

Digitális tanulási és minőségbiztosítási módszerek a műanyagiparban

A cikk a digitális tanulás (e-learning) előnyeit mutatja be, valamint az úgynevezett „digitális iker” (DT) technológia lehetőségeit a terméktervezésben a kompaundálástól a késztermék fáradásának előrejelzéséig. A (DT) technológia kísérleti és modellezési „hibridjének” alkalmazhatóságát egy konkrét példán is megerősítjük.

Tárgyszavak: online oktatás, digitális tanulás, szimulációs szoftverek, digitális iker technológia, „hibrid felhő”, big data

Digitalizálás – fenntarthatóság, a továbbképzés lehetőségei

A negyedik ipari forradalom korszakát éljük, ami alapjaiban formálja át a gazdaságot, a munkahelyeket és a társadalmat. Az Ipar 4.0 számos fizikai és digitális technológia, a fejlett elemzőrendszerek, a mesterséges intelligencia, a kognitív technológiák és a dolgok internete kombinálásával lehetőséget kínál arra, hogy valóban digitális vállalkozások jöhessenek létre, amelyek a jelenleginél jóval több és pontosabb információ birtokában hozhatnak döntéseket. Ahhoz, hogy egy digitális módra átalált vállalatban a nagy adatmennyiség új hozzáadott értéket tudjon teremteni, adatvezérelt üzleti modellekre van szükség. Az adatvezérelt üzleti modell koncepciója az adatokra, mint teljesítménytényezőkre épít. Értéket teremt az adatalapú szolgáltatások igénybe vevői számára az adatpontokért cserébe. A „big data” használata és az adatvezérelt üzleti modellek fejlesztése azonban még mindig komoly kihívást jelent sok vállalat számára.

A Hewlett-Packard vezérigazgatójának CEO (Chief Executive Officer) véleménye szerint a számítógéppel feldolgozható fizikai műveletek köréből már mindent digitalizáltak. A műszaki műanyagágazat digitálizálása jelenleg mégis felbecsülhetetlenül nagy tartalékkal rendelkezik, nem számítva az új kihívásokat, amelyeket sokan a szakterületen sem ismernek fel. Jóllehet a 90-es évek közepére tekintélyes eredményt értek el a szaktudomány szoftverfejlesztői, a műanyagipari alkalmazástechnikában a magasan képzett munkaerőhiány ellenére napjainkban egyre több sikeres új digitális megoldás lát napvilágot. A környezetvédelem érdekében a kommunális hulladék körforgásos újrahasznosításával folytatott időszerű technológiai változtatások vitathatatlanul növelték a hierarchikus számítástechnikai területen tevékenykedő pályamódosítók kedvét a felsőfokú informatikai továbbképzéshez, amely új minőségű, magasan kvalifikált munkaerőt eredményez.

A kedvező árfekvéssel hirdetett digitális képzések nagymértékben elősegítik az online oktatás népszerűsítését. A hagyományos személyes tanításhoz képest az idő-, és térbeli korlátoktól mentes online képzés kisebb anyagi terhet jelent, azonban nem segíti a képzésben résztvevők társas interakcióját. Hermann Ebbinghaus tanulással és emlékezettel foglalkozó kísérleti pszichológus beható vizsgálatának eredményeként feltárt, nevével fémjelzett „felejtési görbe” szerint valamely képzésben résztvevők az egyszeri tanítási impulzusból kapott ismeretek több mint 80%-át néhány nap alatt elfelejtik. A felejtés az egyszerre kisebb léptékű memorizálási dózisosok

elsajátításával és az önállóan végzett ismétléssel mérsékelhető. A folyamatos aktivizálás, ismétlés és a tanultak saját alkalmazása révén rögzül a tudás, és ily módon sikeres lesz a magas szintű tudás átvitel.

