

# AZ ÁTMENETI ZÓNA KRITIKUS FÁRADÁSI FELÜLETE

PLATTHY PÁL\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

Fémszerkezetek elemeinél a fáradt repedés terjedési sebességének empirikus képletéből levezethető a Wöhler-görbe egyenlete. Az így kapott egyenlet a Pellini-féle diagramok és egy idealizált modell segítségével alacsony hőmérsékletek mellett, tehát az átmeneti zónában is alkalmazható, ahol a kritikus értékek egy felületet képeznek. Az átmeneti zóna kritikus fáradási felülete lehetővé teszi a lineáris károsodási elmélettel felállított törési kritériumnál az alacsony hőmérsékletek hatásának figyelembevételét

Két évtizede ismert, hogy a hibákat (feszültségkoncentrációs helyeket) tartalmazó vas-, illetve alumínium-ötvözetű elemekben a lüktetőfárasztás hatására kialakuló repedés terjedési sebessége és a lineáris törésmechanika alapján számítható pillanatnyi  $\bar{K}_{\max}$  legnagyobb feszültségintenzitási tényező között egy empirikus úton jól megállapítható, viszonylag egyszerű kapcsolat van [1]. Ha a mindenkori hibára (repedésre) jellemző méretet  $a$ -val, az igénybevételek ismétlődésének számát  $N$ -el jelöljük, akkor kettős logaritmikus rendszerben a  $da/dN$  repedésterjedési sebesség a  $\bar{K}_{\max}$  függvényében az 1. ábra szerint változik, ahol a  $K_{th}$  a kifáradási küszöböt, a  $\bar{K}_c$  pedig azt a törést előidéző  $\bar{K}_{\max}$ -ot jelenti, amelynél a hibaméret a fárasztáskor használt  $\sigma_{\max}$  legnagyobb névleges feszültség mellett éppen az  $a_c$  kritikus értékkel egyenlő. Mivel a  $K_{th}$  lényegében a lüktetőszilárdságot, illetve előírt túlélési valószínűség és szívós állapot esetén az elem  $F_I$  fáradási fokozatát definiálja, egy adott anyagú, kialakítású és  $a_0$  kezdeti hibát tartalmazó elemnél egy adott hőmérsékleten mindig állandó. A  $\bar{K}_c$  viszont, ami tulajdonképpen az anyag szívós vagy átmeneti állapotában csupán fizikai tartalmat nélkülöző számítási segédmennyiség, értelmezéséből következően mindig a  $\sigma_{\max}$ -nak is függvénye.

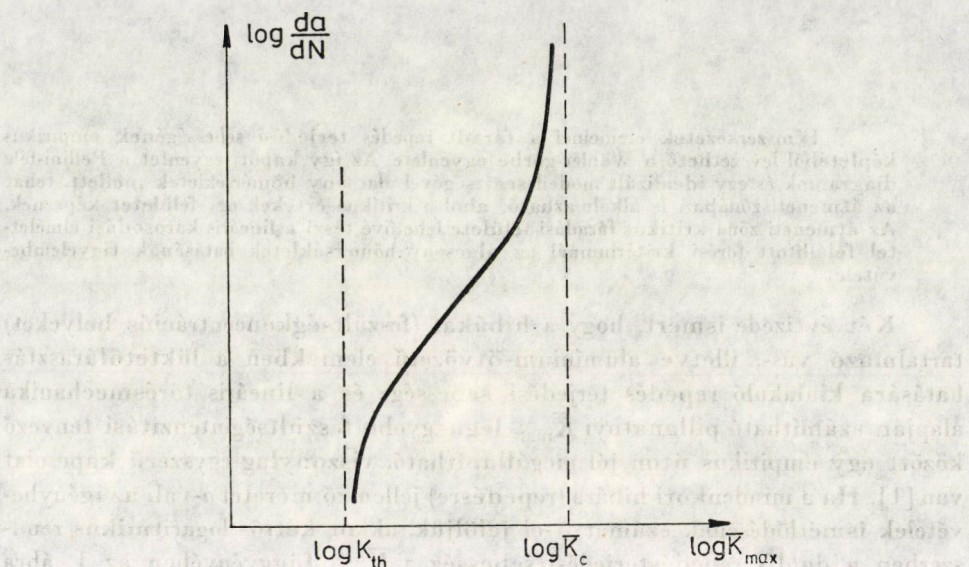
Az említett mennyiségek közül — ha az anyag szívós állapotban van — a  $K_{th}$  a kísérleti eredményeken alapuló  $F_I$  fáradási fokozatokból és a hozzájuk tartozó  $a_0$  kezdeti hibaméretekből kiszámítható. Ilyenkor a  $\bar{K}_c$  az alábbi gondolatmenettel ugyancsak megállapítható.

