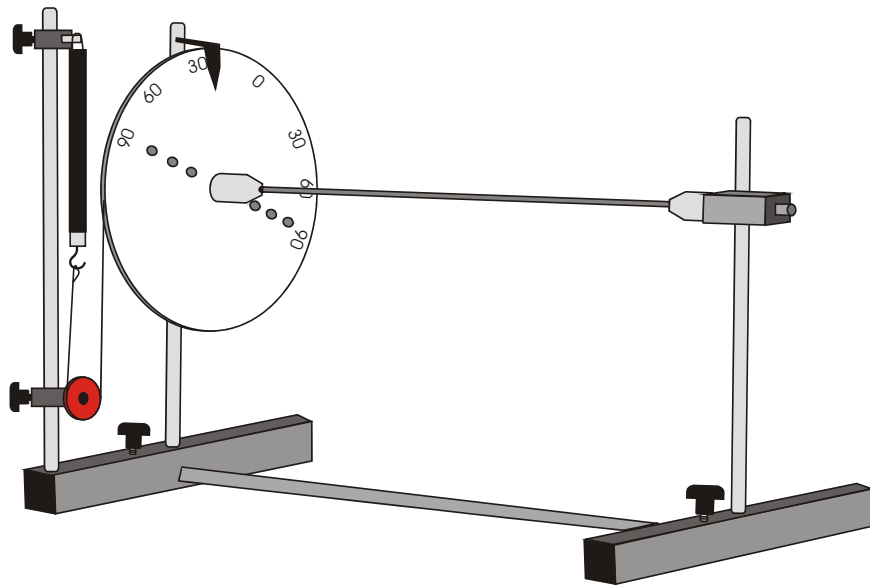


Fig.1 Montage de l'expérience pour la mesure statique

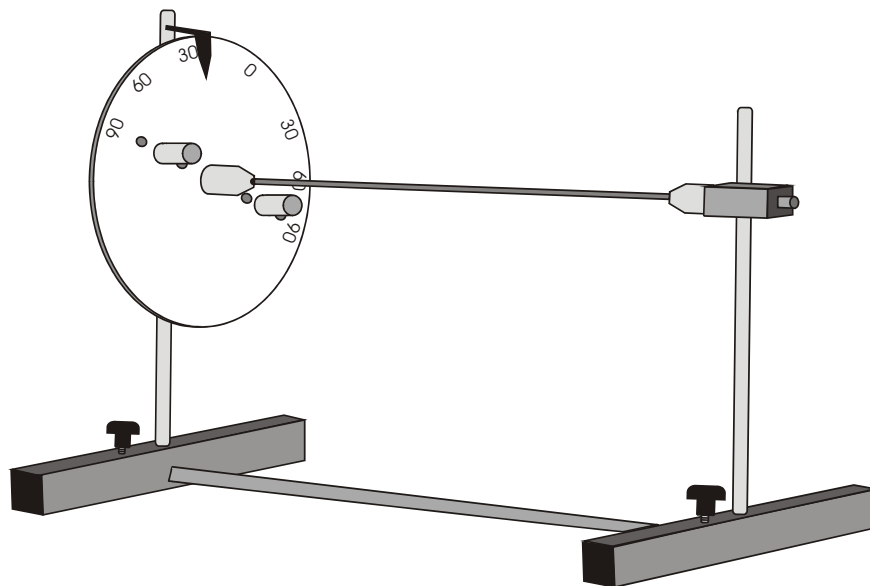
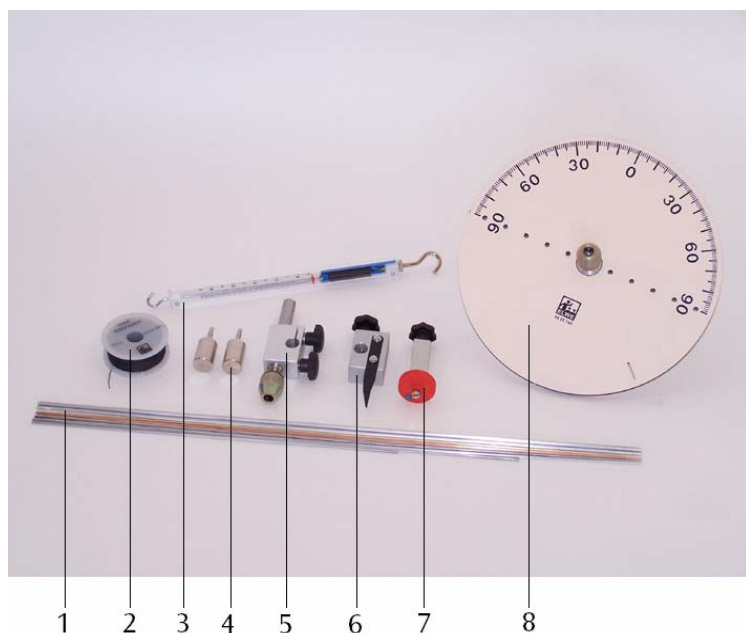


Fig. 2 Montage de l'expérience pour la mesure dynamique

Torsiometro 8405740

Istruzioni per l'uso

07/06 JS



- 1 Barre di torsione
- 2 Filo di canapa per legature
- 3 Dinamometro a molla
- 4 Masse
- 5 Controsupporto con viti a testa zigrinata
- 6 Indicatore
- 7 Puleggia
- 8 Disco circolare

1. Descrizione

Il torsiometro è utilizzato per la misurazione statica oppure dinamica delle proprietà elastiche di aste metalliche di diversa lunghezza e spessore, delle relative oscillazioni di torsione e del limite di elasticità.

