

A TÖRÉSI MUNKA MEGHATÁROZÁSA KÍSÉRLETEKBŐL

KASZAP KÁLMÁN

BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM

[Beérkezett 1963 április 18-án]

Meghatároztuk a C 35 K hengerelt rúdacél törési munkáját csavarókísérletből. Egyszerű közelítő képletet adtunk a csavaró törési munka kiszámítására, amely a gyakorlat számára kielégítő pontosságú. Az említett anyagnak meghatároztuk a kontrakciós munkáját is terület-méréssel és számítással. A két módszerrel meghatározott kontrakciós munka értéke egymással jól egyezik.

I. Bevezetés

Törési munkának nevezzük azt a fajlagos munkamennyiséget, amelyet egy test azon elemére fejtünk ki a törésig, amely elemben a törés megindul.

A törési munka megalapozása és bevezetése terén nagy jelentőségű volt a kontrakciós munkának, mint anyagjellemzőnek a bevezetése és számítási módjának megadása [1]. Ez azt a fajlagos munkamennyiséget jelenti, amely a szakítókísérlet során a próbapálca legkisebb kontrahált keresztmetszetét magábanfoglaló elemi henger térfogatában a törésig felhalmozódik.

További lépés volt a törési munka kiszámítása csavarókísérletből [2]. Eszerint a csavaró törési munka a próbapálca felszínén kijelölt elemi rész alakváltozására fordított fajlagos munka.

Az irodalomban közöltek alapján kísérleteket végeztünk hengeres, tömör próbapálcák csavaró munkájának és kontrakciós munkájának meghatározására. Kísérleteink célja az volt, hogy konkrét mérési adatokat szolgáltatassunk a törési munka kérdéséhez.

II. A próbapálcák adatai

Mind a húzó-, mind a csavarókísérletekhez alkalmazott próbapálcák anyaga, mérete, megmunkálása azonos volt. Anyaga C 35 K jelű hengerelt nemesített rúdacél. A hőkezelés adatai:

Edzés: a rúdacélt 850 C°-on 30 percig hőn tartottuk, utána vízben hűtöttük;

megeesztés: az acélt 600 C°-ra felhevítve 2 órán át hőn tartottuk, utána olajban hűtöttük.

A próbapálcák átmérője 10 mm, mérőhossza 100 mm. A fej- és nyak-kiképzés, valamint a megmunkálás az MSZ 105 előírása alapján készült.

III. A csavaró törési munka meghatározása

Kör keresztmetszetű tömör próbatesten a törés a felületen indul meg. A törési munka

$$A = \int_0^{\varphi_t} \tau d\gamma, \quad (1)$$

ahol

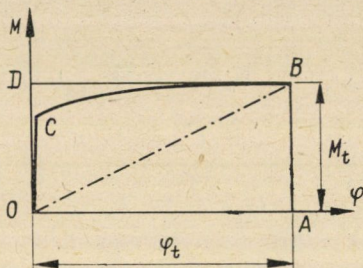
$d\gamma = r d\vartheta$, és

$\vartheta = \varphi/l$;

l a próbapálcán kijelölt mérőhossz;

φ az l távolságban levő keresztmetszetek egymáshoz viszonyított elfordulása;

r a keresztmetszet sugara.



1. ábra

A csúsztató feszültség a próbapálcá felszínén NÁDAI [3] szerint:

$$\tau = \frac{1}{2\pi r^3} \left(\vartheta \frac{dM}{d\vartheta} + 3M \right), \quad (2)$$

ahol M a csavarónyomaték. A τ e kifejezését behelyettesítve az (1) egyenletbe, a [2] szerint:

$$A = \frac{1}{V} \left(\frac{1}{2} \varphi_t M_t + \int_0^{\varphi_t} M d\varphi \right), \quad (3)$$

ahol

φ_t a töréshez tartozó elcsavarodási szög;

M_t a töréshez tartozó csavarónyomaték;

V a próbapálcá l hosszúságú szakaszának térfogata.