A XXI. század felsőfokú továbbképzése elképzelhetetlen az „e-learning”, az elektronikus oktatási forma nélkül, ahol a tananyag feldolgozásához, megtanulásához digitális médiumokat (internet) használnak. A köztudatban online tanulás néven ismertté vált, számítógéppel támogatott tanulás költség- és időhatékony kommunikáció. A **Thornagel GmbH** (Giebelstadt, Németország) műanyagipari szakképzésre kifejlesztett Tech2Know online kurzusa műanyag-feldolgozó vállalatoknak nyújt hatékony segítséget az e-learning tanulási módszer elsajátításában. A humán erőforrással foglalkozó vállalat álláspontja szerint ennek kivitelezése leginkább a humán képességfejlesztés vertikális és horizontális megvalósításával érhető el. Csak ezután sorolható a kreativitás és az önhatékonyság. A vertikális megvalósítás a vállalati hierarchián keresztül jön létre, a horizontális megvalósítás pedig közösségekben, az egyéni tanulás, folyamatos aktivizálás útján realizálódik. A bemutatott szakképzési módszerek közül a Thornagel GmbH véleménye szerint csak a közösségi tanulás teremti meg az innovációt, a kreativitást, az önhatékonyságot és aktivizálja a munkáltatói márkaépítést.

Számos cég kínál digitális tanulási programot különböző feldolgozási módszerekhez, az *1. táblázatban* példaként a **Moldex3D** cég tanuló szoftverének „tanrendjét” mutatjuk be.

A „digitális iker” technológia a műanyag feldolgozástechnikában

Optimalizált élettartamú műszaki alkatrészek előállítása adatvezérelt alkalmazással

Ahogy sok más iparágban, a műanyagiparban is, a fröccsöntött elemek kiterjesztett felhasználásakor a hosszútávú vállalati elgondolások összeállításakor – a releváns tulajdonságok kiemelésével – fokozott figyelmet fordítanak a gyártott termékek nagyobb mechanikai teherviselő képességére. A minőségbiztosítás kialakításakor kiemelt szerepet tölt be az alkatrész geometriája, a növekvő választék, a tartóssággal összefüggő követelmények és erőforrás-hatékonyság, valamint a növekvő ráfordítási költségek. A gyártóipar az elmúlt néhány évben gyökeres változáson esett át, a cégek az Ipar 4.0 keretén belül a termékek és technológiai folyamatok minőségorientált, adatvezérelt továbbfejlesztéséhez és optimalizálásához egyre szélesebb körű digitalizációt, hálózatokat hoztak létre.

A műanyagipar számára lényeges az Ipar 4.0-ként ismert, információs és kommunikációs technológiák közvetlen hatása és széleskörű elterjedése, amelyek lehetővé tették a hálózatba kapcsolt, intelligens eszközök gyártásba történő integrációját. A „digitális iker” alapjában véve a fizikai eszköz és annak virtualizált, számítógépes mása, amely lehetővé teszi annak számos, különböző célból történő szimulációját. A digitális iker műanyagiparban való alkalmazása különös jelentőségű, mivel a műanyaggyártás lényegében több, egymást követő technológiai műveletben megy végbe. A termelési lánc első szakaszában a műanyagtermék tulajdonságainak biztosításához szükséges alkomponensek, erősítő szálak és adalékok összekeverése zajlik, majd ezt követően a kompaundált alapanyagok feldolgozása során extrudálási, fröccsöntési vagy egyéb technológiai eljárással célszerszámban állítják elő a célzott geometriájú elemet, árucikket, amelyet adott esetben utóműveletekkel (pl. hegesztéssel) véglegesítenek (lásd az *1. ábrát*).

A digitális iker a technológiákon és vállalatokon átívelő adatanalízis bázisaként a műanyagiparban olyan új lehetőségeket hordoz magában, amelyek a műanyag-feldolgozás során a

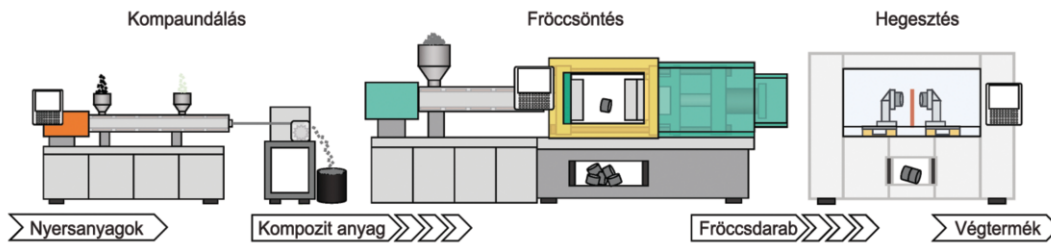
1. táblázat.

A Moldex3D digitális szimulációs szoftverjének „tanrendje”
(https://www.moldex3d.com/products/moldex3d-plastics_e-learning/).