- 1 puleggia, 30 mm Ø, con spinotto da 4 mm
- 1 supporto per puleggia
- 2 masse, 50 g, con spinotto da 4 mm
- 1 filo di canapa per legature, 100 m
- 1 dinamometro 5 N

2. Fornitura

- 1 Il torsiometro di base è costituito da:
 - 1 disco circolare con supporto e mandrino,
 - 1 indicatore, 1 controsupporto con mandrino
- 1 barra di torsione, acciaio 500 mm x 2 mm Ø
- 1 barra di torsione, ottone, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 barra di torsione, rame, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 barra di torsione, Al, 300 mm x 2 mm Ø
- 1 barra di torsione, Al, 400 mm x 2 mm Ø
- 1 barra di torsione, Al, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 barra di torsione, Al, 500 mm x 3 mm Ø
- 1 barra di torsione, Al, 500 mm x 4 mm Ø

3. Dati tecnici

Disco circolare

Dimensioni: 5 mm x 230 mm Ø
 Peso: 545 g

Controsupporto con mandrino

Lunghezza: 120 mm
 Peso: 115 g

Indicatore

Dimensioni: 20 × 30 × 45 mm³

4. Dotazione supplementare necessaria

Per la struttura:

1 piede H	8611130
3 aste di sostegno, 750 mm, 12 mm Ø	8611340
1 manicotto, quadrato	8613180
1 asta con gancio	8615110

Per la misurazione dinamica:

1 cronometro	8533135
--------------	---------

5. Esempi di esperimenti

5.1 Misurazione statica in campo elastico

- Realizzare una struttura di prova come da fig. 1.
- Montare il disco circolare con il relativo mandrino alla stessa altezza del controsupporto sul lato opposto. Prestare attenzione all'allineamento orizzontale e all'esatto orientamento del mandrino sul lato opposto
- Serrare la barra di torsione non attorcigliata tra i due mandrini e portar il piede H alla lunghezza corretta.
- Impostare il punto zero della scala angolare. A tale scopo allentare leggermente la vite a testa zigrinata anteriore sul controsupporto e ruotare la barra. Serrare di nuovo la vite a testa zigrinata.
- Fissare la puleggia all'asta dello stativo. Accertarsi che la puleggia sia posizionata sullo stesso piano verticale del disco circolare.
- Appendere il dinamometro sopra la puleggia servendosi del manicotto quadrato e dell'asta con gancio.
- Fissare il filo di canapa per legature al disco circolare, farlo passare per il canalino e sopra la puleggia e fissarlo al dinamometro.
- Aumentare la forza che agisce sul disco circolare e quindi il momento torcente spostando la puleggia lungo l'asta dello stativo in stadi da 0,1 N e leggere gli angoli di torsione risultanti.
- Rappresentare graficamente il momento torcente in funzione dell'angolo di torsione.

La struttura sperimentale garantisce sempre un'azione verticale della forza, poiché il filo passa tangente al disco circolare. In questo modo è possibile determinare il momento torcente agente secondo la semplice formula

$$M = F \cdot r .$$

Accertarsi che la forza non aumenti in misura tale da fuoriuscire dal campo elastico della deformazione (diverso a seconda dei materiali). Se

dopo la rimozione del carico il disco circolare torna alla posizione di origine, il campo elastico non è stato superato.

Nel campo elastico il momento torcente agente M è proporzionale all'angolo di torsione φ . Questa correlazione può essere rappresentata come indicato di seguito:

$$M = D_w \cdot \varphi .$$

Il fattore di proporzionalità D_w è la costante di collegamento angolare. Questo parametro fisico dipende dal materiale e dalle dimensioni del filo e può essere determinato dall'aumento delle linee rette nel diagramma o dal quoziente del momento torcente M e dell'angolo di torsione φ .

$$D_w = M/\varphi$$

La costante di collegamento angolare D_w di un materiale diminuisce con la lunghezza del filo e con il diametro del filo.

5.1.1 Determinazione del limite di elasticità

- Realizzare un torsionometro come descritto al punto 5.1
- Spostando la puleggia aumentare la forza in stadi da 0,1 N e leggere gli angoli di torsione risultanti.
- Dopo ogni fase di elevazione della forza scaricare il disco circolare estraendo il dinamometro a molla e controllare che in posizione di riposo l'angolo sia di 0°.

Se dopo la rimozione del carico il disco circolare non torna più all'angolo di 0° e si ha una deformazione residua minima, il limite di elasticità è stato superato.

Gli angoli di torsione ottenuti e i momenti torcenti dipendono dal materiale e dalla geometria (lunghezza e diametro del filo esaminato).

Se si supera il limite di elasticità, i valori misurati non passano più su una linea retta. Si verifica una deformazione (residua) plastica del filo.

5.2 Misurazione statica nel campo plastico – isteresi meccanica

- Realizzare un torsionometro come descritto al punto 5.1
- Spostando la puleggia aumentare la forza in stadi da 0,1 N e leggere gli angoli di torsione risultanti.
- Al raggiungimento di un angolo di torsione di 180° ridurre di nuovo la forza in stadi da 0,1 N.

Qualora si ottenga un angolo di torsione anche a rimozione completa del carico, il filo risulterà deformato in misura corrispondente.

- Collocare ora il filo in direzione opposta intorno al disco circolare, in modo tale che

l'azione del carico mediante il dinamometro si espliciti nella direzione opposta.

- Aumentare di nuovo la forza in stadi da 0,1 N e leggere gli angoli di torsione risultanti.

Per raggiungere la tacca 0° (condizione di partenza) è ora necessaria una forza opposta.

- Deformare gradualmente il filo fino ad ottenere un angolo di torsione di 180°.
- Al raggiungimento di questo angolo di torsione spostare di nuovo il filo ed invertire la direzione della forza.
- Aumentare la forza gradualmente fino a raggiungere un angolo di torsione di 180°.

In questo modo viene tracciata una curva di isteresi completa. I valori caratteristici di questa curva sono l'angolo di torsione dopo la rimozione del carico (quindi senza azione del carico, punto di intersezione con l'ascissa) e la forza necessaria per il rimodellamento del filo fino alla posizione di partenza di 0° (punto di intersezione con l'ordinata).

