



WC-Co szerszám indentációs törési szívósságának meghatározása

Determination of indentation fracture toughness of WC-Co tool

¹Réger Mihály, ²Gáti József, ³Nagyné Halász Erzsébet, ⁴Horváth Richárd, ⁵Pinke Péter

¹Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország, reger.mihaly@uni-obuda.hu

²Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország, gati.jozsef@uni-obuda.hu

³Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország, halasz.erszabet@bgk.uni-obuda.hu

⁴Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország, horvath.richard@uni-obuda.hu

⁵Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország, pinke.peter@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

A Vickers keménységméréssel meghatározott indentációs törési szívósság értéke erősen függ a vizsgált minta belső feszültségi állapotától. Ennek következtében az indentációs törési szívósság a legtöbb gyakorlati esetben a terhelőerőnek is függvénye, a terhelés növekedésével az indentációs törési szívósság értéke csökken. Az összes terhelési szint együttes értékelésével (Palmquist módszer) az indentációs törési szívósság megbízhatóan meghatározható.

Kulcs szavak: indentációs törési szívósság, WC-Co ötvözet, Palmquist szívósság

Abstract

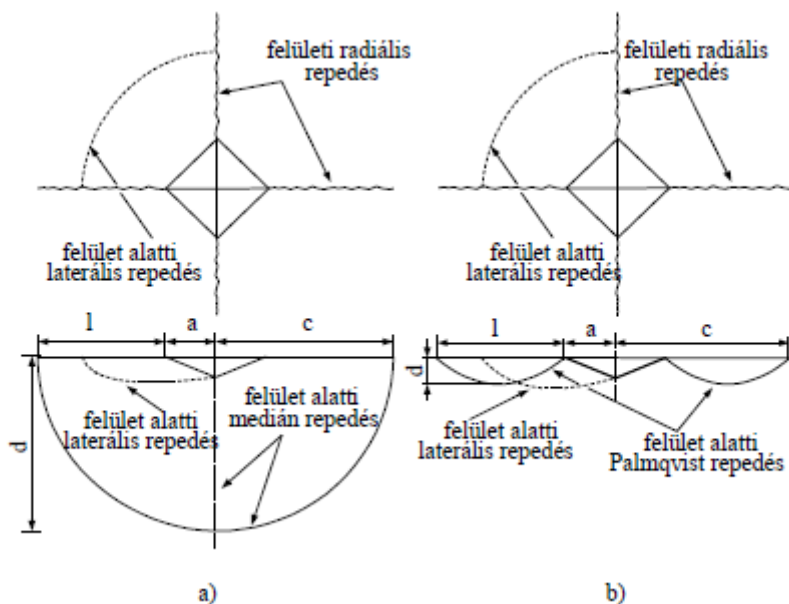
The value of the indentation fracture toughness determined by Vickers hardness measurement strongly depends on the remaining stress state of the tested specimen. As a result, the indentation fracture toughness depends on the load force in most practical cases, and the value of the indentation fracture toughness decreases with increasing load. By evaluating all load levels together (Palmquist method), the indentation fracture toughness can be reliably determined.

Keywords: indentation fracture toughness, cermets, Palmquist toughness

1 Az indentációs törési szívósság meghatározásának alapjai

A nagy szilárdságú és keménységű anyagok repedésállóságának egyik legfontosabb és mérőszáma a törési szívósság. Rideg anyagok esetében a törési szívósság meghatározásának egy lehetséges módja a Vickers lenyomat környékén kialakuló repedések értékelésén alapszik. A témakörrel foglalkozó első kutató Sven Robert Palmqvist volt, aki 1957-ben keményfémek viselkedését tanulmányozta a Vickers keménységmérés közben [1, 2]. Azt tapasztalta, hogy az éles indenter az alakváltozásra lényegében képtelen anyagban repedéseket hoz létre, melyek mérete összefüggésbe hozható a törési szívóssággal. Ezt a megközelítést a tudós társadalom csak mintegy húsz évvel később, Lawn és szerzőtársai munkásságának [3] eredményeként kezdte elfogadni és alkalmazni. Az ezt követő mintegy 25 évben igen sok tapasztalati és elméleti eredmény született, melyeket Ponton átfogó tanulmányai [4, 5] részletesen ismertetnek és elemeznek.

