

Drótkötélszakadás vizsgálata

Az, hogy egy drótkötél meddig teljesíti a vonatkozó szabványokban, katalógusokban garantált teherbírást, sok tényező függvénye. Ennek természetes következménye, hogy nagy az élettartam szórása. Előfordulnak rendellenes, szakszerűtlen igénybevételek is, s a keletkezett kár okainak keresésekor fontos a komplex kárelemző vizsgálat.

Egy műszaki káresemény bekövetkezténél a legtöbb felhasználó első nyilatkozata: „anyaghiba”. Szerencsére majd minden esetben megvannak a beépített kötél mintadarabjai, s ha azokat korróziótól védve tárolták, sok év után is meggyőző választ lehet adni arra a kérdésre, hogy szakítóerejét és nyúlását tekintve mit bírt a kötél új korában.

Az igénybevétel üzem közben nagyon sokféle lehet. A legegyszerűbb húzó igénybevételkor is húzó-, nyíró- és érintkezési (Hertz-) feszültség terheli az elemi szálakat. A befogásnál, kötéldobon, csigán hajlító- és termikus feszültségek is hozzáadódnak az előbb említett feszültségállapothoz. Nagyon megnöveli az élettartam szórását és csökkenti becslésének megbízhatóságát, hogy az összes igénybevétel nem statikus, hanem fárasztó igénybevétel, sőt valamilyen agresszívitású korróziós hatással is súlyosbított fárasztás vagy/és feszültségkorrózió.

Gondoljunk például egy bányalift kötélzetére, amelyet folyamatosan áztat az aknában lecsurgó savanyú víz, hajtogat a kötéldob, a liftbe pedig változó tömegek kerülnek.

Az elemi szálak, amelyekben még ott vannak a kötélgyártás maradófeszültségei is, nagyszilárdságú acélból készülnek s nagyon érzékenyek a korróziós igénybevételre. Ha a korrózió megváltoztatja az elemi szál felületi érdességét (akár mikroszkopikus méretben is), nagy mértékben megváltozhat a helyi feszültségállapot, s „öngerjesztővé” válik az összetett károsodási folyamat.

Egy drótkötélszakadás vizsgálata. Esettanulmány

A 6 x 9 + 1 – 3 típusú, egy középső rostos kötélbetétes, jobbmenetű, keresztsodrású

drótkötél egy egyenáramú motorral hajtott csörlőben működött egy helikopter fedélzetén.

A jármű katasztrófaelhárítási gyakorlatban vett részt, amikor a kötél négy sikeres felemelési-leeresztési művelet után az ötödik művelet leeresztési szakaszában elszakadt. Az emelt személy súlyos balesetet szenvedett.

Az esemény kivizsgálását a felügyelő hatóság irányította. Részt vett benne a jármű és a kötél külföldi gyártójának szakembere, az üzemeltető szakemberei és a kárelemző anyagvizsgáló szakértő. A hatóság arra kérte a szakértőt, hogy

- vegyen részt a szakadás okának működtetési (szerkezeti) vizsgálatával foglalkozó helyszíni szemlén;
- foglaljon állást abban a tekintetben, hogy a kötélnek, mint gépelemnek, valamint a kötél anyagának milyen szerepe lehetett a váratlan szakadásban;
- dokumentálja a szakadt drótkötél károsodott szakaszain kimutatható változásokat;
- vizsgálja meg, hogy van-e különbség a szakadási hely közelében levő deformálódott kötélszakasz, valamint a sértetlennek látszó kötélszakasz felületi alumíniumszennyeződésében;
- hasonlítsa össze a szakadt kötél sértetlennek látszó szakaszának, valamint az azonos beszerzési forrásból származó, azonos rendeltetésű új drótkötélnek a szakítószilárdságát.