5.3 Misurazione dinamica (oscillatore di torsione)

- Realizzare un torsionometro come descritto al punto 5.1 ma senza dinamometro a molla.
- Spostare il disco circolare dalla posizione di riposo ottenendo un angolo di ca. 25°.
- Misurare il tempo di 10 oscillazioni di torsione libere complete e calcolare quindi il periodo di oscillazione del sistema.
- Effettuare la prima misurazione con il disco circolare senza masse supplementari. Per le misurazioni successive inserire entrambe le masse supplementari con connettore da 4 mm simmetricamente all'asse del disco circolare e ripetere la misurazione. Iniziare con la posizione più interna del connettore e per ogni ulteriore esperimento spostare le masse supplementari di una posizione verso l'esterno.
- Registrare i tempi misurati e la distanza delle masse supplementari dall'asse di rotazione.

Per il periodo di oscillazione T dell'oscillatore di torsione vale la formula:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{J}{D}} \quad (1)$$

da cui si ricava che J è il momento d'inerzia dell'oscillatore e D la costante di collegamento. Il momento d'inerzia J_{ges} è costituito dal momento d'inerzia J_k del disco circolare e dal momento d'inerzia J_z delle masse supplementari.

$$J_{ges} = J_k + J_z \quad (2)$$

Se le masse supplementari vengono considerate come punti di massa, il momento d'inerzia si ottiene come descritto di seguito:

$$J_z = 2mr^2 \quad (3)$$

Dall'equazione (1), (2) e (3) si ricava in base all'elevazione al quadrato:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{(J_k + 2mr^2)}{D} = \frac{4\pi^2}{D} J_k + \frac{8\pi^2 m}{D} r^2 \quad (4)$$

Il momento d'inerzia del disco circolare non è innanzitutto noto. Nella rappresentazione grafica $T^2=f(r^2)$ deve risultare una linea retta in base all'equazione (4), che (mediante il momento d'inerzia del disco circolare) non attraversa l'origine delle coordinate.

Dalla conversione dell'equazione (1) in funzione di D e dall'introduzione di (2) si ottiene:

$$D = (J_k + J_z) \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad (5)$$

J_k del disco circolare è sempre identico, J_z si modifica in funzione di (3) a seconda della distanza delle masse supplementari dell'asse di rotazione. Dai 2 valori di misurazione del periodo di oscillazione per diversi J_z è possibile eliminare J_k da (5) e ricavare D in base alla formula seguente:

$$D = \frac{(J_{z2} - J_{z1}) \cdot 4\pi^2}{T_2^2 - T_1^2} \quad (6)$$

A causa della differenza si consiglia di distinguere notevolmente J_{z1} e J_{z2} l'uno dall'altro, in modo tale da ridurre l'errore ai minimi termini. Per la misurazione dinamica l'osservazione degli errori fornisce dei valori molto più precisi che per la misurazione statica. In linea di principio dalla misurazione dinamica si ottengono valori più piccoli per D , poiché l'attrito nella misurazione statica si riconosce dall'incremento della costante di collegamento.