Szívós állapotban a törés a

$$\sigma_{\text{eff}} = \sigma_B \quad (1)$$

\* Dr. Platthy Pál, 1114 Budapest, Kanizsai u. 37.

feltétel kielégülésekor következik be, ahol  $\sigma_{\text{eff}}$  a tényleges (a hasznos keresztmetszetre vonatkoztatott) átlagfeszültség, míg  $\sigma_B$  a szakítószilárdság. Figyelembe véve, hogy a  $\sigma_{\text{eff}}$  tulajdonképpen a  $\sigma_{\text{max}}$ -nak és annak a  $\Delta\sigma$  többletfeszültségnek az összegével egyenlő, amely a kezdeti  $a_0$  hibaméret  $\Delta a$  nagyságú megnövekedése miatt a maradék hasznos keresztmetszetre szükségszerűen áthárul, az (1) jelű egyenlőségből a  $\Delta a$  kritikus értéke, illetve az  $a_c$  kritikus



1. ábra. A repedésterjedési sebesség és a legnagyobb feszültségintenzitási tényező kapcsolata lüktetőfárasztás esetében

repedésméret és a  $\bar{K}_c$  az ismert adatokkal kifejezhető. Ez utóbbi kifejezések a műszaki gyakorlat számára vagy egy  $a_0$ -tól függő, vagy egy átlagos keresztmetszet feltételezésével általánosíthatók, ami analóg a nyomott rudak kezdeti külpontosságának felvételénél alkalmazott fogással.

A  $K_{th}$  és a  $\bar{K}_c$  értékét ismerve az 1. ábra szerinti empirikus görbe a matematikai kezelhetőséget szem előtt tartva egy közelítő függvénnyel megadható, aminek segítségével az egyes  $\sigma_{\text{max}}$ -okhoz a törést kiváltó  $N_c$  kritikus ismétlési szám, vagyis a lüktetőfárasztásnak kitett elem várható tartamszilárdsága számítható:

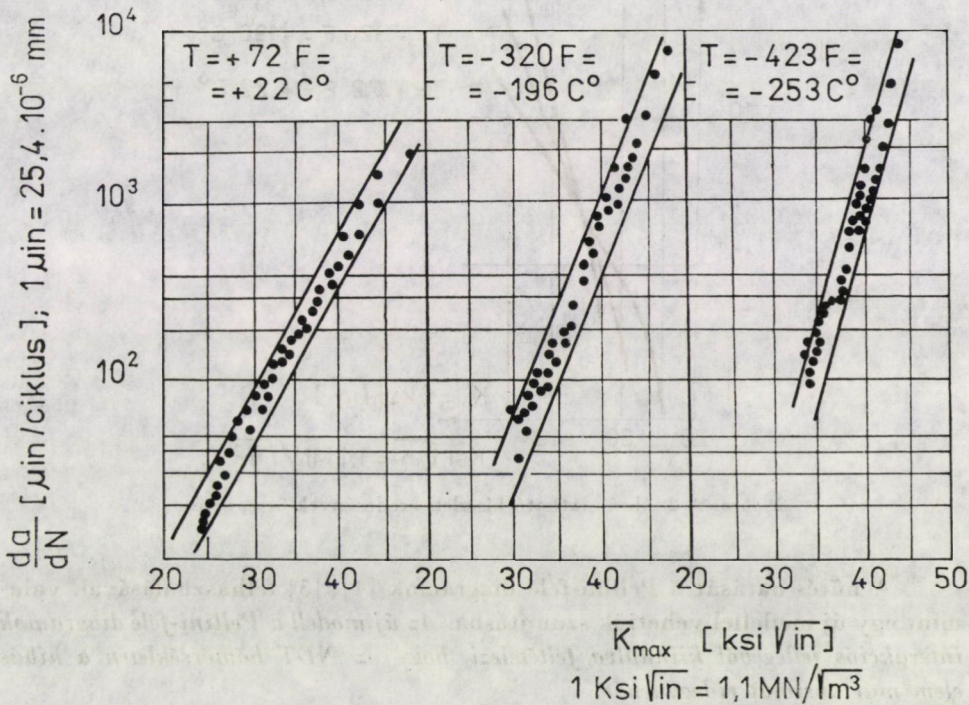
$$N_c = \int_{a_0}^{a_c} \frac{dN}{da} da. \quad (2)$$

Mivel az utóbbi évek kutatásai kimutatták, hogy a gyakorlatilag érdekes tartományban a fáradási szilárdság jó közelítéssel a lüktetőszilárdság és a  $\sigma_{\text{min}}$  legkisebb névleges feszültség algebrai összegével egyenlő [2], a (2) jelű



képlet nemcsak lüktetőfárasztáskor, de más esetekben is érvényes, csak a fáradási fokozatot kell megfelelően redukálni.