A szakértői vizsgálat folyamata, eredményei

Helyszíni szemle a jármű fedélzetén

A csörlő balesetkori állapotához képest annyi változás volt, hogy már egy másik, új kötél volt beszerelve a működtetési

próbához. A szakadt kötél elhelyezkedését a dobon a szakadást követően a hatóság fényképei alapján tanulmányozhatuk. Bemutatták a szakadt kötelet is.

A kezelőszemélyzet a vizsgálóbizottság különféle hipotéziseinek igazolása vagy elvetése céljából szándékosan is előidézett kötélszakadásokat felemelési menetben, amikor a szakítóerőt a dob üzemi forgatónyomatéka, ill. a dob súrlódó tengelykapcsolójának beállított határnyomatéka határozta meg.

A kísérletek során a balesetet okozó kötélnél rövidebb üzemidejű kötelek is hajlamosak voltak hurokképződésre. A hurkot a vezetőgörgő gyakran kiegyenesítette (becsípte). Az ilyen üzemeltetési hiba általában károsítja a kötélbetétet, ami pedig a kötél szerkezet lazulásával jár.

Bebizonyosodott, hogy a hurok ráakadhat és rászorulhat a görgők közötti rést lezáró lapra, amiből a kötél túlterhelése, sőt szakadása következhet.

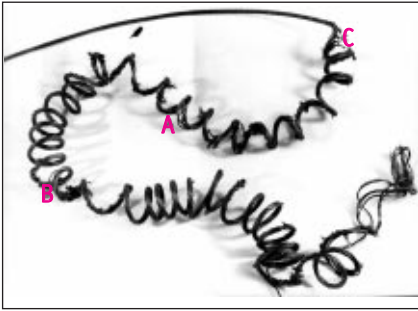
A csörlő zárólapjának és terelőgörgőjének anyaga alumíniumötvözet volt. A zárólap tövével a felhurkolódott kötél koptató hatása látszott, ezért tartottuk célszerűnek az alumíniumfelkenődés vizsgálatát a szakadt kötél deformálódott és nem deformálódott szakaszán egyaránt.

A dob kötélszakadást közvetlen követő állapotát rögzítő fényképeken a kötél a dobon rendezetlenül helyezkedett el, s feltehetően a lógó teher pörgéséből eredő kisodródás miatt egyes kötélszakaszok másodlagosan, üzem közti rövid idejű, átmeneti terheletlen állapotban is összesodródtak. Az ok: a kezelő képtelen legalább 30 N feszítőerőt biztosítani a dobon bármely terhelési helyzetben. A teher pörgését s a drótkötél kisodródását nem tudta mérsékelni vagy biztonságosan megakadályozni. Az emelések számának növekedésével nőtt a hurokképződés és a másodlagos besodródás kockázata, mivel a kötélben egyre nagyobb belső feszültségek maradtak vissza. A kötéldob konstrukciós módosítása tehát indokoltnak látszott.

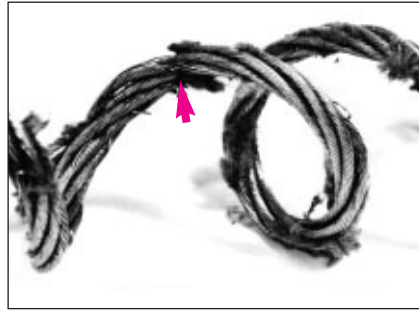
A szakadt kötél állapota

A szakadt kötélnek a teher felőli darabjában (kinyújtva) kb. 240 cm hosszú sza-

Dr. Bacskai Antal életrajzi adatait a BKL Kohászat 2009. 5. számában közzöltük.



■ 1. ábra. A balesetet okozó drótkötél szakadt, deformálódott része



■ 2. ábra. A deformálódott szakaszon tönkrement a rostos betét, az elemi szálak sérültek, szakadtak



■ 3. ábra. Fokozott roncsolódást okozott a hurokképződés

kasz erősen deformálódott (1. ábra). A többi részen szembeutó elváltozás, pl. szálkasodás, elemi szál kopás, korrózió nem látszott.