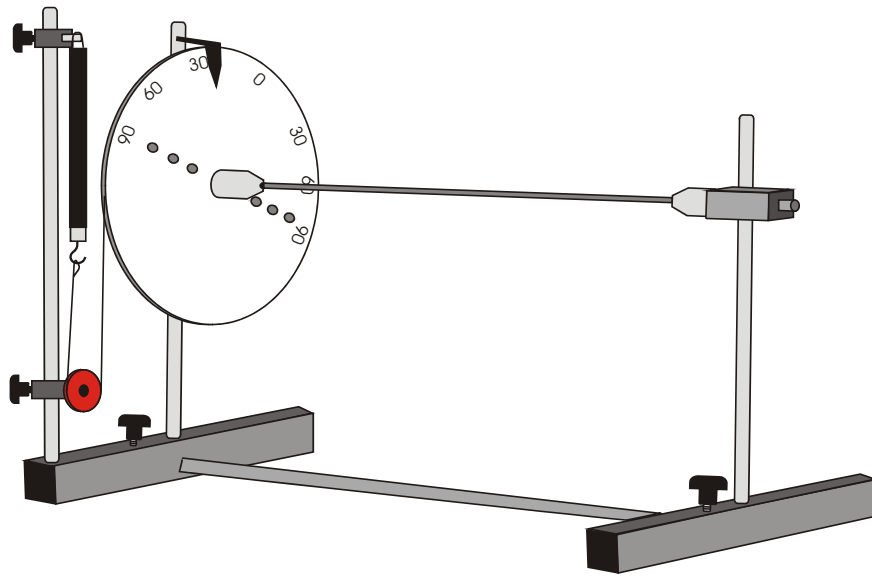


Fig.1 Struttura sperimentale per misurazione statica

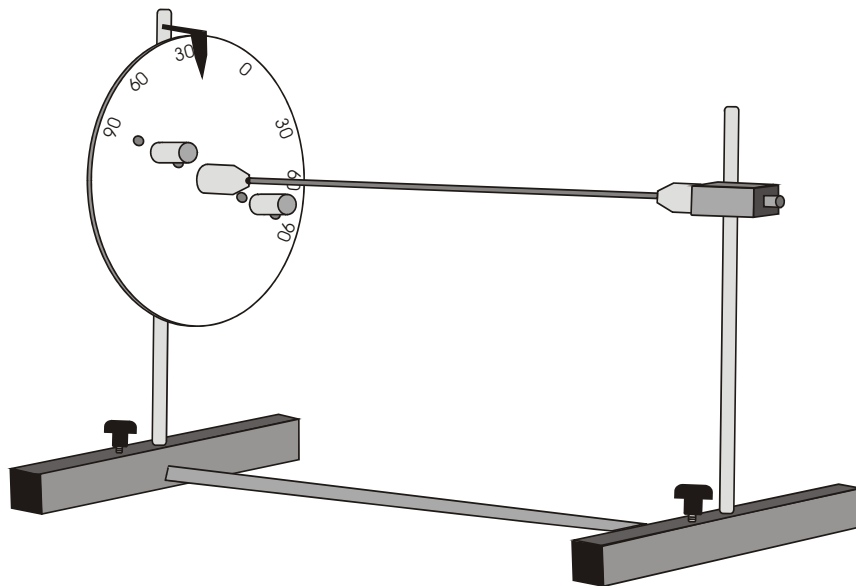
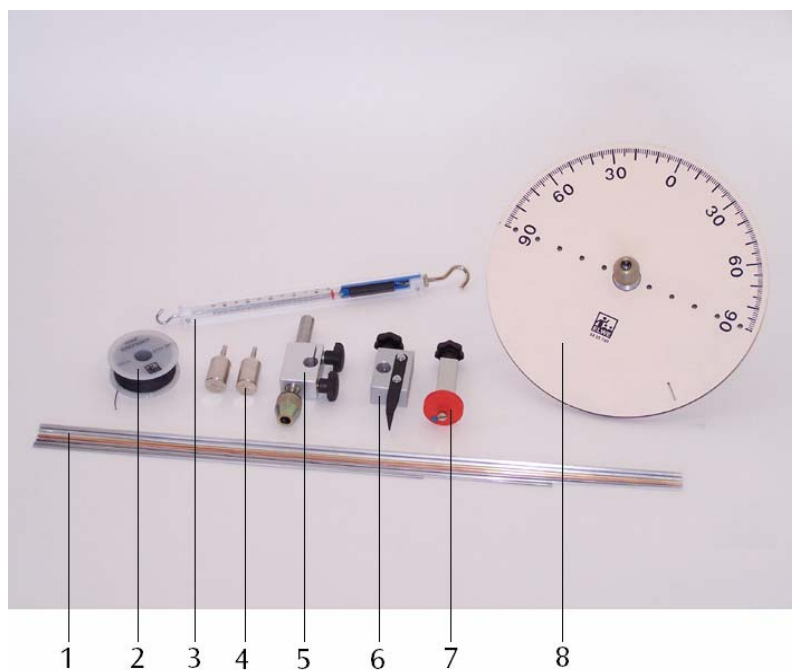


Fig. 2 Struttura sperimentale per misurazione dinamica

Aparato de Torsión 8405740

Instrucciones de uso

07/06 JS



- 1 Varillas de torsión
- 2 Hilo de cáñamo
- 3 Dinamómetro
- 4 Masas adicionales
- 5 Contrasoporte con tornillos moleteados
- 6 Aguja índice
- 7 Polea de desviación
- 8 Disco con escala

1. Descripción

El aparato de torsión sirve para la medición estática o dinámica de las propiedades elásticas de varillas metálicas de diferente material longitud y espesor así como para el estudio de oscilaciones de torsión hasta el límite elástico.

- 1 Polea de desviación, 30 mm Ø, con espiga de enchufe de 4 mm
- 1 Soporte para polea de desviación
- 2 Masas, 50 g, con espigas de enchufe de 4 mm
- 1 Hilo de cáñamo, 100 m
- 1 Dinamómetro, 5 N

2. Volumen de entrega

- 1 Aparato de torsión básico compuesto de:
 - 1 Disco con soporte y mordaza, 1 Aguja indicadora, 1 Contrasoporte con mordaza
- 1 Varilla de torsión, acero, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 Varilla de torsión, latón, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 Varilla de torsión, cobre, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 Varilla de torsión, Al, 300 mm x 2 mm Ø
- 1 Varilla de torsión, Al, 400 mm x 2 mm Ø
- 1 Varilla de torsión, Al, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 Varilla de torsión, Al, 500 mm x 3 mm Ø
- 1 Varilla de torsión, Al, 500 mm x 4 mm Ø

3. Datos técnicos

Disco con escala

Dimensiones: 5 mm x 230 mm Ø
Masa: 545 g

Contrasoporte con mordaza

Longitud: 120 mm
Masa: 115 g

Aguja índice

Dimensiones: 20 × 30 × 45 mm³

4. Adicionalmente se requiere

Para el montaje:

1 Pie en H	8611130
3 Varillas soporte, 750 mm, 12 mm Ø	8611340
1 Nuez cuadrada	8613180
1 Espiga con gancho	8615110

Para la medición dinámica:

1 Cronómetro	8533135
--------------	---------

5. Experimentos ejemplares

5.1 Medición estática en la zona elástica

- Se realiza el Montaje experimental según la Fig. 1.
- Se monta el disco con escala con su mordaza en frente y a la misma altura del contrasopORTE, teniendo cuidado de mantener la horizontal y una orientación frente a frente de las mordazas.
- Se encaja la varilla de torsión entre las dos mordazas evitando torcer la misma, para ello se alarga el pie en H a la longitud adecuada.
- Se ajusta el punto cero de la escala del disco, aflojando un poco el tornillo moleteado delantero en el contrasopORTE y se rota la varilla. Se vuelve a apretar el tornillo moleteado.
- Se fija la polea de desviación en la varilla soporte teniendo en cuenta que la misma se encuentre en el mismo plano vertical del disco con escala.
- Se cuelga el dinamómetro por encima de la polea de desviación para ello se utiliza la nuez cuadrada y la espiga con gancho.
- Se fija el hilo de cáñamo en el disco con escala y pasando por la ranura en la circunferencia del disco y se fija ahora en el dinamómetro.
- Se aumenta la fuerza que actúa sobre el disco con escala en pasos de 0,1 N, indirectamente el par de giro, desplazando la polea de desviación a lo largo de la varilla soporte y se lee en la escala el ángulo de torsión resultante.
- Se hace una representación gráfica del par de giro en dependencia con el ángulo de torsión.

El montaje experimental garantiza aquí que la fuerza actúa siempre perpendicularmente, porque el hilo se mueve en todo tiempo tangencial al disco con escala. En esta forma se puede determinar el par de giro actuante utilizando la fórmula sencilla:

$$M = F \cdot r$$

Es necesario tener en cuenta de no aumentar la fuerza muy fuertemente para no salir de la zona de deformación elástica (diferente para cada metal). Si

al descargar el disco con escala éste retorna al punto cero no se ha sobresalido de la zona elástica.

