

Új fejlesztések a palackfúvóknál

A palackfúvás érett, jól begyakorolt technológiának tűnik. A világon minden nap több milliónyi különböző célú és méretű műanyag palackot állítanak elő. A fejlesztés azonban itt sem állt meg. A Bekum egy nagyon praktikus fúvóberendezést fejlesztett ki 5 gallonos (18,93 literes) polikarbonát vizespalackok gyártására, amelyek nagyon népszerűek azokban az országokban, ahol az ivóvizet ilyenekben vásárolják. Az aacheni műanyagfeldolgozó intézetben (IKV, Institut für Kunststoffverarbeitung) viszont már az Ipar 4.0 időszakára készülve olyan számítógéppel támogatott tervezési programon dolgoznak, amellyel kialakítható a palack optimális merevsége, hogy a töltéskor vagy lezáráskor ráható függőleges terhelés ne deformálja a terméket.

Tárgyszavak: extrúziós palackfúvás; nagyméretű üreges testek; gyártóberendezés; palackforma; merevítés; optimalizálás; számítógéppel támogatott tervezés; polikarbonát.

Nagyméretű vizespalackokat a világ minden részében használnak ivóvíz tárolására és adagolására. (Itthon is előfordulnak olyan helyeken, ahol sok embernek kell hosszú ideig várakoznia valamilyen szolgáltatásra.) A 10 literesnél nagyobb űrtartalmú palackokat legtöbbször polikarbonátból (PC) fújják, mert ennek a műanyagnak kitűnőek a mechanikai tulajdonságai, emellett stabil, könnyen tisztítható és tökéletesen átlátszó, tehát egy pillantással ellenőrizhető, hogy mikor kell a palackot cserélni.

A legnépszerűbbek az 5 gallonos (18,93 literes) palackok, amelyekből rengeteget vásárolnak. Az internacionális, de berlini központú Bekum Maschinenfabrik GmbH egyik jelentős gyártója az extrúziós palackfúvó berendezéseknek. BA jelzésű gépcsaládját hosszú évek óta kedvelik a feldolgozók. BA 25 jelzésű fúvóberendezését kifejezetten az 5 gallonos palackok gyártására fejlesztette ki. Ennek a 200 kN záróerejű gépnek nagy a teljesítménye és gazdaságosan dolgozik. A záróegység nagyon stabil, kopásálló; a gépet tudatosan hosszú használatra, hosszú élettartamra szánták. A gépen szakaszosan dolgozó akkumulátor és tömlőtámasz van. Korszerű vezérlés és proporcionális hidraulika szavatolja az egymást követő ciklusok tökéletes reprodukcióját.

A gyártóberendezés plasztikáló része is minden igényt kielégít. A Bekum speciális csigái az anyagot optimálisan homogenizálják. Az energiatakarékos AC motor alacsony fordulatszámmal gondoskodik a polimer kíméletes megömlesztéséről.



1. ábra A Bekum berendezésén
fűjt fogantyús palack
a futószalagon

A szabadalommal védett spirálmenetes elosztófejnek köszönhetően a palack falvastagsága teljes 360°-ban egyenletesen vastag lesz, ami hozzájárul a termék reprodukálható minőségéhez. A fejlesztés eredményeképpen a palackokon nem lesznek elvékonyodó részek, nem észlelhetők ömledékfolyási vonalak vagy homályos foltok.

Az átlátszó palackokat speciális, többzónás temperálással ellátott fűvőberendezésben állítják elő. A palacknak van fogantyús (1. ábra) és fogantyú nélküli változata. Átálláskor egy mágneses betéttel cserélik ki a szerszám megfelelő elemeit. A gépen óránként 160 fogantyú nélküli, nettó 750 g-os palackot tudnak előállítani. Ezt a nagy teljesítményt a termék stabilitása és az a tulajdonsága teszi lehetővé, hogy a kivételkor 85 °C-os palack ezen a hőmérsékleten is tökéletesen átlátszó.

A palackok alapanyaga – országtól függően – a Bayer *Makrolonja*, a Mitsubishi *Novarexe* vagy más PC, néha több márka keveréke, de lehet friss granulátum és reciklátum elegye is, sőt 100% visszaforgatott PC-ből is fűjnek palackot. A feldolgozók tudatában vannak annak, hogy a PC kényes anyag, feldolgozás előtt ki kell szárítani. A gyártás végére maga a termék és a visszamaradó hulladék is nagyon kemény, a hulladék megörlése erre alkalmas berendezést igényel. Ehhez a Bekum vásárlóinak megbízható tanácsokat tud adni.