	Téma	Célok	Tartalom
1. e-osztály	A fröccsöntés kialakítása	Leírja a fröccsöntés alapjait és a folyamat kialakítását A cél az, hogy megtanuljunk, hogyan tervezzük a terméket és hogy javítsuk a tömegtermelés minőségét	1. Bevezetés a termékfejlesztésbe 2. Bevezetés a fröccsanyagokba 3. Szerszámfejlesztés és tervezés 4. Alkalmazás a fröccsgépre 5. A termék fröccsöntése és alapvető hibaelhárítás
2. e-osztály	A fröccsgép működése	A cél az, hogy megértsük a fröccsgép szerkezetét és beállításait oly módon, hogy interaktívan működtetünk egy virtuális fröccsgépet	1. A fröccsöntés alapjai 2. A szerszámozás folyamata 3. Az alapvető paraméterek beállítása 4. A virtuális fröccsgép működtetése
3. e-osztály	Forrócsatorna	Bemutatja az elméleti hátteret, és konkrét példákön a forrócsatorna előnyeit és hasznát	1. Bevezetés a forrócsatornás fröccsöntés elméletébe 2. Bevezetés a forrócsatorna szerkezetébe, esettanulmányok
4. e-osztály	A szerszámok szerkezete és esettanulmányok	Esettanulmányok a terméktervezésre, szerszámtervezésre, a paraméterek beállítására, az anyagok kiválasztására és értékelésére	1. A tervezéstől a gyártásig vezető folyamat megértése esettanulmányok felhasználásával 2. Az elméleti analízis bizonyítása alkalmazás során
5. e-osztály	A fröccsgép működtetése	3D gép és szerszámpróba segítségével a felhasználó olyan visszajelzést kap, mint amilyent egy helyszíni működtetéssel, és gyorsan gyakorlati tapasztalatot nyer	1. A fröccsgép szerkezete 2. A fröccsgép működtetése 3. A vezérlőpanel működtetése 4. Szerszámpróba menete
6. e-osztály	Kvíz	A vizsgakérdések bizonyítják, hogy a tanuló megértette-e a fröccsgépre vonatkozó tananyagot	1. A fröccsöntési folyamat kialakítása 2. A forrócsatorna elmélete és használata 3. A fröccsgép kezelése

technológiai folyamat és a gyártott alkatrész minőségét előrelátó és előrejelző (proaktív & prediktív) módon felügyelik és javítják.

Az aktuális fejlesztések az Ipar 4.0 vonatkozásában nagy lehetőségeket tartalmaznak a jövő értéktermelési láncolatának aktív és rugalmas kialakításához. Költséghatékony szenzorok és adattárolási lehetőségek, a kis energiafogyasztású „modern” beágyazott rendszerek, IoT (Internet of Things – a Dolgok Internete), a különböző innovációk kombinációját átfogó „Big Data”



1. ábra. Egy gyártási folyamat sematikus bemutatása, amelyre a „digitális iker” modell alkalmazható.

analitikai technológiák elősegítik a kiberfizikai rendszerekhez (Cyber-Physischen Systemen – CPS) kapcsolódó értéktermelési láncokban integrálódott digitalizációt és hálózat kialakítását. A CPS rendszerek a mechanikai alkatrészek hálózatán és modern információs technológián keresztül összekapcsolódva komplex rendszerek és infrastruktúrák kezelését, valamint vezérlését teszik lehetővé.

A kiberfizikai rendszerek központi szerepet játszanak az Ipar 4.0 folyamataiban. A CPS lényeges alkotóeleme a digitális iker, amely olyan alkalmazáspecifikus adatokat tartalmaz, amelynek átalakítását egyedi szoftver és adatstruktúra modell végzi. A műanyagtechnika a digitális iker a valódi, reakcióba lépő polimer láncok speciális értelmezését, annak virtuális dinamikus reprezentációját szolgálja. Ahhoz, hogy az adatvezérelt feltételek, mint például az előrejelző modellek és szimulációk technológiai folyamatokon keresztül mindvégig jól működjenek, a gyártási folyamatban keletkező, a különböző adatforrásokból származó összes információ integrálását, összekapcsolását, összefoglalását meg kell valósítani.