A nagy keménységű, éles indentációs szerszámmal végzett keménységmérés során (ilyen a Vickers eljárás is) az indentáció folyamán a rideg vizsgálati anyagban repedések keletkezhetnek. A repedések alapvetően két csoportba sorolhatók, amelyek értelmezéséhez tekintsük az 1. ábrát.



1. ábra Az indentációs repedés környezetében kialakuló repedési típusok

Az 1.a) ábra az ún. félkörlap jellegű, vagy radiális-medián helyzetű repedés megjelenési formáját mutatja, melyre az angolszász szakirodalomban gyakran „félpenny” alakú repedésként hivatkoznak. Jellemzője, hogy a repedés körlaphoz hasonló alakú, a Vickers lenyomat átlói vonalában a felületre merőlegesek, és a lenyomat alatti anyagrétegben egy összefüggő repedési felületet hoz létre. Az 1.b) ábrán bemutatott repedéstípus az ún. radiális-Palmqvist elnevezésű helyzetben van. Ebben az esetben a repedések a lenyomatok csúcsából indulnak ki, körülbelül az átló meghosszabbított irányába, és az egyedi repedések nem kapcsolódnak egymáshoz.

Az indentációs törési szívósság vizsgálatánál meg kell határozni, hogy melyik repedési rendszer működik, mivel a törési szívósság meghatározásának módja is függ a repedéstípus jellegétől. A szívósabb anyagokban általában a Palmqvist helyzetű repedések fejlődnek, a rideg kerámia anyagokra pedig a félkörlap (medián) alakú repedéskép jellemző. A kialakult repedés jellege a terhelőerő és az állapothatározók függvényében is változhat. Két módszer alkalmazása terjedt el annak eldöntésére, hogy melyik repedéstípus működik, illetve működött az indentáció során. Az egyik módszer azon alapszik, hogy a tapasztalatok szerint a Palmqvist és a medián helyzetű repedések esetében szignifikánsan különbözik a lenyomat és a repedés méretét jellemző c/a arány (lásd. 1. ábra jelölései, c - a repedés hossza a lenyomat középpontjától a repedés végéig, a - a lenyomat átlójának fele). A kutatók zömében egyetértenek abban, hogy ha a c/a viszonyszám kisebb, mint 2.5, akkor Palmqvist, ha nagyobb, akkor medián helyzetű repedés jött létre. A másik eljárás a minta felületének ismételt polírozását igényli az indentációs vizsgálatot követően. Ennek eredményeként egy vékony anyagréteg eltávolításra kerül a felületről, és ha Palmqvist típusú a repedés, akkor repedés elválik a lenyomat végétől, mivel a lenyomat alatt nem folytatódik a repedés. Keményfém szerszámanyagok esetében a Palmqvist jellegű repedésképződés dominál.

2 Az indentációs törési szívósság becslésének módszerei

2.1 A törési szívósság meghatározása egy adott terhelési szinten

Az indentáció eredményeként kialakuló repedéskép, illetve repedésméret alapján az indentációs törési szívósság meghatározása elméleti és tapasztalati modellek alkalmazásával lehetséges. A szakirodalomban számos ilyen eljárás fellelhető, Ponton a már említett tanulmányában 15 radiális-medián és 4 radiális-Palmquist repedéskép esetén alkalmazható számítási eljárást elemez. A témakörrel foglalkozó szakirodalmak értékelése alapján a WC-Co keményfémek Palmquist repedésképehez tartozó indentációs törési szívósságának meghatározása az 1. táblázatban bemutatott eljárásokkal történhet.

1. táblázat Az indentációs törési szívósság meghatározásának módszerei

Számítási módszer	Kód	Hivatkozás
Niihara, Morena, and Hasselman egyenlet $K_C = 0.0089(E / H_v)^{2/5} P / (al^{1/2})$	NMH2	[6]
Shetty, Wright, Mincer, Clauer egyenlet $K_C = 0.0319P / (al^{1/2})$	SWMC	[7]
Niihara egyenlet $K_C = 0.0264HV \cdot a \cdot (E / HV)^{2/5} \cdot l^{-1/2}$	NI	[8]
Palmquist (Roebuck) egyenlet $K_C \approx W_K = A \cdot \sqrt{H} \cdot \sqrt{W_G}$	P_egyedi	[9]

Jelölések: K_C – indentációs törési szívósság ($\text{MNm}^{-3/2}$), E – rugalmassági modulus (GPa), H_v – Vickers keménység (GPa), HV – Vickers keménység (-), P – terhelőerő (N), a – Vickers lenyomat félátlója (m), l – a lenyomat átló végétől a repedés végének átlagos távolsága (m)

A P_egyedi kódjelű számítási modellel bővebb magyarázatot igényel. Az Exner által bevezetett repedési ellenállás fogalma [10] a terhelőerő és az adott lenyomathoz tartozó repedések összegének hányadosaként definiált:

$$W_G = \frac{P}{T}, \quad (1)$$

ahol W_G a repedési ellenállás, N/mm (azaz J/mm^2 , az alakváltozási energia felszabadulás sebessége), P az indentációs terhelés N-ban kifejezve, T pedig a lenyomat sarkaiból kiinduló repedések összegzett hossza mm-ben.