Vezessük be a következő jelöléseket (1. ábra):

$T_1 = 1/2 \varphi_t M_t$ az OABO terület;

$T_2 = \int_0^{\varphi_t} M d\varphi$ az OABCO terület;

$T = \varphi_t M_t$ az OABDO terület;

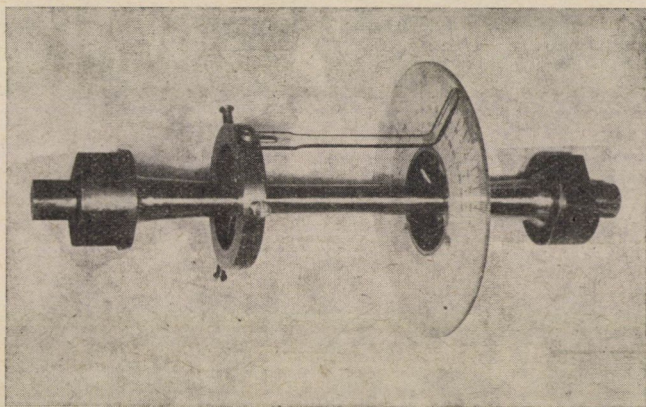
$\alpha = (T_1 + T_2)/T$.

(4)

Ezekkel a jelölésekkel [2] szerint:

$$A = \alpha \frac{\varphi_t M_t}{V}. \quad (5)$$

A csavaró törési munka meghatározásához tehát szükség van a próbapálca l hosszúságára vonatkoztatott $M - \varphi$ diagramra. Az $M - \varphi$ diagramot



2. ábra

fekvő elrendezésű Amsler 150 mkp-os csavarógépen vettük fel. A φ szöget relatív elfordulási szögmérővel mértük (2. ábra). A diagramot planimetráltuk, és a területek ismeretében a törési munkát az (5) képletből számítottuk ki. A kapott eredmények a II. táblázat „planimetrált” jelzésű oszlopában láthatók. A 14 jelzésű próbapálca nyakban tört, nem értékelhető. Tíz próbapálca planimetrálással meghatározott csavaró törési munkájának számtani közepe

$$A = 57,67 \text{ mkp/cm}^3.$$

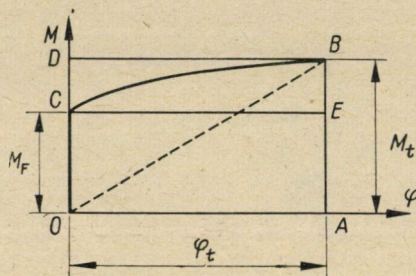
IV. A csavaró törési munka közelítő számítása

A rugalmas alakváltozás munkája a törési munkához viszonyítva elhanyagolható, ezért a 3. ábrában a C pontot az M tengelyre rajzoltuk. Elemezzük tovább a csavaró törési munka (3) kifejezését, és vezessük be a következő jelöléseket:

$$\begin{aligned} T_3 &= \text{CEBC terület;} \\ T_4 &= \text{CEBDC téglalap területe.} \end{aligned}$$

$T_3 = kT_4$, ahol k azt mutatja, hogy a CEBC terület milyen mértékig tölti ki az őt befoglaló CEBC téglalapot. Ezek figyelembevételével a csavaró törési munka kifejezése a következő:

$$A = \frac{1}{V} \left[\frac{1}{2} \varphi_t M_t + \varphi_t M_F + k \varphi_t (M_t - M_F) \right], \quad (6)$$



3. ábra

amelyben M_F a folyás kezdetéhez tartozó csavarónyomaték. Az általunk vizsgált C 35 K nemesített acélra a területek hányadosából nyert α és k értékeket az I. táblázat mutatja. Tíz mérésből nyert k számtani közepe 0,76.

A k értékét megbecsülve, a (6) kifejezés segítségével egyszerű képlethez jutunk. Ha a CB vonal egyenes, a T_3 terület háromszöggé fajul, akkor $k = 0,5$. Ha a T_3 teljesen kitöltene a T_4 -et, akkor $k = 1$ lenne. Az acéloknál egyik eset sem fordul elő, hanem k egy közbenső érték. Vegyük fel 0,5 és 1 közéértékét, $k = 0,75$ -öt, ami a kísérleti értékeknek is megfelel. Ezt megtehetjük, mert — mint a hibabecsléskor látni fogjuk — k -nak ettől való eltérése csak kis hibát okoz. Ennek figyelembevételével a (6) képlet így alakul:

$$A_k = \frac{\varphi_t}{4V} (5M_t + M_F). \quad (7)$$

A (7) közelítő képlet ott alkalmazható előnyösen, ahol M_F könnyen meghatározható, és nincs vízszintes folyási szakasz az $M - \varphi$ diagramban.

