

Lágyacélok öregedésének elemzése hajlítóvizsgálat alapján

Analysis of aging of mild steels based on bending tests

KONDÁS BÉLA[@], MERTINGER VALÉRIA[&]

Miskolci Egyetem, Anyag- és Vegyészmérnöki Kar,
Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc

[@]E-mail: bela.kondas@uni-miskolc.hu

[&]E-mail: valeria.mertinger@uni-miskolc.hu

A lágyacél lemezek alakíthatósága már rövidebb tárolási időt követően is leromolhat az öregedési jelenség következtében. Mivel az öregedés dinamikája nem egyenletes ezért ugyanazon adagból származó lemeztáblák mechanikai tulajdonságai is különbözhetnek egymástól, amely az automata megmunkáló berendezéseknél gyakori paraméter utánállítást, hosszabb ciklusidőt, megemelkedett selejtképződést okozhat. Cikkünkben a feldolgozóipar számára olyan egyszerűen végrehajtható hajlítóvizsgálati módszert mutatunk be, ami megbízhatóan jelzi az öregedést. Kísérleteink során DC01 jelű lemezpróbatesteket vetettünk hajlítóvizsgálat alá gyártásukat követő tíz időintervallumban. A vizsgálat megfelelő szintű érzékenységeinek biztosítása érdekében az értékelési kritériumokat a szabványkövetelményekhez képest tovább szigorítottuk, mely által egy költséghatékony vizsgálati módszert kaptunk.

Kulcsszavak: lágyacél, alakíthatóság, öregedés, hajlítóvizsgálat

The formability of mild steel sheets can deteriorate even after a short storage period due to the strain aging phenomenon. Since the aging dynamics are not uniform, the mechanical properties of steel sheets from the same batch can also differ from each other, which can cause frequent parameter readjustment, longer cycle times, and increased scrap formation in automatic processing equipment. In our paper, we present a bend test method for the processing industry that reliably indicates aging. In our experiments, DC01 sheet metal specimens were subjected to bend tests at ten time intervals after their manufacture. In order to ensure an appropriate level of sensitivity of the test, the evaluation criteria were extended compared to the standard requirements, which resulted in a cost-effective test method.

Keywords: mild steel, formability, strain ageing, bend test

1. Bevezetés

A feldolgozó cégek nagy tömegében alkalmazzák a hidegképlékenyen alakítható acélok valamely típusát. A különböző alakító műveletekkel készülő alkatrészek vagy használati cikkek gyárthatóságát, valamint élettartamát jelentős mértékben befolyásolja az alapanyagok anyagjellemzőinek stabilitása. Az acélművekből kikerülő ötvöztelen lágyacél lemezek alakíthatósága bizonyos idő elteltével leromlik az öregedési jelenség következtében. A feldolgozó cégek számára ez különös jelentőséggel bírhat, ugyanis a gépbeállítási paraméterek megválasztásánál nem csak a különböző beszerzési források anyagai között lehet tulajdonságbéli különbség, hanem ugyanazon gyártó különböző korú anyagai között is. Amennyiben erre nem fordítanak kellő figyelmet úgy a terméktulajdonságok ingadozása az automata megmunkáló be-

rendezéseknél gyakori paraméter utánállítást, ezáltal hosszabb ciklusidőt, kedvezőtlen esetben gyorsabb szerszámkopást, súlyosabb esetekben nagymértékű selejtképződést okozhat, ami befolyással bírhat a vevői elégedettségre továbbá az adott vállalkozás versenyképességére is.

Az öregedés jelenségét a vasrácsban elhelyezkedő interstíciós atomok (C, N) okozzák melyek a diszlokációk magjába diffundálnak, ezzel azok mozgását akadályozzák. Ennek a blokkoló hatásnak az eredményessége függ elsősorban a rendelkezésre álló időtől, így a *hevertetési idő függvényében nő a diszlokációkhoz eljutó atomok mennyisége*. Az öregedés eredményeképpen megnövekszik a folyáshatár és a szakítószilárdság, de lecsökken a nyúlás értéke. Ezt a megállapítást sok kutató leírta kísérletei eredményeként. Hrvňák és Sobotová [1] 38 MPa-nyi folyáshatár

emelkedést mért kb 6 hétnek megfelelő tárolási időt követően lágyacél lemezeken, míg Bhagat [2] 26–37 MPa emelkedést mért BH acélokon a teljes öregedési időtartam alatt.