En la zona elástica el par de giro actuante M es proporcional al ángulo de torsión φ . En la zona elástica esta relación se puede representar como:

$$M = D_w \cdot \varphi$$

El factor de proporcionalidad D_w se denomina "Coeficiente de restitución angular". Esta magnitud física depende de las dimensiones de la varilla y del material y se puede determinar a partir de la pendiente de la línea en el diagrama, respectivamente del cociente entre M y el ángulo de torsión φ :

$$D_w = M/\varphi$$

El coeficiente de restitución angular D_w de un material disminuye con la longitud de la varilla y aumenta con el espesor de la misma.

5.1.1 Determinación el límite de elasticidad

- Se monta el aparato de torsión como se indica en el apartado 5.1.
- Se aumenta la fuerza actuante en pasos de 0,1 N y se lee el correspondiente ángulo resultante.
- Después de cada paso de aumento de la fuerza se descarga el disco con escala retirando el dinamómetro y se controla el ángulo de 0° como posición de reposo.

Si el disco con escala no retorna a la posición 0° después de la descarga y permanece una deformación residual es porque se ha sobrepasado el límite de elasticidad.

Los ángulos de torsión y los pares de giro logrados dependen del material y de las dimensiones geométricas (longitud y espesor de la varilla estudiada).

Si se sobrepasa el límite de elasticidad, los valores de medición no se encuentran sobre una línea. Aparece una deformación plástica (remanente) de la varilla.

5.2 Medición estática en la zona plástica – Histéresis mecánica.

- Se realiza el Montaje experimental según la Fig. 1.
- Desplazando la polea de desviación se aumenta la fuerza en pasos de 0,1 N y se lee el ángulo de torsión resultante..
- Después de lograr el ángulo de torsión de 180° se reduce la fuerza también en pasos de 0,1 N..

También al descargar el disco de escala completamente se puede observar un ángulo de torsión remanente. La varilla experimenta una deformación plástica correspondiente.

- Ahora se coloca el hilo de cáñamo en la ranura en la dirección contraria, así que la acción de la fuerza originada por el dinamómetro se experimenta en dirección contraria.
- Nuevamente se vuelve a aumentar la fuerza en pasos de 0,1 N y se lee el correspondiente ángulo de torsión resultante.

Para poder volver a lograr la marca de 0° (estado de salida) es necesaria una fuerza en sentido contrario.

- Se vuelve a deformar la varilla hasta llegar a un ángulo e torsión de -180°.
- Después de llegar a este ángulo de torsión se vuelve a cambiar la orientación del hilo de cáñamo para cambiar la dirección de acción de la fuerza.
- Se aumenta la fuerza hasta llegar al ángulo de torsión de +180°.

En esta forma se ha logrado pasar todo el curso de la curva de histéresis. El valor del ángulo de torsión después de la descarga (es decir sin fuerza actuante, punto de corte con la abscisa) y la fuerza necesaria para restituir la deformación de la varilla hasta su estado de salida de 0° (punto de corte con la ordenada) son puntos característicos de esta curva.

5.3 Medición dinámica (Oscilador de torsión).

- Se realiza el Montaje experimental según la Fig. 1, pero sin el dinamómetro
- Se desvía el disco con escala en un ángulo de 25° a partir de su posición de reposo, y se deja libre.
- Se mide el tiempo para 10 oscilaciones de torsión libres y se calcula el tiempo necesario para una oscilación (período).
- La primera medición se realiza con el disco sólo, sin las masas adicionales. En las mediciones a continuación se insertan las masas con sus clavijas de 4 mm, simétricamente con respecto al eje de rotación del disco y se repiten las mediciones. Se empieza con las posiciones más cercanas al eje y las masas adicionales se cambian entonces en una posición hacia a fuera.
- Se anotan los tiempos determinados con las correspondientes distancias de las masas al eje de rotación.

Para el período de oscilación T del oscilador de torsión se tiene siguiente la relación:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{J}{D}} \quad (1)$$

siendo J el momento de inercia del oscilador y D la coeficiente de restitución angular. El momento de inercial total J_{tot} se compone del momento de inercia del disco J_D más el momento de inercia de las masas adicionales J_{MA} .

$$J_{tot} = J_D + J_{MA} \quad (2)$$

Si las masas adicionales se consideran como masas puntuales, el momento de inercia se calcula de la siguiente forma:

$$J_{MA} = 2mr^2 \quad (3)$$

Diendo r la distancia al eje de rotación

Después de elevar al cuadrado, de las fórmulas (1), (2) y (3) se obtiene:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{(J_D + 2mr^2)}{D} = \frac{4\pi^2}{D} J_D + \frac{8\pi^2 m}{D} r^2 \quad (4)$$

Al principio no se conoce el momento de inercia del disco. En la representación gráfica $T^2=f(r^2)$, según la ecuación (4) se debe obtener una recta que no pasa por el origen de coordenadas (por el momento de inercia del disco).

Despejando D en la ecuación (1) y remplazando en la ecuación (2) se obtiene::

$$D = (J_D + J_{MA}) \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad (5)$$

El momento de inercia J_D del disco es siempre permanece constante, J_{MA} cambia de acuerdo con (3) correspondientemente con la distancia hasta el eje de rotación. A partir de 2 valores de medida para el período con diferentes J_{MA} se puede eliminar J_D de (5) y determinar D siguiendo la siguiente fórmula:

$$D = \frac{(J_{MA2} - J_{MA1}) \cdot 4\pi^2}{T_2^2 - T_1^2} \quad (6)$$

Debido a que es necesario hacer una diferencia entre los valores de J_{MA1} y J_{MA2} deben hacerse bien diferentes entre sí, para mantener pequeño el error. Haciendo un análisis de los errores se observa que la medición dinámica entrega mejores resultados que la estática. En principio la medición dinámica entrega menores valores para D , porque la fricción en la medición hace que se observe como un aumento del coeficiente de restitución angular D .