Az  $N_c$  tartamszilárdságok ismerete természetesen azonos az elem Wöhler-görbéjének ismeretével. Az a tény azonban, hogy a Wöhler-görbét törésmechanikai jellemzőkkel írtuk le, lehetőséget nyújt a kevésbé szívós állapotban levő, tehát az alacsonyabb hőmérsékleten üzemelő elem fáradási törvényszerűségeinek számításbavételére is.



2. ábra. HALL és BIXLER hidegfárasztási kísérleteinek eredményei CAMPBELL ismertetése alapján [5]

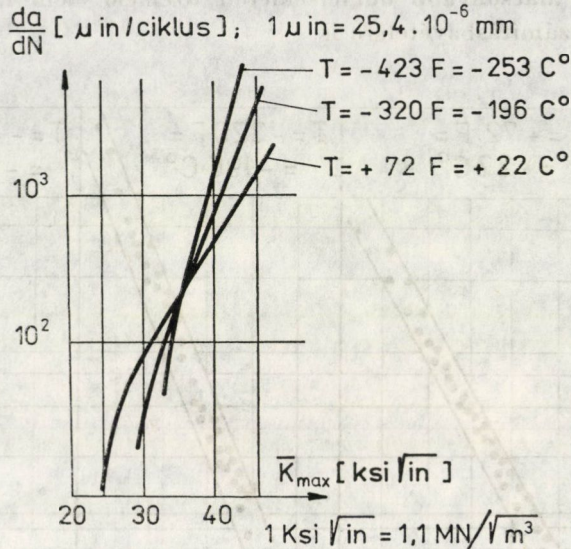
Alacsonyabb hőmérsékleteken az anyag ridegebbé válik, és növekszik a  $\sigma_F$  folyáshatár és a  $\sigma_B$  szakítószilárdság. A folyáshatárral nagyjából arányosan növekszik a  $K_{th}$  is, míg a hibákat tartalmazó elemek — annak ellenére, hogy anyaguk szilárdsága nő — a repedési hajlam erősödése miatt egy  $\sigma_c < \sigma_B$  névleges kritikus feszültségnél már törnek. Ilyenkor tehát a  $\bar{K}_c$  számításakor az (1) jelű egyenlet helyett a

$$\sigma_{eff} = \sigma_c \tag{3}$$

egyenletet lehet elfogadni, ami egyben arra is utal, hogy a hőmérséklet-süllyedés a  $\bar{K}_c$  értékét csökkenti. A  $K_{th}$  növekedése és a  $\bar{K}_c$  csökkenése az 1. ábrán bemutatott görbe mozgásával (kisimulásával) jár. Ez látható a 2. és



a 3. ábrán ahol HALL és BIXLER [3] amerikai 2219-T87 jelű alumíniumötvözetrel végzett kísérleti eredményeit tüntették fel. Logikailag is helytálló a mozgás tendenciája, mert a repedéssel bíró abszolút rideg elemnél az 1. ábrán látható görbének egy függőlegessé, a Wöhler-görbének egy vízszintessé kell elfajulnia.



3. ábra. A 2. ábrán látható kísérleti eredmények összevetése

A hűtés hatását a Pellini-féle diagramok [4] [5] felhasználásával, valamint egy új modellel vehetjük számításba. Az új modell a Pellini-féle diagramok interakciós jellegéből kiindulva feltételezi, hogy az *NDT* hőmérsékleten a hibás elem már abszolút rideg, tehát

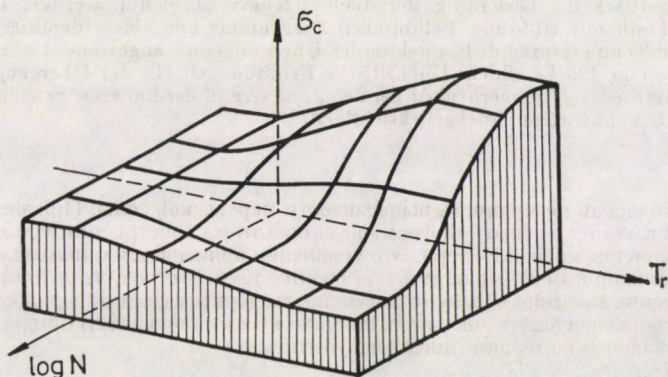
$$K_{th}(NDT) = \bar{K}_c(NDT). \quad (4)$$

Ez a szélsőséges állapot természetesen kísérletileg teljes mértékben nem igazolható, hiszen az anyag még az *NDT* alatt is mutat csekély képlékenységet. A (4) jelű feltételezés hasonló a képlékenységtanban használt plasztikus csukló fikciójához, ami szigorúan véve ugyancsak irrealitás, de a számítási modellekbe beépítve mégis hasznos és helyes eredményekre vezet, mert úgy egyszerűsít, hogy ugyanakkor jól tükrözi a jelenség domináns tendenciáját és biztosítja annak érvényrejtését.