A repedési ellenállásból az ún. Palmqvist szívósság az alábbi összefüggéssel számítható [7]:

$$W_K = A \cdot \sqrt{H} \cdot \sqrt{W_G}, \quad (2)$$

ahol W_K az ún. Palmqvist szívósság ($\text{MN m}^{-3/2}$), H a keménység N/mm^2 -ben kifejezve, A pedig konstans, melynek értéke 0,0028. Az A konstans értéke adott anyag esetén és az indenter geometriája alapján számítható az

$$A = A' \frac{1}{3 \cdot (1 - \nu^2) \cdot (2^{1/2} \pi \tan \psi)}, \quad (3)$$

összefüggéssel, melyben ν a vizsgált anyag Poisson tényezője, ψ az indenter lapszöge (Vickers gyémánt esetébe 136°), A' értéke pedig az mértékegység váltásból adódik ($1/36.1$). Hagyományos keménységmérések esetében a K_{Ic} és a W_K értéke között szoros a korreláció, vagyis $K_{Ic} \sim W_K$ teljesülése feltételezhető [7, 11].

2.2 A törési szívósság meghatározása többszintű terheléssel

Az indentációs törési szívósság egy adott terhelési szinten történő meghatározása (2.1 fejezet) akkor ad megbízható eredményt, ha az indentációs törési szívósság értéke független a terhelőerőtől. A gyakorlati esetek döntő többségében ez nem tételezhető fel, az indentációs törési szívósság függ a terhelés nagyságától, elsősorban a mintában lévő, általában nyomó jellegű maradó feszültségek miatt [9]. A maradó nyomófeszültség – mely a gyártástechnológiából, illetve a mintaelőkészítés folyamatából származhat – azt eredményezi, hogy a repedések kialakulása csak egy bizonyos terhelési küszöbérték elérése felett történik meg.

A W_G repedési ellenállás meghatározására kétféle lehetőség van. Ha a repedési ellenállás és a Palmqvist szívósság független a terhelőerőtől (nincs számottevő maradó feszültség a mintában), akkor az aktuális terhelés és az összes repedési hossz hányadosaként definiálható az (1) egyenlettel összhangban (P_{egyedi} számítási kód). Ha a terhelés függvényében változik a repedési ellenállás és a Palmqvist szívósság (számottevő maradó feszültség van a mintában), akkor célszerű többszintű terheléssel elvégezni a vizsgálatot, mely esetben a W_G értéke a repedéshossz és a terhelőerő függvény iránytangensével vehető azonosnak (P_{multi} számítási kód). A nulla repedéshossz értéknél adódó indentációs terhelés jelenti azt a küszöbértéket, melyet a repedések létrehozásához minimálisan alkalmazni szükséges. Ez a küszöbérték közvetve jellemzi a minta belső feszültségi állapotát is.

3 Vizsgálati tevékenység

Az indentációs törési szívósság meghatározását egy WC-Co alapanyagú, bevonat nélküli 3,6 mm átmérőjű fúrószerszám keresztirányú metszetén végeztük. A vizsgálati anyagból gyémántbevonatú koronggal, állandó hűtés mellett, alacsony tárcsa-fordulatszám alkalmazásával vágtuk ki a vizsgálati anyagrészt, így a minták felületének szerkezetváltozását okozó hatások elkerülhetők voltak.