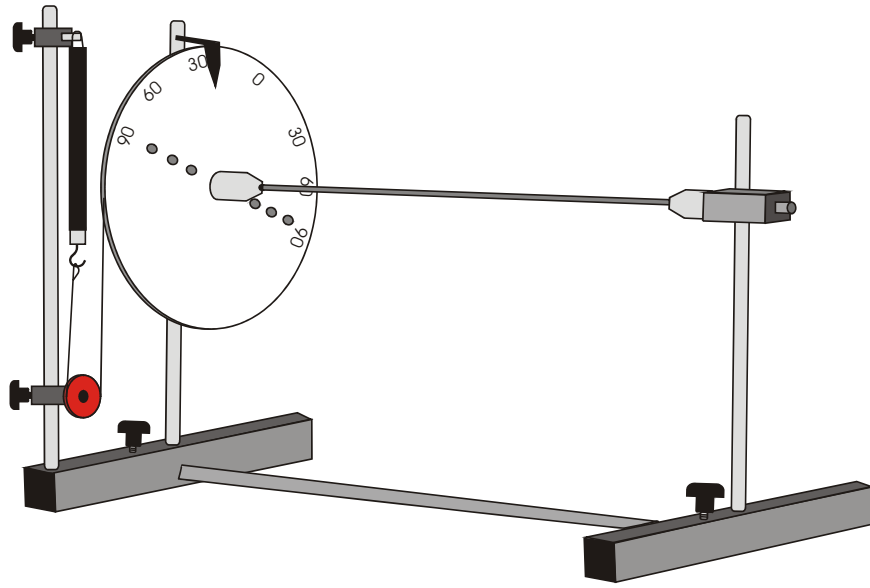


Fig.1 Montaje experimental para la medición estática

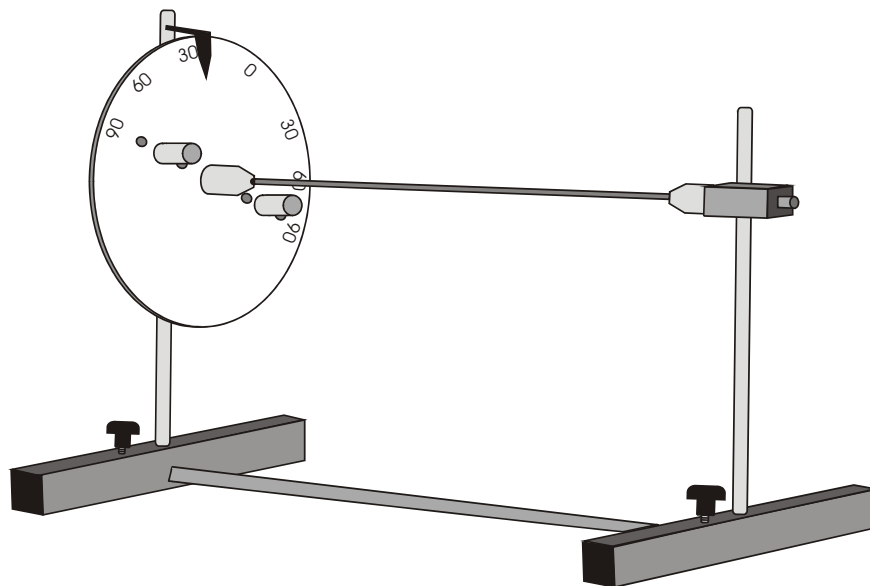
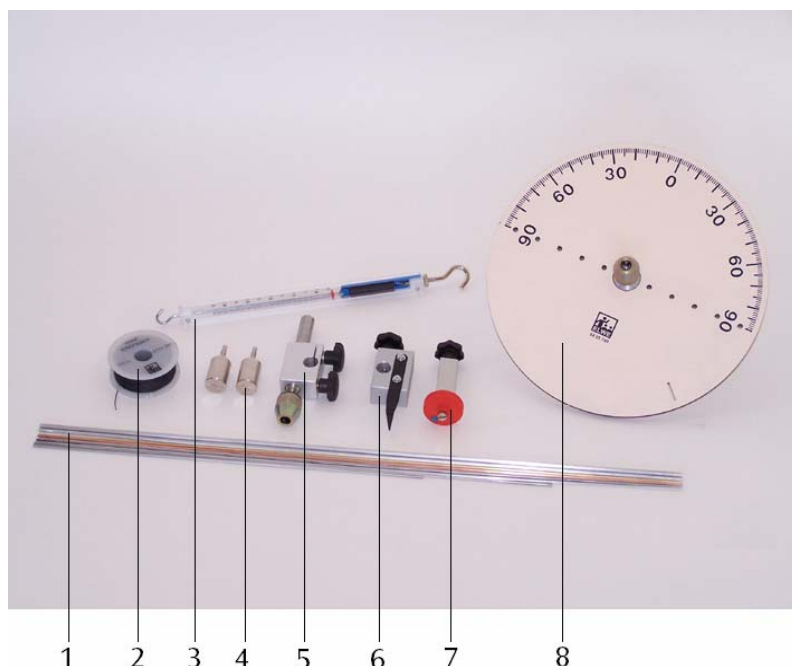


Fig. 2 Montaje experimental para la medición dinámica

Aparelho de torção 8405740

Instruções para o uso

07/06 JS



- 1 Varinhas de torção
- 2 Linha de cânhamo
- 3 Dinamômetro de mola
- 4 Pesos
- 5 Apoio com parafusos estriados
- 6 Indicador
- 7 Rolo de desvio
- 8 Disco

1. Descrição

O aparelho de torção serve para a medição estatística ou dinâmica das propriedades elásticas de varas de metal de diferentes comprimentos e espessuras e das oscilações correspondentes até o limite de elasticidade.