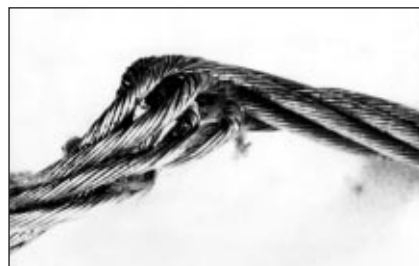
A deformálódott szakaszon a betétanyag tönkrement, több helyen elszakadtak az elemi szálak (2. ábra). A képződött hurok „kiegyenlítése” következtében a pászmák helyileg túlsodrótáltak, megtörttek és kilazultak (3., 4. és 5. ábra). Figyelemre méltó, hogy egy-egy ilyen helyen a drótkötélben nem mindegyik pászma károsodott azonos mértékben.

A 6. ábrán látható a szakadási hely. A különböző pászmák azonos kötélnél szakadtak. Ez a csörlő felőli (másik) szakadási végén még egyértelműbben volt megállapítható.

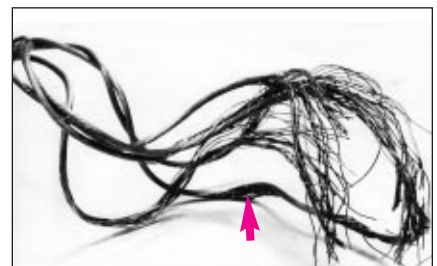
Az egyik pászmán a szakadási hely közvetlen közelében hurokkiegyenesedési nyom is volt (nyílal jelölve a fényképen). A csörlő felőli szakadási végén kismértékű volt a kötélnél, ill. az egyes pászmák kibomlása. Ezek a tények, valamint a szakértői tapasztalatok laboratóriumi és ipari drótkötélszakadásoknál arra utaltak, hogy a kötélnél valamilyen rendellenes megfogási, beszorulási helynél szakadt el. „Szabad” kötélszakasz szakadásakor ugyanis az egyes pászmák szakadási helye nagyobb mértékben különbözik a nagyobb mértékű a szakadókörnyéki kötélszakasz s a pászmaszakaszok kibomlása is.



■ 4. ábra. Jellegzetes roncsolódott rész a szakadás közelében



■ 5. ábra. A pászmák nagy mértékű deformációja hurokképződésnél



■ 6. ábra. A szakadási hely egyik vége

A kötélnél laboratóriumi szakítása

A szakítóvizsgálat célja annak megállapítása volt, hogy az üzemi emelési csörlősebességhez közeli 500 mm/perc vizsgálati sebességnél mekkora húzóerő hatására szakad el

- a károsodott drótkötél ép és deformálódott része;
- a károsodott kötélnél ép, valamint deformálódott részéből kibontott pászma;
- a kárelemző vizsgálat tárgyát képező kötélnél azonos méretű drótkötél, ill. az abból kibontott néhány pászma.

Az összehasonlító vizsgálathoz csak olyan új állapotú kötélnél tudtak adni, amely nem szövetbetétes volt, hanem fémpászmabetétes. Viszont az új kötélnél is az üzem közben szakadt kötélnél azonos szilárdságú elemi szálakkal készült.

A váratlan, rendellenes üzemeltetési körülmények utánzása céljából olyan szakítóvizsgálatok is voltak, amikor

- a kötélnél, ill. a pászmán mesterségesen kialakított hurok volt, s a hurokot két párhuzamos fémlap közé szorították;
- a kötélnél, ill. a pászmára csomót kötöttek;
- a kötélnél kötött csomóba éles sarkú acéllemez darabot helyeztek;
- a köteleket befogás előtt húsz sodrással kisodorták;

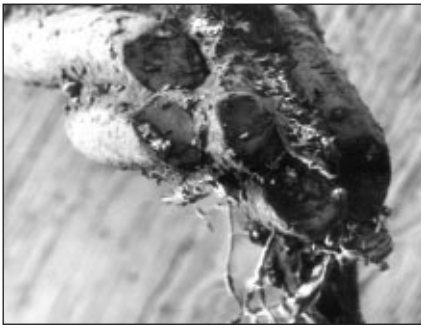
- a köteleket befogás előtt még rásodorták;
- a kötélnél felületén szándékos mechanikai sérülést okoztak.