A gyártás termelékenységse automatizálással növelhető. A fogantyús palack gyártása és a fenéknél feltorlódo és levágandó anyag eltávolítása is automatizálható.

Üreges testek automatikus optimalizálása számítógépes programmal

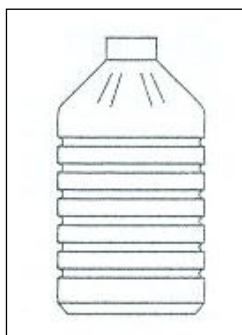
Extrúziós fűvőformázással gazdaságosan lehet bonyolult formájú és nagyon különböző térfogatú üreges testeket előállítani. Az ilyen gyártmányok többségét a csomagolóipar használja fel (zömükben palackként), de műszaki cikkek, pl. autóalkatrészek is készülnek ezzel a technológiával. A fűvőformázással foglalkozó fejlesztők elsősorban arra törekszenek, hogy gyártmányaik a lehető legjobban kielégítsék a használatuk közben elvárt követelményeket, de ugyanilyen fontos az is, hogy funkciójuk sérelme nélkül csökkentsék a termékekhez felhasznált anyag mennyiségét, a gyártási költségeket és a hulladékképződést. Az optimalizálást általában empirikus kísérletekkel és a feldolgozók tapasztalatainak felhasználásával végzik.

Az üreges testek struktúrmechanikus tulajdonságaival eddig nem nagyon foglalkoztak. Pedig amikor egy palack végighalad a töltősoron, töltéskor és a palack lezárásakor óhatatlanul el kell viselnie egy tengely irányú függőleges terhelést. Ha a palack fala valahol túl vékony, a palack megroggyanhat, a selejtes palack és a veszendőbe ment töltet növeli a kárt.

A palackokon néha látni függőleges merevségüket növelő szerkezeti elemeket, pl. vízszintes bordázatot vagy változó keresztmetszetet, amelyeket empirikus eszközökkel alakítottak ki. Az aacheni műszaki főiskola (RWTH) Műanyag-feldolgozó Intézetében, az IKV-ben ezért elhatározták, hogy kifejlesztenek egy olyan számítógéppel támogatott tervezési programot, amellyel optimalizálják a palackokon kialakított merevítő formaelemeket. Ennek érdekében egy fúvóformázást szimuláló szoftvert társítottak egy szerkezetszimulációs (struktúrszimulációs) szoftverrel, ebbe pedig beépítettek egy optimalizáló rutint. A szoftver kiépítése előtt empirikus kísérleteket végeztek.

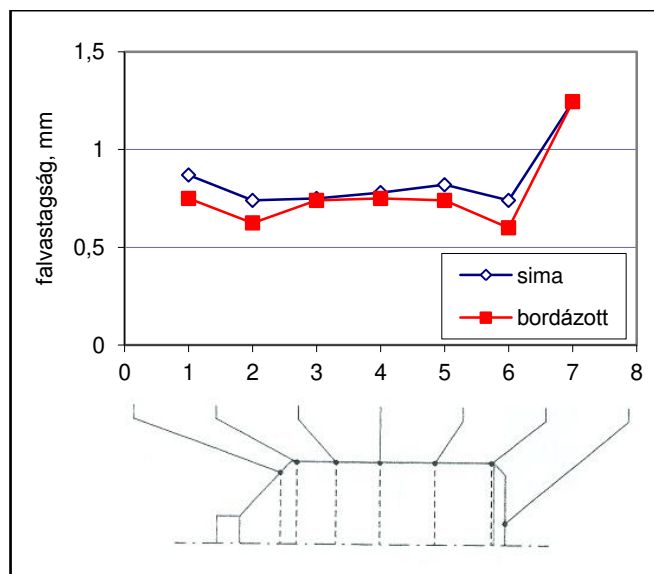
Az empirikus kísérletek

Az empirikus kísérletekben sima falú és 6 bordával erősített kb. 1,5 literes, palackokat (2. ábra) vizsgáltak. A palackokat PE-HD-ből (a LyondellBasell Industries N.V. Lupolen 5021 DX márkanévű nagy sűrűségű polietilénjéből) gyártották a Bekum BM-206 típusú fóliafúvó berendezésén.