- 1 rolo de desvio, 30 mm Ø, com pino de 4 mm
- 1 Suporte para o rolo de desvio
- 2 pesos, 50 g, com pinos de 4 mm
- 1 linha de cânhamo, 100 m
- 1 Dinamômetro, 5 N

2. Fornecimento

- 1 Aparelho básico de torção consistindo em
 - 1 disco com rolamento e porca de tensão, 1 indicador, 1 apoio com manga de tensão
- 1 vara de torção, aço, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 vara de torção, latão, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 vara de torção, cobre, 500 mm x 2 mm Ø
- 1 vara de torção, al., 300 mm x 2 mm Ø
- 1 vara de torção, al., 400 mm x 2 mm Ø
- 1 vara de torção, al., 500 mm x 2 mm Ø
- 1 vara de torção, al., 500 mm x 3 mm Ø
- 1 vara de torção, al., 500 mm x 4 mm Ø

3. Dados técnicos

Disco

Dimensões: 5 mm x 230 mm Ø
 Massa: 545 g

Apoio com manga de tensão

Comprimento: 120 mm
 Massa: 115 g

Indicador

Dimensões: 20 × 30 × 45 mm³

4. Adicionalmente necessário

Para a montagem:

1 pé em H	8611130
3 varas de apoio, 750 mm, 12 mm Ø	8611340
1 manga quadrangular	8613180
1 vara com gancho	8615110

Para a medição dinâmica:

1 cronômetro	8533135
--------------	---------

5. Exemplos de experiências

5.1 Medição estática na faixa elástica

- Montagem da experiência conforme fig. 1.
- Montar o disco com a sua manga de tensão em frente do apoio na mesma altura. Ao fazê-lo, garantir uma posição horizontal e uma orientação exata da manga de tensão no lado oposto.
- Tender a vara de torção sem girar entre as duas mangas, para tal, ajustar o pé em H no comprimento certo.
- Ajustar o ponto zero da escala angular. Para tal, soltar levemente o parafuso estriado do apoio e virar a vara. Apertar o parafuso estriado novamente.
- Fixar o rolo de desvio na vara de apoio. Prestar atenção para que o rolo de desvio se encontre colocado no mesmo plano vertical que o disco.
- Pendurar o dinamômetro sobre o rolo de desvio com a vara com gancho por meio da manga quadrangular.
- Fixar a linha de cânhamo no disco, passar pela ranhura e por cima do rolo de desvio e fixar o dinamômetro.
- Elevar a força que age no disco, e com isto o momento de rotação, deslocando o rolo de desvio ao longo da vara de apoio a passos de 0,1 N e registrar o ângulo de torção criado.
- Representar graficamente o torque (momento de torção) em função do ângulo de torção .

A montagem experimental proporciona aqui uma ação sempre vertical da força, já que a linha tem um percurso tangencial ao disco. Com isto pode ser calculado o torque agente conforme a simples fórmula

$$M = F \cdot r$$

Deve-se prestar atenção para que a força não seja aumentada demais, para que não seja abandonada a área elástica da deformação (diferente conforme o material). Se o disco retorna ao ponto zero após a descarga, a área de elasticidade não foi ultrapassada.

Na área elástica o momento de torção ativo M é proporcional ao ângulo de torção φ . Esta relação pode ser representada como a seguir:

$$M = D_w \cdot \varphi .$$

O fator de proporcionalidade D_w é a grandeza de referência do ângulo. Esta grandeza física depende das dimensões e do material de que é feito o arame. Ela pode ser calculada a partir da inclinação das retas no diagrama, ou a partir do quociente do momento de torção M e o ângulo de torção φ :

$$D_w = M/\varphi$$

A grandeza de referência angular D_w de um material diminui com o aumento do comprimento do arame e aumenta com o aumento do diâmetro do arame.

5.1.1 Cálculo do limite de elasticidade

- Montar o aparelho como descrito em 5.1.
- Deslocando o rolo de desvio aumentar a força a passos de 0,1 N e registrar o ângulo de torção correspondente.
- A cada passo no aumento da força, controlar o ângulo de 0° como posição de repouso retirando o dinamômetro de mola e descarregando o disco.

Se o disco não retornar até o ângulo de 0° depois ser descarregada e resta uma deformação residual, então significa que o limite de elasticidade foi ultrapassado.

Os ângulos de torção e momentos de torção obtidos dependem do material e da geometria (comprimento e diâmetro do arame estudado).

Se o limite de elasticidade é ultrapassado, então os valores de medição não se encontram mais numa linha reta. Surge uma deformação plástica (permanente) do arame.

5.2 Medição estática na faixa de plasticidade – histerese mecânica

- Montar o aparelho de torção como descrito em 5.1.
- Deslocando o rolo de desvio aumentar a força a passos de 0,1 N e registrar o ângulo de torção correspondente.
- Ao chegar num ângulo de torção de 180°, reduzir novamente a força a passos de 0,1 N.

Mesmo com uma descarga completa ainda há um ângulo de torção, o arame foi deformado plasticamente num valor correspondente.

- Agora, colocar a linha sobre o disco na direção contrária de modo que a ação da força do dinamômetro de mola ocorra na direção oposta.
- Aumentar novamente a força a passos de 0,1 N e registrar o ângulo de torção correspondente.

Para se atingir a marca de 0° (estado inicial) é agora necessária uma contra-força.

- Continuar deformando o arame até um ângulo de torção de -180° .
- Após se atingir esse ângulo de torção, colocar a linha novamente e inverter a direção da força.
- Aumentar a força até atingir o ângulo de torção de 180° .

Com isto, realizou-se uma curva de histerese completa. Os valores característicos dessa curva são o ângulo de torção após a descarga (ou seja sem ação de força alguma, cruzamento com a abcissa) e a força necessária para o retorno à forma original do arame até a posição inicial de 0° (cruzamento com a ordenada).