A gyakorlatban az integrált adathálózat ellenőrzését a termelés zavartalansága érdekében többnyire heterogén informatikai környezetben végzik. Például a fröccsöntés és a műanyag hegesztés és a fröccsöntési feldolgozási művelethez tartozó kompaundálás egyes lépéseiben szereplő technológiai adatok informatikai adaptációja és kezelése szinte kizárólag gépi szoftverek segítségével történik. Mivel az egyes informatikai feldolgozást igénylő technológiai folyamatok nem feltétlenül egyetlen helyszínen és még csak nem is azonos vállalatnál mennek végbe, ez idáig nem készült folyamatokon átívelő adatcsere és adaptáció. Ezen felül a különböző forrásokból származó adatok kapcsolódását is többféle referenciaszint nehezíti. A regisztrált nyomás, hőmérséklet, hidraulika folyadék értékek speciálisan a vizsgált technológiai folyamatra és a feldolgozó gépre jellemzőek. Az adatrögzítés módja sem egyforma az állandó üzemmódú technológiai folyamatoknál (nyersanyag előállítás, kompaundálás) és a szakaszos üzemben működő fröccsöntés esetében.

Időszerű követelmények

A korszerű műanyag-feldolgozási módszerek közé tartozó fröccsöntéssel magas minőségi előírásokat kielégítő, nagy terhelések elviselésére képes összetett elemek több százezer darab/év mennyiségben állíthatók elő. Gazdaságos gyártás azonban csak rövid ciklusidővel valósítható meg. Beavatkozást igénylő helyzet áll elő, amikor a termelési folyamatban valamely technológiai paraméter ingadozása miatt gyengébb minőségű végterméket állítanak elő, a hiba elhárítását pedig csak a következő sarzs elindítását megelőzően, plusz költség ráfordítással kezdenek meg.

A hasonló problémák elkerülésével az iparban évtizedek óta kifogástalan minőségű gyártott elemek fröccsöntésére törekednek. A technológiai folyamatmonitorozáson alapuló, két állapot közötti különbséget jelző szabályozási koncepciókat (ezek nem a rendszer pillanatnyi állapotától függenek) valamennyi fröccsöntő berendezés viszonylag pontosan teljesíti /végrehajtja. A fröccsöntési

folyamat idején, valamint az azt megelőző és az utána következő feldolgozási folyamatokban ugyancsak számos nem mérhető zavar van jelen. Ebből következően a fröccsöntési művelet során az azonos értékre beállított technológiai paraméterek ellenére a termelési folyamatban nem teljesen azonos minőségű termékek is készülhetnek. A technológia folyamatokban zavarnak minősülnek például a gépkopás, a különböző sarzsok anyagviszkozitásának ingadozásai, valamint a hűtőfolyadék külső okokból bekövetkező hőmérsékletváltozása. A feldolgozó gépet- vagy technológiai folyamatot közvetve befolyásoló tényezők nem képezhetők le elég pontosan, ezért az ilyen típusú zavarok kiszűrését nem tudták korábban megoldani.

A kompaundálásból származó folyamatadatoknak a műanyagfröccsöntési műveletben technológiai bemenő adatként történő felhasználásához és az előállítandó elem megcélzott minőségének eléréséhez a digitális iker modell alkalmazása nyújthat segítséget.

Adatvezérelt minőségoptimalizálás

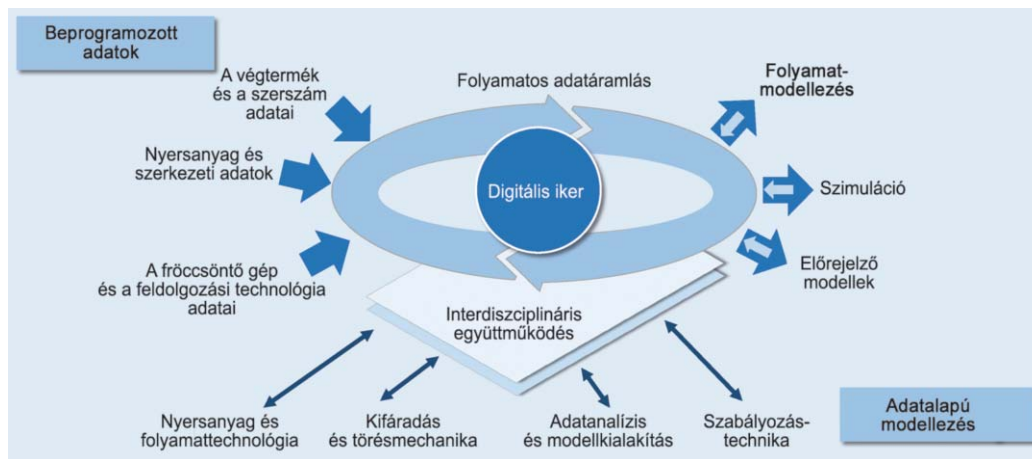
A modern adatanalízisben a nagy léptékű technológiai megközelítés módszerét a nagy adathalmaz automatikus kiértékeléséhez alkalmazzák. A gépi tanulás (Maschinelle Lernen – ML) módszerével a tapasztalatból a gépi tanulás algoritmusai által létrehozott statisztikai modell segítségével felismerik a tanulási adatok mintáit és szabályszerűségeit. Az ipari szektorban különösen a regisztrált adatok bázisán alapuló, jövőben bekövetkező események prognózisában van nagy jelentősége az előrejelző feldolgozási eljárásnak.