Becsüljük meg a (7) közelítő képlettel elkövethető hiba nagyságát. Tegyük fel, hogy $M_F = 0,5 M_t$, ami kedvezőtlen eset. Különböző acélféleségek

I. táblázat

A próba- pálya jele	M_t [mkp]	M_p [mkp]	α	k
2	14,94	9,00	1,42	0,80
4	13,95	8,70	1,40	0,72
6	14,40	10,00	1,41	0,70
8	14,88	9,70	1,42	0,76
10	13,80	8,40	1,41	0,76
12	14,10	8,90	1,42	0,78
16	14,25	9,10	1,43	0,81
18	14,31	9,00	1,41	0,76
20	14,16	9,00	1,40	0,73
22	14,10	9,00	1,42	0,79

csavaródiagramjai alapján $k_1 = 2/3$ kicsinynek, $k_2 = 5/6$ pedig nagynak tekinthető. A k_1 -hez tartozó csavaró törési munkát jelöljük A_1 -gyel.

Ha k_1 helyett k értékével számolunk, azaz a (7) közelítő képlettel, az elkövetett relatív hiba:

$$h_1 = \frac{A_k - A_1}{A_1} \cdot 100 = 3,13\%,$$

ha pedig k_2 helyett számolunk k -val, akkor

$$h_2 = -2,95\%.$$

A II. táblázatban látjuk a csavaró törési munka közelítő képletből számított értékeit, összehasonlítva az $M - \varphi$ diagramból planimetrálással nyert értékeivel.

Láthatjuk, hogy az eltérések nem haladják meg a mérési eredmények szórását. Tíz számított érték számtani közepe:

$$A_{sz} = 57,45 \text{ mkp/cm}^3.$$

II. táblázat

A próbapálca jele	A [mkp/cm ²]		Eltérés [%]
	planimetrált értéke	számított értéke	
2	57,1	56,3	-1,40
4	58,2	58,5	0,52
6	55,4	56,2	1,44
8	54,1	53,8	-0,55
10	57,1	56,9	-0,35
12	59,4	58,9	-0,84
16	60,7	59,7	-1,65
18	58,0	57,8	-0,34
20	60,4	60,8	0,66
22	56,3	55,6	-1,24

V. A kontrakciós munka meghatározása

A kontrakciós munkát az [1]-ben foglaltak szerint két módszerrel határoztuk meg:

szakítókísérletből diagram planimetrálása útján;

a szakítókísérletből meghatározott anyagjellemzők alapján számítással.

1. A szakítókísérlet értékelése területméréssel

A kontrakciós munka:

$$A_c = \int_0^{\delta_t} \sigma d\delta, \quad (8)$$

ahol

$\delta = (d_0^2 - d^2)/d^2$ az effektív nyúlás;

d_0 a próbapálca átmérője terheletlen állapotban;

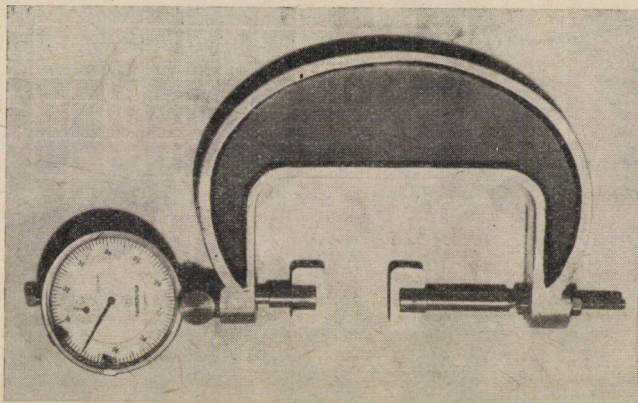
d a próbapálca legkisebb átmérője terhelés közben;

σ a látszólagos feszültség.