2. ábra Az empirikus kísérletekben vizsgált bordázott palack. A palack henger alakú részének magassága 19 cm, a henger átmérője borda nélkül 9 cm, a bordák szélén a peremek sugara 3 mm. A sima falú palack fő méretei ezzel azonosak

A fal mindkét palacktípuson a palack válla és hengeres teste közötti átmenetnél, ill. a henger és a talp közötti átmenetnél volt a legvékonyabb, a palacktest közepénél pedig a legvastagabb (3. ábra). Ez érthető, mert fúváskor az előforma itt éri el a fúvószerszám felületét, a szélekig pedig hosszú utat kell megtennie. A legvastagabb a palack talpa, ahol az összezáródó fúvószerszám összenyomja az extrudált csövet. A kétféle palackon mért falvastagságok eloszlása nagyon hasonló. A bordázott palackon mért valamivel kisebb falvastagságok a bordák révén megnövekedett felületnek tudható be. Mikroszkópos vizsgálatok azt mutatták, hogy az egyes bordákon belül is azok közepén a legvastagabb a palackok fala.



3. ábra A sima és a bordázott palackon mért falvastagság-eloszlás

A szimulációs rutin felépítése

A szimulációs rutin az Accuform (Zlin-Stipa, Csehország) *B-Sim* szofverjének folyamatszimulációs részéből és a Dassault Systemes S.A. Vélizy-Villasoubly Cedex, Franciaország) *Abaqus* szofverjének struktúrszimulációs részéből áll. A palackokon alkalmazott terhelési próbáknál leggyakrabban az ún. *Topload* eljárást használják, amelyben üres vagy részben töltött palackokat függőleges nyomásnak tesznek ki, és azt mérik, hogy mennyire állnak ellen a terhelésnek az előre kijelölt deformációs út alatt.

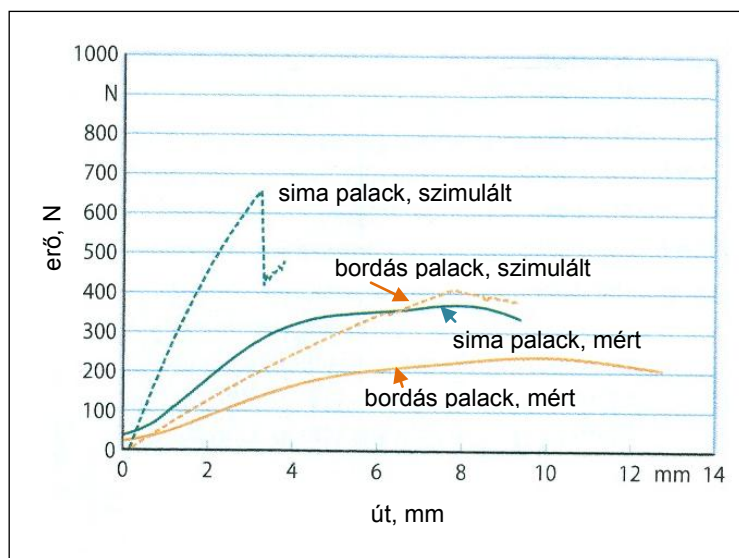
A *B-Sim* az extrúziós és nyújtva fűvások palackgyártás szimulációjára szolgáló szofver. A szimuláció háromdimenziós végeelemes modellezésre (3D-FEM) támaszkodik és az anyagok viselkedését a *K-BKZ Modell* (Kaye, Bernstein, Kearsley és Zapas szerint) ábrázolja. Az ezzel a szofverrel kapott falvastagság-eloszlások hasonlóak voltak az empirikus kísérletben mértetekhez.

A szimulációban az extrudált előforma modelljének átmérője és falvastagsága egyenletes volt. A célként kitűzött automatikus optimáló rutin azonban nem indítható el ilyen konkrét adatokkal, a szimulációhoz az iterációt itt egy algoritmus aktivizálja. Az ehhez szükséges programozó illesztő egység azonban hiányzik a *B-Sim* szofverből. A kutatók ezért egy térképezési algoritmust (mapping algoritmus) alkalmaztak, és ennek segítségével hasonlították össze a palackokon mért és szimulált értékeket. A falvastagság-eloszlásban a görbék nagyon hasonlóak voltak, de a szimulált értékek a palackok felső részén valamivel nagyobbak, az alsó részben valamivel alacsonyabbak voltak a mért értékeknél. Az eltérés azonban sehol nem volt nagyobb 15%-nál.