A szakítóvizsgálatok eredményeit az 1. táblázat tartalmazza.

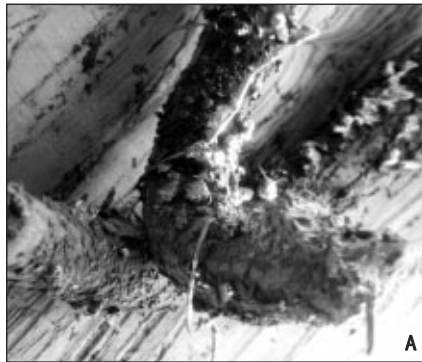
Az új és a balesetet okozó kötélnél min-tadarabjának szakítóerejét összehasonlítva az állapítható meg, hogy az új kötélnél kb. egy pászma szakítóerejével teherbíróbb. Ez összhangban van szerkezetük különbözőségével, mivel az új kötélnél a rostos kötélnélbetét helyén is pászma volt.

A balesetes kötélnél deformálódott részének (1. ábra) szakítóereje kisebb, mint az ép részé. A csörlő kedvezőtlen konstrukciójából eredő helytelen üzemeltetés (hurokképződés, zárólappra szorulás, kisodrótás, fellazulás, rostos betét sérülése stb.) mintegy 40%-ára, 4900 N-ről 1960 N-ra csökkentheti a szakítóerőt.

A vezetőgörgők közé beszoruló huroknál (1. táblázat III. sor) 1720 N-ra csökkent a szakítóerő. Amennyiben üzemeltetés közben az előző műveleteknél deformálódott kötélszakaszra képződött hurok szorult be, még ennél is kisebb szakítóerőre lehetett számítani. Nem lehet kizárni tehát, hogy kedvezőtlen üzemeltetési körülmények között a kötélnél szakítóereje olyan kicsi lett, hogy azt a statikusan kb. 970 N teher mozgatasakor fellépő



■ **7. ábra.** A szakadási hely másik ki nem bomlott vége. Pásztázó elektronmikroszkópi kép egy pászmáról (N=100x)



■ **8. ábra.** Az elemi szálak deformációja (A kép: N=100x) és kontrakciója (B kép: N=200x) a szakadási helyen



dinamikus igénybevétel (kötéllengés, átmeneti hurokbeakadást követő esés stb.) meghaladta, s bekövetkezett a kötélszakadás, a teher leejtése, a baleset.

A szakítópróbák eredményéből az is kitűnik, hogy egy pászma szakítóereje 981–1286 N, s ez 706 N-ra csökkenhet, ha a pászmán képződött hurok beszorul.

A deformálódott, erősen fellazult kötélen hurokjának beszorulásakor, vagy a zárólapra szoruláskor előfordulhat, hogy pillanatnyilag csak egy-két pászma terhelődik, s ha ezek szakadtak, a többi is túlterhelt állapotba kerül. Ez gyors szakadást okozhat még leeresztési műveletben is.

Az 1. táblázatban közölt szimulált terhelési, szakadási adatokból arra is lehet következtetni, hogy a szakítóerő hurok beszorulásakor csökkent a legnagyobb mértékben.

A mért szakítóerők alapján ellenőrizhette a felüyeleti hatóság a csörlődobba épített biztonsági súrlódó tengelykapcsoló beállítását, megfelelő működését is.