A műanyag-feldolgozásban a gép új csatlakozási pontjain és hálózati csatlakozásain gyűjtött adatok, valamint az ipari anyagtechnika, a magas szinten követett és rögzített gépi, technológiai, nyersanyag- és szerkezeti adatok folyamatosan növekvő adatbázist képeznek. A különféle adatok növekvő mennyisége, jobb minősége, a feldolgozandó anyag eltérő felbontása beható folyamatmodellezést, adat alapú szimulációt és a szakirodalomban is fellelhető előrejelző becslést tesznek lehetővé, illetve rámutatnak arra, hogy további kutatásra van szükség.

A kutatómunka középpontjában a fröccsöntési technológiai folyamatparaméter valós idejű gépi tanulási (németül ML, angolul EL rövidítéssel) módszerrel való fejlesztése, vagy a „mélytanulás” (Deep Learning – DL) alkalmazásával végzett fröccsöntési folyamatban fellépő anomáliák és a folyamatbeállítások közötti korrelációk elsajátítása és ezeknek az aktuális folyamatokra való alkalmazások kidolgozása áll. A tanulási folyamat időtartamától és bonyolultságától függően a fröccsöntéssel előállítandó elem lényeges minőségi tulajdonságára vonatkozó javaslat az ipari alkalmazásban mindaddig nem terjedhetett el, amíg az automatizált adatok és algoritmus megválasztáshoz szükséges fejlesztések népszerűvé nem váltak. Bebizonyosodott, hogy az egyes technológiai folyamatokon alapuló, jelenleg elérhető módszerek külön részfolyamatokra korlátozódnak. Ezek gyenge pontja a folyamatokon átívelő szemléletmód és olyan további adatok, mint például a kompaundok létrehozásához szükséges, indikátorként működő, ingadozó anyagtulajdonságok figyelembevételének hiánya.

Visszacsatolás a digitális ikerben

A digitális iker adatainak kiterjedt használatára még nem került sor, további beavatkozás vált szükségessé, különösen az analitikai vizsgálatok adatainak visszacsatolásakor, például a digitális ikerben történő adat alapú modellezés során. Ebben a szemléletmódban a hagyományos adatforrások (anyag, folyamatadatok, végtermék) mellett a feldolgozási folyamat viszonylatában számos további vizsgálandó adatforrás található. A digitális iker koncepciót az 2. ábra szemlélteti.



2. ábra. A digitális iker működési elve.

A fröccsgépek és a fröccsöntött termékek fejlesztéskor CAD (Computer Aided Design) programokat használnak, amelyek többek között a geometriához szállítják az adatokat. Napjainkban a CAD szoftverek az építőmérnökök, építészmérnökök és gépészmérnökök legalapvetőbb tervezőeszközei. A termék- és szerszám adatok bemenő adatként (input) szolgálnak az ömledékáramlás szimulációjához, azaz a szerszámkitöltés elemzéséhez, és ez segít potenciálisan alkalmas folyamatparaméterek beállításában. Ezen felül a szimuláció információt ad a termék feldolgozás utáni geometriai adatairól (amely nem feltétlenül egyezik meg a tervezettel), a zsugorodásról, a vetemedésről, a térfogat- és méretkülönbségekről, valamint a szálerősített végtermék esetében a szálorientációról. Az áramlási és szerszámkitöltési szimulációk, a szerkezeti, valamint a szálorientációt leíró nemlineáris, több léptékű anyag- és szerkezeti modellek segítenek annak eldöntésében, hogy milyen gépbeállítások mellett lép fel a legkisebb deformáció a termékben.