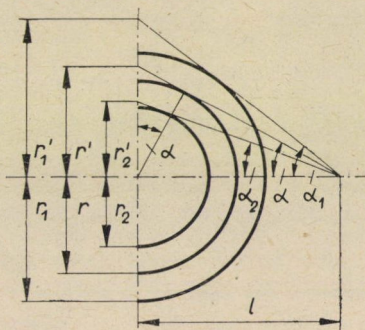
A kontrakciós munka meghatározásához tehát a $\sigma - \delta$ diagramot kell felvenni és azt planimetrálni. Minthogy a kontrakció helye előre ismeretlen, a próbapálca átmérőjének változását az egész mérőhosszon mértük. A terhelés előtt és szakadás után a keresztmetszetek átmérőjét kengyelbe szerelt mérőórával mértük (4. ábra). Terhelés közben az átmérők változását fényképeztük. A fényképezőgép nem közvetlenül az átmérőt fényképezi, hanem a keresztmetszet húrját (5. ábra). A keresztmetszet sugara $r = r' \cos \alpha$. Az értékelés úgy történik, hogy a filmről a képet nagyítógéppel kivetítjük és azon mérjük

az átmérőt. A fényképezésből és a vetítésből adódó nagyítás n . Legyen R egy közbenső terheléshez tartozó kivetített kép sugara. A próbapálca keresztmetszetének sugara ezzel $r = R/n$. A nagyítást az összetartozó értékekből határozzuk meg. Legyen ez a terheletlen állapothoz tartozó érték:

$$n = \frac{R_1}{r_1} = \frac{R_1}{r'_1 \cos \alpha_1},$$



4. ábra



5. ábra

ahol α_1 , r_1 , r'_1 értelmezése az 5. ábrán látható. R_1 a terheletlen állapothoz tartozó kivetített kép sugara. A nagyítás tehát függ az α -tól. A képek értékelésénél az $\alpha = \alpha_1 =$ állandó egyszerűsítést tettük.

Számítsuk ki az így elkövetett hibát. Vegyük fel, hogy az átmérő a terhelés során felére csökken. Az általunk vizsgált acél kontrakciója kisebb mértékű volt. A lencse és a próbapálca távolsága 640 mm. Legnagyobb a hiba $\alpha = \alpha_2$ esetén:

$$h = \frac{\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1}{\cos \alpha_2} 100\% .$$

A számítások elvégzése után kapjuk, hogy:

$$h = 2,29 \cdot 10^{-3}\% ,$$

tehát a fényképezés kiértékelése során elkövetett hiba jelentéktelen.

Az így meghatározott kontrakciós munka értékeit a III. táblázat A_c jelű oszlopa mutatja. A II jelzésű próbapálcá nyakban tört, nem értékelhető. Tíz jól értékelhető mérésből meghatározott kontrakciós munka számtani közepe:

$$A = 106,00 \text{ mkp/cm}^3 .$$

2. A szakítókérsélet értékelése számítással

Az [1]-ben levezetett képlet szerint a kontrakciós munka:

$$A_{sz} = \frac{\delta_e}{3} (\sigma_F + 2\sigma_B) + 4,6 \sigma_B \lg \frac{1 + \delta_t}{1 + \delta_e} + \sigma_B (1 + \delta_e)^2 \left[\frac{1}{1 + \delta_t} - \frac{1}{1 + \delta_e} \right], \quad (9)$$

ahol

σ_F a folyáshatár,
 σ_B a szakítószilárdság,
 δ_e az egyenletes fajlagos nyúlás,
 δ_t a töréshez tartozó fajlagos nyúlás.

A kapott eredményeket a III. táblázat A_{sz} -el jelzett oszlopa mutatja.

III. táblázat

A próbapálcá jele	A_c [mkp/cm ³]	A_{sz} [mkp/cm ³]
3	103,0	96,4
5	101,5	103,2
7	103,9	101,0
9	114,0	107,5
13	105,6	98,6
15	108,0	102,7
17	107,2	103,3
19	108,3	103,0
21	102,5	98,0
23	106,0	100,3

Tíz próbapálca számítással meghatározott kontrakciós munkájának számtani közepe:

$$A_{sz} = 101,40 \text{ mkp/cm}^3 .$$

IRODALOM

1. GILLEMOT, L. und SINAY, G.: Die Brucharbeit als Werkstoffkenngröße. *Acta Techn. Hung.* **22** (1958), 149—172.
2. REUSS, E.: Berechnung der Brucharbeit aus dem Torsionsversuch am zylindrischen Probekörper. *Acta Techn. Hung.* **39** (1962), 259—263.
3. NÁDAI, A.: Plasticity. McGraw—Hill, New York—London 1931; 126—128.