5.3 Medição dinâmica (Pêndulo de torção)

- Montar o aparelho de torção como descrito em 5.1, porém, sem dinamômetro de mola.
- Desviar o disco do seu ponto de repouso num ângulo de aproximadamente 25° .
- Medir o tempo para 10 balanços de torção completos e calcular assim a duração de oscilação do sistema.
- Realizar a primeira medição com o disco sem massa suplementar. Nas medições seguintes, inserir as duas massas suplementares com os conectores de 4 mm simetricamente ao eixo do disco e repetir a medição. Ao fazê-lo, começar com posição de inserção mais interna e a cada experiência deslocar as massas suplementares de uma posição para fora.
- Protocolar os tempos medidos e a distância entre as massas suplementares e o eixo de rotação.

Para a duração de oscilação T do pêndulo de torção, é válido:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{J}{D}} \quad (1)$$

sendo que J é o momento de inércia do pêndulo e D é a grandeza de referência. O momento de inércia J_{ges} é formado pelo momento de inércia J_K do disco e do momento de inércia J_Z das massas suplementares.

$$J_{ges} = J_K + J_Z \quad (2)$$

Se as massas suplementares forem vistas como pontos de massa, então o momento de inércia calcula-se da seguinte forma:

$$J_Z = 2mr^2 \quad (3)$$

A partir das equações (1), (2) e (3) resulta após elevação ao quadrado:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{(J_K + 2mr^2)}{D} = \frac{4\pi^2}{D} J_K + \frac{8\pi^2 m}{D} r^2 \quad (4)$$

O momento de inércia do disco é primeiramente desconhecido. Na representação gráfica $T^2=f(r^2)$, deve resultar, conforme a equação (4), uma reta que não passa pela origem das coordenadas (e sim pelo momento de inércia do disco).

A passagem da equação (1) para D e a aplicação de (2) resulta em:

$$D = (J_K + J_Z) \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad (5)$$

O J_K do disco é sempre o mesmo, J_Z altera-se em consequência (3) conforme a distância entre as massas suplementares e o eixo de rotação. A partir de 2 valores de medição da duração da oscilação para diferentes J_Z pode-se eliminar J_K de (5) D e calcular conforme a seguinte fórmula:

$$D = \frac{(J_{Z2} - J_{Z1}) \cdot 4\pi^2}{T_2^2 - T_1^2} \quad (6)$$

Por causa da formação da diferença, J_{Z1} e J_{Z2} devem ser muito diferentes um do outro para se manter a margem de erro reduzida. No caso da medição dinâmica, uma observação mesmo errônea traz resultados muito mais precisos do que numa medição estática. Por princípio, a medição dinâmica oferece valores menores para D , já que o atrito manifesta-se na medição estática como uma ampliação da grandeza de referência D .

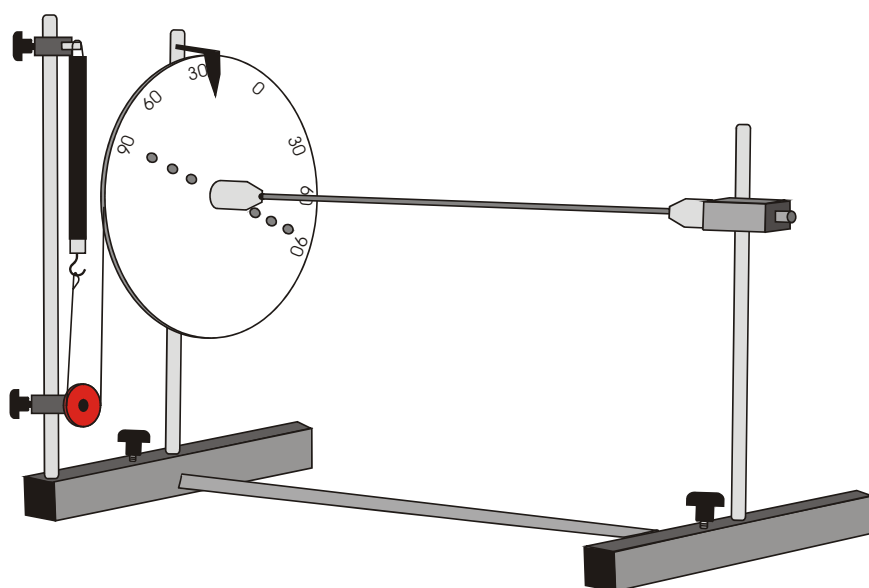


Fig.1 Montagem experimental para a medição estática

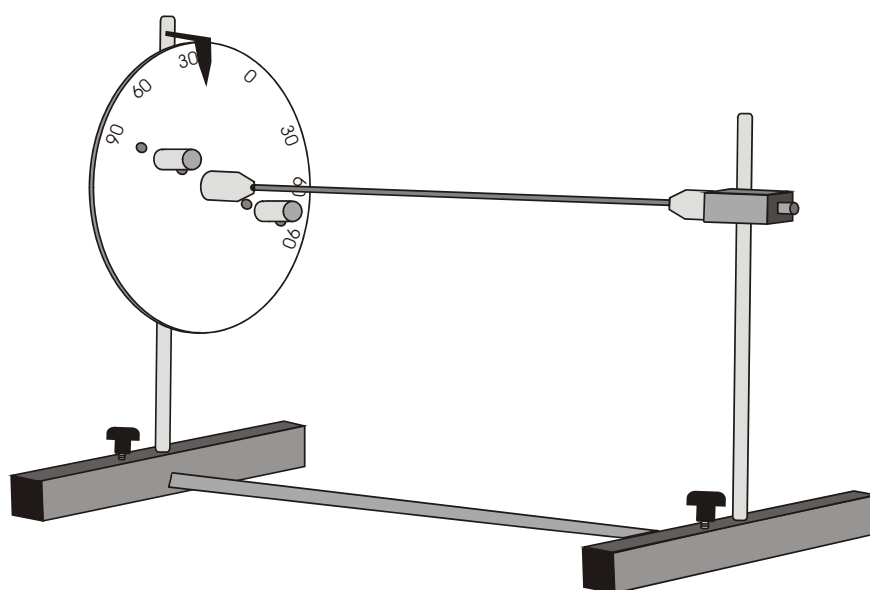


Fig. 2 Montagem experimental para a medição dinâmica