A gyakorlati felhasználás szempontjából a mechanikai mérőszámok kedvezőtlen változása megnövelheti a repedések kialakulásának kockázatát a lemezek alakításakor. Érthető tehát az ipari szereplők azon igénye, hogy az alapanyagok tulajdonságainak időben beálló változását még a károsodás bekövetkezése előtt megbízható módszerrel állapíthassák meg.

Az eddigi kutatások az öregedés hatását leggyakrabban normál és csökkentett sebességű szakítóvizsgálatokkal tanulmányozták. A mai korszerű acélgyártó és hengerlési technológiával előállított lemeztermékek öregedésének mérése szakító vizsgálattal azonban meglehetősen bonyolult feladat. Korszerű szakítógépet, precíz nyúlásmérést és a vizsgálószemélyzet részéről nagy felkészültséget igényel. Ezen feltételek biztosítása rendkívül megterhelő egy magyarországi KKV számára ráadásul a kellő rutinnal bíró szakképzett és elérhető anyagvizsgálók száma is meglehetősen limitált. Az öregedés jelenségét több éve tartó komplex vizsgálatok sorozatával elemeztük, melynek részeként került látókörünkbe a hajlítóvizsgálat is. Ennek egyszerűbb változata nem igényel sem költséges berendezést sem pedig különösebb szak tudást, így könnyen elvégezhető. Sikeres alkalmazásához csupán a vizsgálat végrehajtásának, valamint az eredmények értékelésének szabályait kell pontosan és egyértelműen meghatározni.

2. A vizsgálati anyag és konvencionális módszer

Az európai szabványok számos hidegképlékeny acélt különböztetnek meg, melyek közül a belépő minőség a DC01, ennek összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. DC01 minőségű acél elemzett összetétele

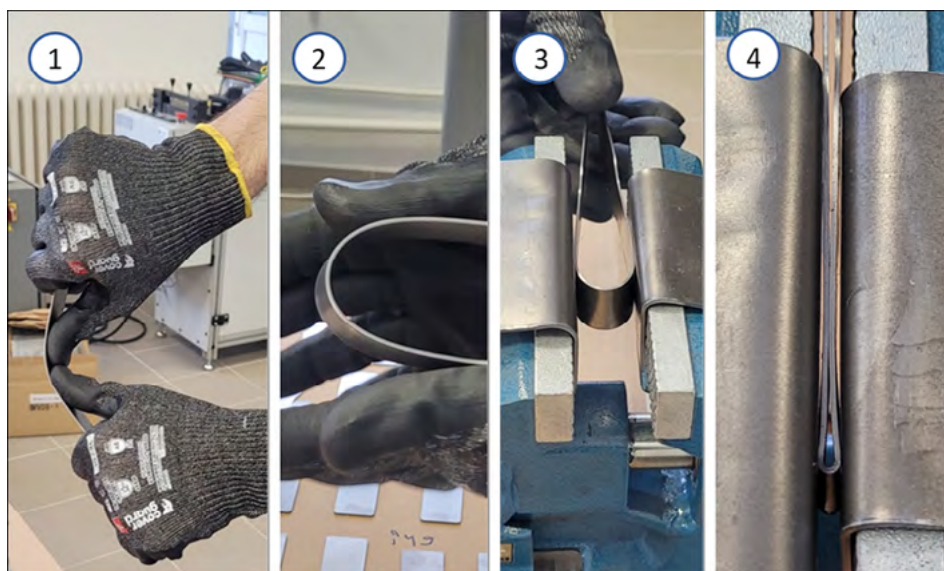
C [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Al [%]	N [%]
0.07	0.43	0.013	0.001	0.046	0.003

A kis mennyiségű karbon mellett alumíniumot tartalmaz, mely képes a nitrogén megkötésére.

Szövetszerkezete túlnyomórészt ferrites, melynek térben középpontos kockarácsában helyezkednek el az öregedés szempontjából legnagyobb szerepet játszó karbon és nitrogén atomok. Ezen kis méretű atomok aránylag mozgékonyak, ezért ipari környezetű tárolás mellett is várható az öregedés lezajlása.