A szakadt elemi szál végek pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálata

A balesetkor szakadt elemi szál végek, ill. a ki nem bomlott pászmavég (7. ábra) különböző nagytűsoknál végzett vizsgálata során egyre több bizonyíték támasztotta alá azt a következtetést, hogy a drótkötél kiegyenesített huroknál (7., 8. és 9. ábra), túlterhelés következtében szakadt el.

A szálvégeken mindenütt jól látszott a szakadást megelőző kontrakció. A szakadási felület síkja általában kb. 45°-os szöveget zár be az elemi szál hossz tengelyével.

A 8. ábra azt is szemlélteti, hogy a hurok beszorulásakor keletkezett nagy felületi nyomás deformálta (lapította) az elemi szálakat.

A korrózió elemi szálakat gyengítő szerepét egyértelműen ki lehetett zárni.

Összehasonlítás céljából a 10. ábrán egy másik drótkötél korróziós kifáradás miatt tört elemi szála látható.

A felületi alumínium-szennyeződés vizsgálata a szakadás helyénél

A szakadt drótkötél deformálódott és ép részéből azonos tömegű (70 g) darabokat vizsgáltunk. A minták kloroformos lemosása, majd szárítása után az üledékek spektrométeres vizsgálata következett az alumínium- és magnéziumtartalom meg-



■ **9. ábra.** Egy másik elemi szál kontrakciója és 45°-os szakadási síkja (N=200x)

1. táblázat. Különböző köteleken és kötélszakaszokon mért szakítóerő

Drótkötél mintadarab	Szakítóerő, N		
	Új kötélen	Szakadt kötélen ép része	Szakadt kötélen deformálódott része
Kötélszakasz	6280, 7360	4900	1960, 4510, 4220
Kötélszakasz, sérült	-	4320	-
Kötélszakasz, hurokkal	2750	1720	-
Kötélszakasz, csomóval	4410	4410	-
Kötélszakasz csomóval, betétlemezzel	6280, 6975	5100	-
Kötélszakasz csomóval, betétlemezzel, kisodorva	5592	4611	-
Kötélszakasz rásodorva	6573	-	-
Pázmák	1177, 981, 1180	1236	981
Pászma hurokkal	980	706	-
Pászma csomóval	863	902	-



■ **10. ábra.** Egy másik drótkötél korróziós kifáradás miatt kontrakció nélkül szakadt elemi szála összehasonlításhoz (N=300x)

határozására. A deformálódott kötélszakasról nagyságrenddel több alumínium vált le mosáskor. A vas-, mangán-, szilícium-, kadmium-, cink-, ólom- és báriumtartalom mindkét kötélmintánál gyakorlatilag azonos volt.

A kloroformos mosást 10%-os nátronlúggal való mosás követte, de annak üledékei az említett elemekre vonatkozóan már nem különböztek.

A spektrométeres elemzések is azt bizonyították, hogy a drótkötél szakadásához vezető deformációja alumíniumötvözetből készült alkatrészen, azaz a helyszíni szemlekor is erős súrlódási nyomokat mutató vezetőgörgő zárólapon következett be.

Összefoglalás

A sokoldalú szakmai felkészültséget képviselő testület által folytatott helyszíni vizsgálat, a működtetési kísérletek, valamint a laboratóriumi vizsgálatok eredményei alapján a következő szakvélemény alakult ki.

A szakadt drótkötél az emelési művelet során hurkot képzett, valamint a huroknak a vezetőgörgő zárólpra szorulása következtében hosszabb szakaszon erősen deformálódott, rostos betétje tönkrement, a kötélt és az egyes pászmák is több helyen teljesen fellazultak.

A hurokképződésben, majd annak elemzett és bizonyított következményei-

ben szerepe lehetett a drótkötél kisodródásainak, valamint a többszöri emelési-süllyesztési műveletből eredő maradófe-szültségeknek.

A hurokképződést az adott kötéldob konstrukciónál csupán a kezelő figyelmességével, ügyességével elkerülni szinte lehetetlen volt. Az ismétlődések elkerüléséhez lényeges konstrukciós változások szükségesek.