A valódi fröccsöntött elemmel szemben támasztott későbbi követelményprofil elkészítéséhez különböző vizsgálatok szükségesek. A mechanikai tulajdonságok jellemzéséhez szakító-, nyomó-, hornyolatlan és hornyolt ütvehajlító szilárdság, rugalmassági modulus meghatározások stb. elvégzéséből származó eredményeket, adatokat táplálnak be a digitális iker modellbe. A fröccsöntött elem alapvető fáradási viselkedési előrejelzéséhez szükséges időről időre szűrőpróba-szerűen ciklikus-dinamikus fáradási vizsgálatot végeznek. Előzőleg azonban a próbadarabot vagy fröccsöntött elemet több millió terhelési ciklusban meghatározott terhelésnek vetik alá, amelyet követően számszerűsített feszültség–nyúlás értékeket állapítanak meg. Valamely anyag, vagy alkatrész fáradási szilárdságának meghatározására a Wöhler-teszt szolgál, amelynek eredményeit a Wöhler görbén rögzítik.

A hagyományos egytengelyű mechanikai feszültség–nyúlás vizsgálatok mellett egyre gyakrabban végeznek kétdimenziós (2D) optikai nyúlásmérést is a pontos, jól definiáltan látható, számszerűsíthető deformáció megállapítása céljából. A szálerősített végtermék szerkezetének feltárásánál mikroszkópos, vagy komputertomográfias képalkotással képzeletbeli szeletekre bontott háromdimenziós (3D) vizsgálat alkalmazásával meghatározzák az erősítőszál orientációját, a végtermékben lévő hibahelyeket, üregeket. Mindkét vizsgálati módszer képi adatokat szolgáltat, amelyek kiértékelése jelentős személy- és erőforrás igényű.

A kifáradási és a szerkezetfeltáró vizsgálatok eredményeiből vezetik le a végelem (FEM) élettartam károsodás- és törésmechanikai modellt, amellyel az anizotróp szálerősített végtermék pontosan meghatározott terhelési körülmények között létrejövő repedésképződési és a repedés-terjedési hajlamát adekvát módon képesek leírni és megjósolni. A károsodási mechanika célja a

mikrotartományban fellépő károsodási folyamatok rögzítése az anyagmodellben, a törésmechanika a makrotartományban keletkező repedéseket vizsgálja.

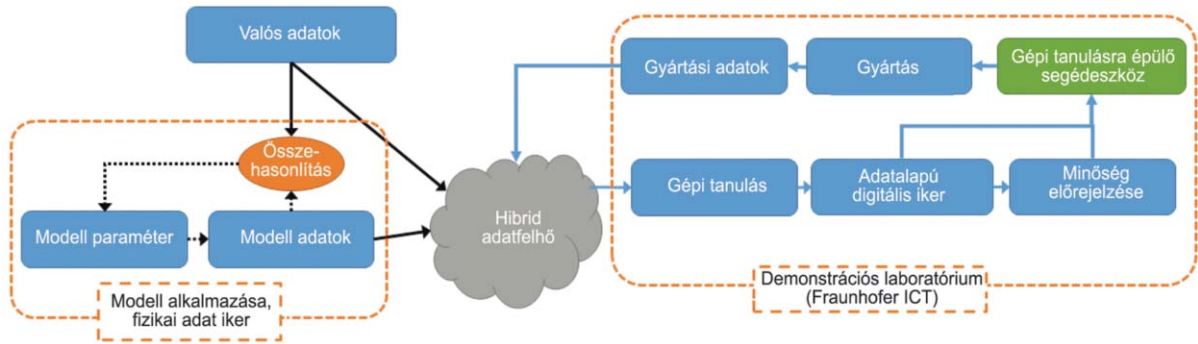
A fröccsöntött végtermék kifáradási viselkedésére jellemző mechanikai vizsgálati adatok a technológiai folyamatadatokkal együtt a digitális ikerbe való visszacsatolásakor az **Arburg GmbH** véleménye szerint csak a kísérleti üzemi körülmények között folytatandó modellezés szimulációjához elegendők. Valamennyi körülmény figyelembevételével azonban a mechanikai vizsgálatok eredményei, valamint a statisztikai valószínűségeen alapuló becslések a termelési folyamat különböző időpontjaihoz tartozó technológiai adatokat szolgáltatnak.