A DC01 szabványos acélfajta, pontos terméktulajdonságait az EN 10130 [3] szabvány tartalmazza, melyet tanulmányozva szembeűnik néhány az öregedéssel összefüggésbe hozható furcsaság. A folyáshatár értékét például csak 8 napig, míg a megadott szakítószilárdsági és nyúlás értékeket egyáltalán nem garantálja a szabvány. Összehasonlítva a fenti adatokat a többi szabványos hidegképlékeny acélfajta terméktulajdonságainak stabilitásával kijelenthető, hogy várhatóan a DC01 minőségben megy végbe a leggyorsabban az öregedés, ami ideálissá teszi az öregedés dinamikájának vizsgálatára.

Az öregedés hatását egy kiforrott technológiát alkalmazó, korszerű gyártóvertikummal rendelkező európai vállalat DC01 minőségű, 1,5 mm vastag, hidegen hengerelt, lágyított és dreszírozott állapotú tekercsből származó mintákon, a gyártást (dresszírozást) követő 3 nap, 9 nap, 2 hét, 1 hónap, 6 hét, 10 hét, 3, 6, 8 és 12 hónap elteltével végrehajtott vizsgálatok eredményei alapján tanulmányoztuk. Az időtávokat a vonatkozó historikus és aktuális termékszabványok szerint határoztuk meg. A hajlítóvizsgálatokat az ASTM E290 [4] ajánlása szerinti, szabványos méretű



1. ábra. Hajlítóvizsgálat („band and flatten” módszer) lépései

(itt ISO 6892–1, –2 típusú (20×80 mm)) szakítópróbatesteken hajtottuk végre, melyeket stancolással és csiszolással készítettük elő vizsgálatra. A próbatesteket a tekercs harmadik menetéből (tekercs lefejtés során a háromszoros külső kerületi távolságból) származó táblák szélessége mentén mért ¼ vonalából hengerlési iránnyal párhuzamosan szorosan egymás felől vágtuk ki stancolással, így az anyag gyártásából származó inhomogenitást igyekeztünk a lehető legkisebb értéken tartani. Az egyes időpontokban 3-3 próbatesten végeztünk a JIS G3141 [5] és az ASTM E 290-14 szabványokban foglalt előírások szerinti hajlítóvizsgálatot. A hajlítást szabad kézzel 180 fokban végeztük el úgy, hogy a hajlított szárok egymásra felfeküdjenek majd a próbatestet satuban összelapítottuk („band and flatten” módszer) (1. ábra). A fent említett szabványok útmutatásai alapján a meghajlított külső ív felületét vizsgáltuk meg. Megfelelő minősítést kapott az a próbatest amelyen hajlítás után szabad szemmel nem volt látható repedés vagy egyéb anyag felszakadás, esetleg kitörés. A vizsgálatok elfogadható színvonalú ismételhetőségét és reprodukálhatóságát azonos vizsgáló személy és állandó mérési hőmérsékelt valamint megvilágítási környezet biztosította.

Mielőtt a hajlítóvizsgálat eredményének bemutatásához fognánk, szükséges bizonyítékot szolgáltatni arra vonatkozóan, hogy a vizsgált minták valóban öregedtek, és a később bemutatott változások nem valami más hatás következtében alakultak ki. Az öregedés végbemenetelét egy a hajlítópróbatestekkel együtt kimunkált szakító próbatesten vizsgáltuk, melyet 7,5%-nyi nyúlásig terheltünk, folyáshatárát ($R_{p0,2e}$) feljegyeztük majd 60 percen át tartó 100 °C-os hőkezelésnek vetettük alá. A kezelt próbatestet szakadásig terheltük és feljegyeztük a folyáshatárát ($R_{p0,2u}$) ismét. A szakirodalom [2] az öregedést egy ún. öregedési index (strain aging index, SAI) mérőszámmal jellemzi, amely a kezelés előtti és utáni folyáshatár értékeinek a különbsége:

$$SAI = R_{p0,2u} - R_{p0,2e}$$

Bhagat, Baek és Lee [2] szerzők kiterjedt vizsgálatokat folytattak BH (bake hardening) anyagok SAI értékeinek meghatározására. Cikkükben közölt 26–37 MPa referencia értékekhez képest a mintáinkon 90 MPa értéket mértünk, amely bizonyítja mintáink öregedését.