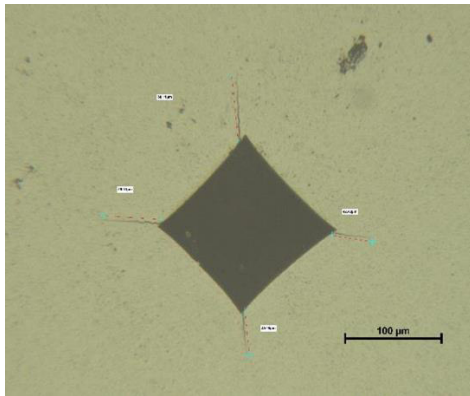
A szerszámról a fentiekben leírt módon leválasztott anyagrészt metallográfiai beöntő gyantába ágyaztuk, majd a csiszolás, polírozás történt. A műveletek során lehetőség szerint igyekeztünk figyelembe venni az indentációs törési szívóssági vizsgálat mintaelőkészítésre vonatkozó ajánlásait [11]. A csiszolás SiC tartalmú csiszolópapírok sorozatával történt, a polírozást pedig gyémánt szuszpenzióval, használt polírozóvászonnal alkalmazásával végeztük.

Az indentációs nyomokat keménységmérő géppel 30, 40, 50 és 60 kg terheléssel hoztuk létre, mely választás összhangban van a kerámiamátrixú kompozitokra megadott irányértékkel [11].

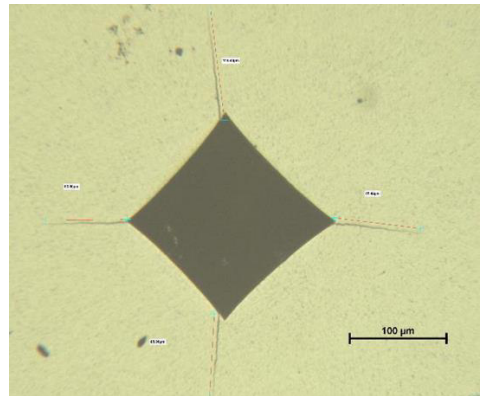
A lenyomatokat egymástól olyan távolságban helyeztük el, hogy az azok környékén kialakuló rugalmas-képlékeny feszültségmezők egymást ne befolyásolják. További szempont volt a keménységi nyomok készítésénél, hogy a lenyomatok a mikroszkópos vizsgálatok során könnyen megtalálhatók és azonosíthatók legyenek.

A keménységi érték és a kialakult repedések hosszának meghatározása optikai mikroszkópon készült felvételek alapján történt. Az 2. ábra képsorozata a mintán létrehozott lenyomatok optikai mikroszkópos felvételeit mutatják. A felvételek úgy készültek, hogy a lenyomat és a repedéskép teljes kiterjedésében látható legyen. A vizsgálati sorozatban a keménység 1548 HV és 1617 HV

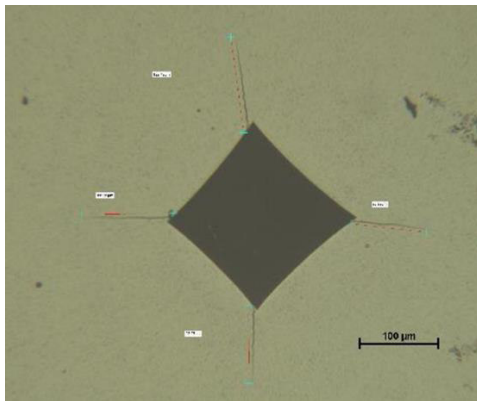
között változott, az átlagos repedésméret pedig a növekvő terhelés szintek sorrendjében 0.054 mm, 0.093 mm, 0.108 mm és 0.181 mm volt.