Jóval nagyobbak voltak az eltérések a terhelési próbák mért és szimulált értékei között (4. ábra). Kiderült azonban, hogy a bordázott palackok gyenge pontján, a hen-

ger és a talp átmeneténél a szimuláció 0,55 mm-es falvastagságot jelzett, a mérésekben mindössze 0,35 mm-t mértek. A szimulációt az utóbbi falvastagsággal megismételve a két görbe gyakorlatilag fedte egymást.

Megállapították, hogy a függőleges terhelés hatását a falvastagságra stuktúrszimulációval nem lehet pontosan előjelezni. Ennek fő oka az volt, hogy a falvastagság térképezési algoritmussal végzett appoximálása (közelítő pontossággal végzett meghatározása) nem volt tökéletes. Ennek ellenére úgy gondolták, hogy a szimuláció kvalitatív eredményei a tervezésben felhasználhatók.



4. ábra A sima és a bordázott palackon mért és szimulált értékek

Az optimálós rutin eredményei

Az optimálást a *Matlab* szoftver felhasználásával végezték. Az algoritmusok kiválasztásakor figyelembe kellett venni, hogy az optimálós rutin egy „fekete doboz”. (A Black Box Concept olyan rendszerelméleti eljárás, amelynek során a rendszer belső felépítését figyelmen kívül hagyják, és kizárólag az inputok és outputok közötti összefüggések alapján próbálnak következtetéseket levonni a rendszer működésével kapcsolatban.) Alapvetően a determinisztikus és a sztochasztikus optimálós algoritmusok közül kellett választani. Az előbbieket a Newton elmélet szerint működnek, első lépésben meghatároznak valamilyen paramétereket, majd ezeket fokozatosan módosítják. A sztochasztikus vagy evolúciós algoritmusok véletlenül kiválasztott paraméterkészletekkel dolgoznak.

A célfüggvény (Qualitätsfunktion, jele Q_{topload}) a függőleges terhelés homogén eloszlása a palack falában, azaz a legnagyobb feszültség (S_{max}) és a palack különböző elemeiben fellépő feszültségekből számított átlagfeszültség különbségének lehető legalacsonyabb értéke.

$$Q_{topload} = S_{\max} - \frac{1}{n_{elemek}} \Sigma S$$

Az evolúciós stratégia az adott paraméterkészletet ún. mutációval, rekombinációval és szelekcióval optimálja. Mindenkor csak egyetlen paramétert módosít. Megváltoztathatja a borda peremének a sugarát, de megváltoztathatja a bordák számát is. Evolúciós algoritmussal 121 iteráció után sem észleltek konvergenciát egy optimális forma felé, ezért ezeket a próbálkozásokat megszakították.

A kutatók tehát a determinisztikus algoritmus alkalmazása mellett döntöttek. A szimuláció indításakor véletlenszerűen választották ki az első paramétereket. Az algoritmus ezután az 1.–3. iterációs lépésben vizsgálta meg, hogy hogyan hatnak az egyes paraméterek a célfunkcióra. Az első lépésben megnövelték a bordák peremének a sugarát, ez által csökkent a célfunkció értéke. A második lépésben a bordák számának növelése ellenkező hatással járt. A harmadik lépésben megnövelték a palack megengedhető deformációját, ami ugyancsak csökkentette a célfunkciót.

A 4. iteráció volt az első optimálási lépés. Ebben a paramétereket erősen megváltoztatták, a perem sugarát ötszörösére növelték, a bordák számát csökkentették, a vizsgálatban alkalmazott deformációt a maximális érték közelében jelölték ki. Mintegy 45 iteráció után érték el a célfunkció minimális értékét. Az optimális palack négy bordát tartalmazott, ezek peremének sugara 8,3 mm volt, a bemélyedő bordák 72%-ban félkör alakúak voltak. A borda nélküli palackon 34 N/mm² célfunkciós értéket mértek, az optimált palackon ez ötödére, 7 N/mm²-re csökkent. A borda nélküli palackban a feszültségcsúcs a palacktest és a palack talpa között alakul ki, az optimált palackban a deformáció okozta feszültség a négy borda között egyenletesen oszlik el.

Összeállította: Pál Károlyné

Lubos, Ph.: Wasserbehälter aus PC immer gefragter = Technologie Blasformtechnik, 2018. febr. 23. p. 17.

Twardowski, B.; Schäfer, S.; Hopmann, Ch.: Hohlkörper automatisiert optimieren = Kunststoffe, 107. k. 12. sz. 2017. p. 57–61.