A fentiek alapján a (3) jelű egyenletben szereplő  $\sigma_c$ -t a Pellini-féle diagramok  $\sigma_c(T_r)$  értékeivel helyettesíthetjük, ahol  $T_r$  az *NDT*-hez viszonyított relatív hőmérséklet, ami az anyag állapotára jellemző. Így a  $\bar{K}_c(T_r)$  értékek megállapíthatók, és ha ehhez még hozzávesszük, hogy a kifáradási küszöb a folyás-



határral arányosan változik, a  $K_{th}(T_r)$  értékek is rendelkezésre állnak, tehát lehetővé válik a (2) jelű egyenlet figyelembevételével a  $T_r$  relatív hőmérséklet-hez tartozó  $N_c(T_r)$  tartamszilárdságok számítása is. A különböző  $\sigma_{max} - T_r$  értékpárokhoz rendelt  $N_c(T_r)$  tartamszilárdságok az  $F_i$  fáradási fokozatba sorolt elemre vonatkozóan egy olyan törési határfelületet adnak, ami tartalmazza a speciális eseteknek tekinthető statikus szilárdságokat is (4. ábra). Ezt a felületet az átmeneti zóna kritikus fáradási felületének nevezhetjük.



4. ábra. Az átmeneti zóna kritikus fáradási felülete

Az átmeneti zóna kritikus fáradási felületének figyelembevételével a lineáris károsodási elméletből levezethető törési kritérium a

$$\sum_i \sum N_i \frac{Z_i(T_{rj})}{N_{ci}(T_{rj})} = 1 \quad (5)$$

alakot ölti. Az (5) jelű képletben  $N_i$  a  $P_i$  teher előfordulását,  $Z_i(T_{rj})$  a  $NDT$ -hez viszonyított relatív hőmérséklet előfordulási hányadát,  $N_{ci}(T_{rj})$  pedig a  $P_i$  tehernek a  $T_{rj}$  relatív hőmérséklethez tartozó kritikus ismétlési számát jelenti.

#### IRODALOM

1. PLATTHY, P.: A rideg és a fáradt törés kapcsolata, valamint a fásasztó üzemi teher. *Mély-építéstudományi Szemle* 25 (1975), 556–560
2. HALÁSZ, O.—CSELLÁR, Ö.—SZÉPE, F.: Méretezés fáradásra. Kutatási jelentés a MÁV részére. Kézirat, Budapest 1974
3. PELLINI, S. W.: Principles of Fracture-Safe Design — Part I. *Welding Journal (Supplement)* 50 (1971), 91–110
4. PLATTHY, P.: Acélszerkezetek rideg törése. BME Acélszerkezetek tanszék kiadványa, Budapest 1973
5. CAMPBELL, J. E.: Fracture Toughness of High-Strength Alloys at Low Temperature. *ASTM Special Technical Publication* 556 (1974), 3–20

**Critical fatigue surface of the transient zone.** In the case of metal structures the equation of the Wöhler curve can be derived from the empirical formula of the propagation speed of fatigue cracks. The equation thus obtained may be used, by means of the Pellini diagrams and an idealized model, under low temperature conditions as well, that is, in the transient zone where the critical values create a surface. This critical fatigue surface of the transient zone enables the consideration of the effect of low temperatures for the fracture criterion set by the linear damage theory.

**Die kritische Ermüdungsfläche der Übergangszone.** Bei den Elementen von Metallkonstruktionen kann aus der empirischen Formel der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Ermüdungsrissees die Gleichung der Wöhler-Kurve abgeleitet werden. Die so ermittelte Gleichung kann mit Hilfe der Pellinischen Diagramme und eines idealisierten Modells auch bei niederen Temperaturen d. h. auch in der Übergangszone angewendet werden, wo die kritischen Werte eine Fläche bilden. Die kritische Ermüdungsfläche der Übergangszone ermöglicht die Wirkung niederer Temperaturen bei dem, auf Grund der linearen Schädigungstheorie aufgestellten, Bruchkriterium zu berücksichtigen.

**Критическая поверхность выносливости переходной зоны.** При элементах металлических конструкций из опытной формулы скорости распространения усталой трещины выводится уравнение кривой Вёлера. Это уравнение применяется с помощью диаграмм Пеллини и идеализированной модели и при низких температурах, т. е. и в переходной зоне, где критические значения образуют поверхность. Критическая поверхность выносливости переходной зоны допускает учитывать влияние низких температур при разрушающей критерии, основанной на теории линейного убытка.