3. Az általunk javasolt vizsgálati módszer az öregedés kimutatására DC01 minőségű acéllemezen

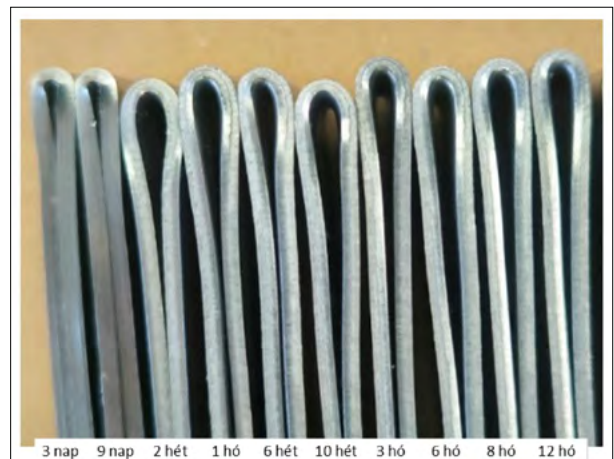
Miután bizonyítást nyert, hogy mintáink valóban öregednek nekifogtunk a hajlítóvizsgálatoknak, melyek végén meglepődve tapasztaltuk, hogy a tesztelt 30 darab próbatest egyikén sem volt felfedezhető repedés a külső hajlított íven (2. ábra), azaz mindegyik meg-



2. ábra. A hajlított próbatestek külső ívéhez tartozó felületről készült makrofotó

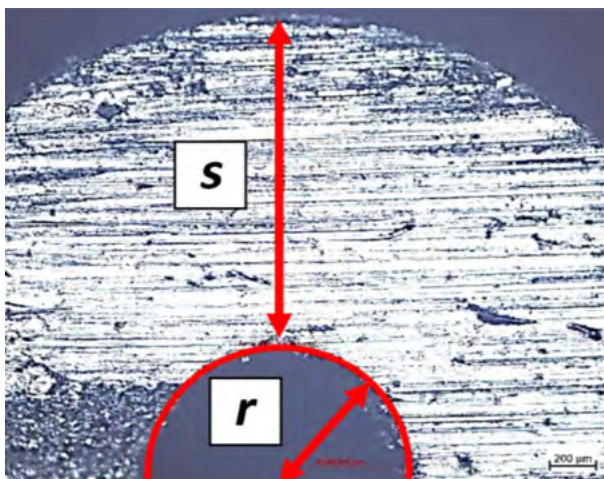
felelő minősítést kapott a fentnevezett szabványok kritériumai alapján.

A szemrevételezés során feltűnt azonban, hogy a 180°-ban visszahajlított szárok kéthetes kortól kezdődően már nem illeszkednek pontosan egymáshoz a hurok alatti részen. Tehát a hajlított rész belső ívének sugara (r) az idő előrehaladásával egyre nagyobbá vált. Ez a jelenség megmaradt a 12 hónapos korig terjedően (3. ábra).

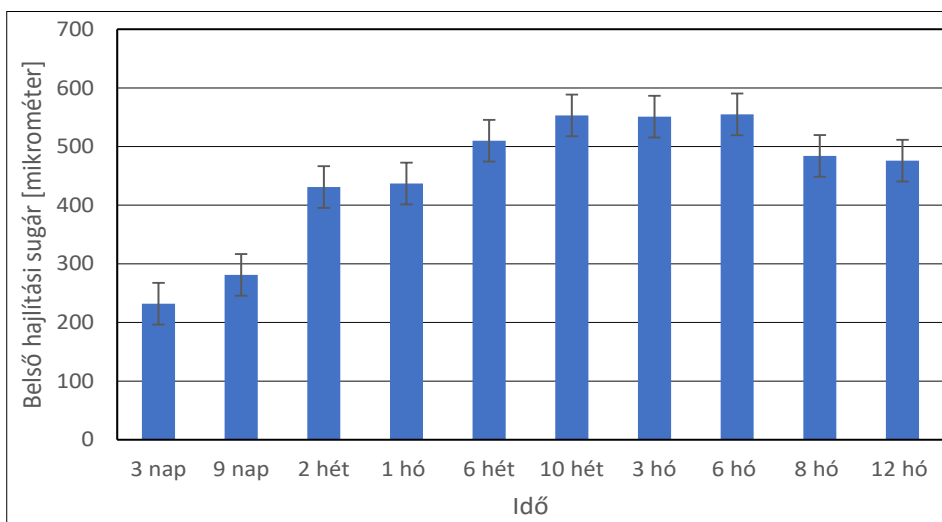


3. ábra. Hajlítóvizsgálati eredmény

Megvizsgáltuk a belső szál sugarát (r), valamint a hajlított rész lemezzvastagságát (s) Zeiss Axiovert A1 fénymikroszkóp segítségével (4. ábra). A vizsgálat során megállapítást nyert, hogy elvékonyodás nem történt a próbatestek hajlított ívéen, azonban számszerűen is beigazolódott, hogy a belső szál sugarának mérete nem független a tárolási időtől (5. ábra). Az 5. ábra időpontonként a három próbatest méretének átlag értékét mutatja.