A deformálódott kötélszakasz beszoruló hurkainál a szakítóerő olyan kicsi lett, hogy a lengő teher a kötelet elszakíthatta.

A vizsgált kötélt, mint gépelem, a használat előtt hibát nem tartalmazott.

A korrózióknak nem volt szerepe a balesetet előidéző szakadásban.

■ SZAKOSZTÁLYI HÍREK

Tisztújítás Dunaújvárosban Új elnök a helyi OMBKE szervezet élén

Beszámoló és vezetőségválasztó taggyűlést tartott az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület Dunaújvárosi Szervezete. A jeles esemény helyszíne a Dunaújvárosi Kereskedelmi és Iparkamara székháza volt.

Az egybegyűlteket *dr. Szabó Zoltán* levezető elnök (1. kép) tájékoztatta a tisztújítás menetéről, majd átadta a szót *Tóth Lászlónak*. A helyi szervezet elnöke köszöntötte a megjelenteket, és a szakmai közösségek szerepéről szólt. Sajnálatosnak nevezte a csökkenő taglétszámot, bár a magyar vaskohászatban jelentkező ked-

vezőtlen tendenciák ellenére a dunaújvárosi szervezet a Vaskohászati Szakosztályon belül még mindig a legnagyobb létszámot tudhatja magáénak.

Elmondta, hogy a Dunaferr privatizációja új helyzetet teremtett a működésében, mert a szervezet finanszírozása beszűkült. A vezetőség igyekezett megismertetni az új menedzsmentet a szervezet céljaival és szerepével a montanisztikai szakmák (bányászat, kohászat) hagyományainak ápolásában. A törekvés eredményességének legjobb példájaként említhető a 2008 tavaszán az ISD Korporáció tagvállalatai részvételével megrendezett vaskohászati konferencia, amelynek a Dunaújvárosi Főiskola adott otthont. *Valeriy Naumenko*, a vállalat vezérigazgatója minden segítséget megadott a konferencia szervezésében és feltételrendszerének megteremtésében.

Mondandója végén bejelentette, hogy mivel időközben nyugállományba vonult, nem tartaná helyesnek, ha kívülállóként továbbra is vállalná a számára megtisztelő el-

nöki szerepet, ezért aktív tagtárs jelölését támogatja.

Az elnök gondolatai után *Hevesi Imre*, a helyi szervezet titkára ismertette a vezetőség beszámolóját az elvégzett munkáról. Az OMBKE Vaskohászati Szakosztály Dunaújvárosi Szervezete évek óta jól bevált program szerint végzi munkáját. A központi rendezvényeken való aktív részvétel mellett a szakmai délutánok szervezése és az azokon elhangzó, a vállalat különböző tevékenységi területeihez kapcsolódó előadások és szakmai viták jelentik a tevékenység legértékesebb részét.

A beszámolási időszakban három taggyűlés, tíz vezetőségi ülés, két konferencia, 22 klubnap, amelyen 48 előadás hangzott el, és 30 központi rendezvényen való részvétel jellemezte a sokoldalú tevékenységet. A taglétszám a főiskolai tagokkal együtt 2007-ben 381 fő, 2008-ban 402 fő, 2009-ben 358 fő volt.

A tevékenységek finanszírozására a szervezethez a befizetett tagdíjakból visszajuttatott évi négyezer forint körüli összeg állt rendelkezésre. Rendezvényeiket az ISD Dunaferr Zrt. mellett az ISD Power Kft. és a DV Acél Kft. támogatta. A szervezet jó munkája elismerését jelenti, hogy az elmúlt három évben a helyi szervezet tagjai két Szent Borbála-érem, egy egyesületi emlékérem, öt emléklapelt és



■ 1. kép. Dr. Szabó Zoltán, a küldöttgyűlés levezető elnöke