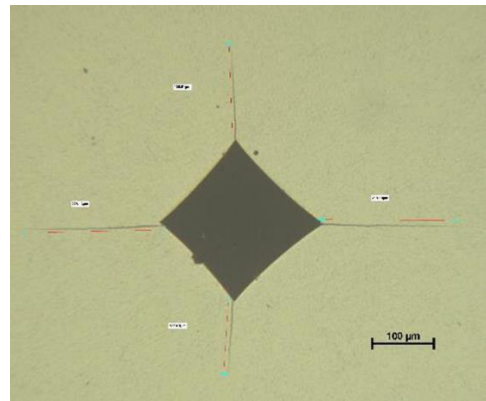
a.) 30 kg



b.) 40 kg



c.) 50 kg

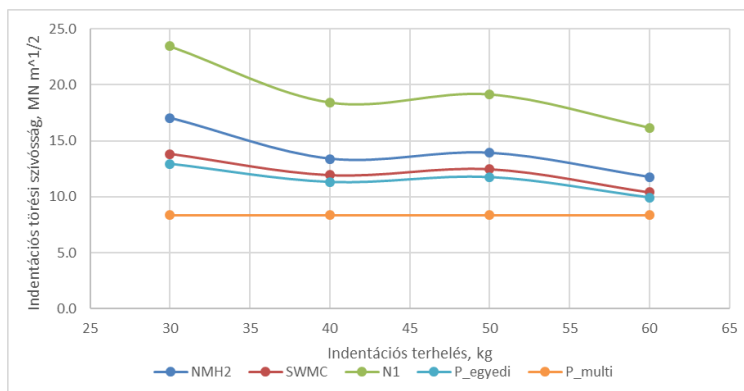


d.) 60 kg

2. ábra A lenyomat és repedésképek a különböző terhelések esetén

4 Eredmények, értékelés

Az 1. sz. táblázatban összefoglalt eljárásokkal meghatározott indentációs törési szívósság értékeket az alkalmazott terhelőerő függvényében ábrázolva mutatja be a 3. ábra. A terhelési szintekre adódó eredmények mind a négyféle megközelítés esetén a terhelőerőtől függőnek mutatkoznak, mivel minél nagyobb a terhelés, annál kisebb az indentációs törési szívósság. A P_multi kóddal jelzett módszer az összes terhelési szinten mért repedési jellemzők együttes figyelembe vételével becsüli az indentációs törési (Palmquist) szívósságot, így az eredményt egy vízszintes vonal reprezentálja. Ebben az esetben terhelési szintenként az összegzett repedéshossz és terhelőerő függvény összetartozó értékeire illesztett egyenes iránytangensének értéke került meghatározásra. Az illesztett függvény és a y tengely metszéspontja jelöli ki a 0 repedésmérethez tartozó terhelőerő nagyságát, mely jelen esetben 192 N-nak adódik. E határérték alatti terhelőerővel végzett indentáció esetén repedések kialakulása nem várható. Az egyenes iránytangense 573 N/mm, azaz az indentációs nyomból kiinduló repedési összhossz megduplázásához 573 N terhelésnövekedés szükséges.



3. ábra Az indentációs törési szívósság becsült értékei a különböző terhelések és számítási módszerek esetében

Köszönetnyilvánítás

A jelen dolgozatban bemutatott kutatási munka a 2018-1.3.1-VKE-2018-00041 számú „Intelligens, prediktív szerszámfelügyeleti eljárások kidolgozására és rendszer kialakítására, valamint a fejlesztés fenntartására alkalmas kutatási együttműködés létrehozása” című pályázat támogatásával valósult meg.

Hivatkozások

- [1] Palmqvist, S., *Method att bestamma segheten hos sproda material, sarskilt hardmetaller*. Jernkontorets Ann, 1957. **141**: p. 300-307.
- [2] Palmqvist, S., *Rißbildungsarbeit bei Vickers-Eindrücken als Maß für die Zähigkeit von Hartmetallen*. Archiv für das Eisenhüttenwesen, 1962. **33**(9): p. 629-634.
- [3] Lawn, B. and M. Swain, *Microfracture beneath point indentations in brittle solids*. Journal of materials science, 1975. **10**(1): p. 113-122.
- [4] Ponton, C.B. and R.D. Rawlings, *Vickers indentation fracture toughness test Part 1 Review of literature and formulation of standardised indentation toughness equations*. Materials Science and Technology, 1989. **5**(9): p. 865-872.
- [5] Ponton, C. and R. Rawlings, *Vickers indentation fracture toughness test Part 2 Application and critical evaluation of standardised indentation toughness equations*. Materials Science and Technology, 1989. **5**(10): p. 961-976.
- [6] Niihara, K., R. Morena, and D. Hasselman, *Evaluation of K_{Ic} of brittle solids by the indentation method with low crack-to-indent ratios*. Journal of materials science letters, 1982. **1**(1): p. 13-16.
- [7] Shetty, D., et al., *Indentation fracture of WC-Co cermets*. Journal of Materials Science, 1985. **20**(5): p. 1873-1882.
- [8] Niihara, K., *A fracture mechanics analysis of indentation-induced Palmqvist crack in ceramics*. Journal of materials science letters, 1983. **2**(5): p. 221-223.
- [9] Roebuck, B., et al., *Palmqvist toughness for hard and brittle materials*. 1998: National Physical Laboratory.
- [10] H. E. EXNER: Trans. AIME, 245, (4), 677-683.
- [11] Roebuck, B., et al., *The measurement of palmqvist toughness for hard and brittle materials*. 2008.