4. ábra. Lemezvastagság (s) és hajlítási belső ív sugarának (r) mérése fénymikroszkópi felvételen



5. ábra. Belső hajlítási ív sugarának értékei az idő függvényében

Az 5. ábrán látható eredmények nagy hasonlóságot mutatnak a komplex öregedési vizsgálatunk során végrehajtott csészehúzóvizsgálatok eredményeivel is. Ugyanebből a gyártásból származó mintalemezekből kimunkált csészévé húzható maximális tárcsaátmérő egy hónapot követően 70 mm-ről 68 mm-re csökkent.

4. Konklúzió

A hajlítóvizsgálat azon technológiai vizsgálatok sorába illeszkedik, amelyek közvetlenül a feldolgozó műveleteket szimulálja ezért az ipari szereplők számára gyakorlati eredményt biztosít. Fontos azonban megjegyezni, hogy a ma ismert hidegképlékeny lemezszabványok nem fogalmaznak meg elég szigorú kritériumokat a hajlítóvizsgálat eredményeire vonatkozóan. Ezért az a javaslatunk, hogy ahhoz, hogy az öregedés kisebb mértékét is megállapíthassuk nem elég csak a külső hajlítási íven jelentkező repedéseket ellenőrizni, vizsgálni kell még a lemezlelvékonyodást, a visszahajlított száruk egymáshoz mért távolságát,

valamint a hajlított belső ív sugarát is. Ehhez nem feltétlenül kell mikroszkópot alkalmazni hiszen kísérleteink bebizonyították, hogy a száruk távolsága, valamint a hurok mérete szabadszemmel is látható módon változik az öregedés hatására. Ez a jelenség nyilvánvaló összefüggésben áll az anyag időben bekövetkező felkeményedésével. A fentiekben bemutatott eredmények alapján megállapítható, hogy az általunk javasolt kiegészítéssel a kézi hajlítóvizsgálati eredmények jól tükrözik az öregedés végbemenetelét DC01 minőségű acél lemeztermékeken. Ugyanakkor azt is meg kell jegyezni, hogy a hajlítóvizsgálattal az öregedés előrehaladását csak indikatív módon lehet jelezni. Amennyiben az alakíthatóság leromlásának kezdeti szakaszát is kellő érzékenységgel szeretnénk kimutatni, úgy más, komplexebb vizsgálatokra (pl.

Nakajima-tesztre) van szükség. Ezzel együtt mivel a kézi hajlítóvizsgálat nem igényel speciális berendezést és különösebb szakértettséget sem, ha nincs szükség precíz eredményre, akkor az ipari szereplők sikerrel alkalmazhatják ezt az egyszerű módszert.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton fejezzük ki köszönetünket a Thyssen-krupp Materials Hungary Zrt.-nek a minták biztosításáért, valamint a Csepeli Szerszámedző Kft.-nek a hőkezelés elvégzéséért.

Irodalom

- [1] A. Hrivňák, L. Sobotová (1992): The influence of the deformational ageing and the conditions of stress on the properties of the deep-drawing steel sheet. *Journal of Materials Processing Technology*, 34(1–4), 425–430. [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(92\)90137-h](https://doi.org/10.1016/0924-0136(92)90137-h)
- [2] A. N. Bhagat, S.-J. Baek, H.-C. Lee (2008): A simple method for prediction of shelf life of bake hardening steels. *ISIJ Int.*, 48(12), 1781–1787. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.48.1781>
- [3] DIN EN 10130 (2007): Cold Rolled Low Carbon Steel Flat Products for Cold Forming. Technical Delivery Conditions. Deutsches Institut für Normung e.V.
- [4] ASTM E290 (2022): Standard Test Methods for Bend Testing of Material Ductility, American Society for Testing and Materials.
- [5] JIS G3141 (2017): Cold Reduced Carbon Steel Sheets and Strip, Japanese Standards Association.