Kutatási és fejlesztési célok

A termékfejlesztés célja, hogy a gyártás korai szakaszából származó adatok felhasználásával végzett magas színvonalú termékminőség- és jövőbeni élettartambecslés segítségével a gyártási folyamat befolyásolható és korrigálható legyen. Ehhez a rendelkezésre álló és az interneten elérhető adatbázisok mellett a digitális iker prediktív (előrejelző) melléklete is szükséges, hogy a termék gyártásához a folyamatparaméterek – mint például a ciklusidő – szabályozása és az ezt eredményező optimális végterméktulajdonságok beállíthatók legyenek. A termékminőséget befolyásoló tényezők összefüggése és kölcsönhatása számos részletes kutatás elvégzését írja elő. A vizsgálatok eredményei több szakterületet átfogó elemzés értékeléséből jönnek létre ahhoz, hogy a nyersanyagfeldolgozás, a technológiai folyamatok, a termék kifáradási és törésmechanikai viselkedése, valamint az adatrögzítés és adatátvitel modellképzés kivitelezhetővé váljon.

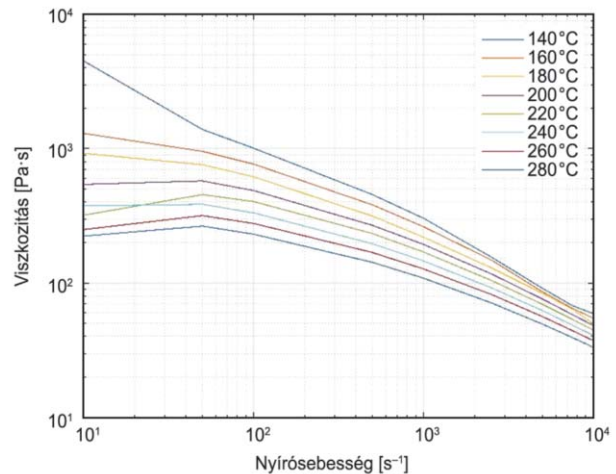
A digitális iker modell alkalmazása extrúziós kompaundálási technológia optimalizálására

Az olyan folyamatos technológiák digitális iker modelljének megalkotása, mint a kompaundálás, komoly nehézségekbe ütközik, és a „fordított mérnöki tevékenység” (reverse engineering), azaz a kívánt tulajdonságokból történő kiindulási anyagok és paraméterek meghatározása többnyire nem lehetséges. A modell alapú szimuláció elvégzéséhez jól felkészült szakértői gárdára és jó minőségű bemenő paraméterekre van szükség, a tisztán adatalapú megközelítés pedig gyakran nem elég megbízható a rendelkezésre álló adatok korlátos száma miatt. A két módszer ötvöztetésével – azaz bizonyos mennyiségű mérés elvégzésével és elméleti modellek felhasználásával a folyamat optimalizálható. A létrehozott szimulációs rendszer kis és közepes vállalatok számára könnyíti meg a digitális iker modellekkel történő folyamat-optimalizálást, pl. az energiafelhasználás és a jobb termékminőség összhangba hozását. A kompaundálás, amelynek során a polimer komponenst (egyet vagy többet), adalékokat és adott esetben töltő vagy erősítőanyagokat dolgozunk össze egyetlen végtermékké, meglehetősen komplex, fizikai és kémiai összetevőket érintő folyamat, ráadásul elég nagy a folyamatváltozók száma is. A kontrollálható tényezők mellett számos véletlenszerű (sztochasztikus) változó is szerepel, amelyek befolyásolják többek között a keverék homogenitását és a műanyag komponens termikus károsodásának mértékét. Az optimális feldolgozási paraméterek pedig gyakran ellenmondásban vannak a gazdaságossággal (pl. a kihatással vagy a fajlagos energiafelhasználással). A hagyományos, próba-hiba módszerrel történő optimalizálás egyre ritkábban felel meg a követelményeknek. Egyfajta lehetséges hibrid megközelítést vázol a 3. ábra. Egy minimalizált, kísérlettervre vagy tapasztalatra épülő paraméter-térben valós feldolgozási adatokat kell gyűjteni, és ezeket be kell vinni a szimulációs szoftverbe (itt a www.sscconsultants.com/ludovic-screw-simulation-software.html oldalon leírt

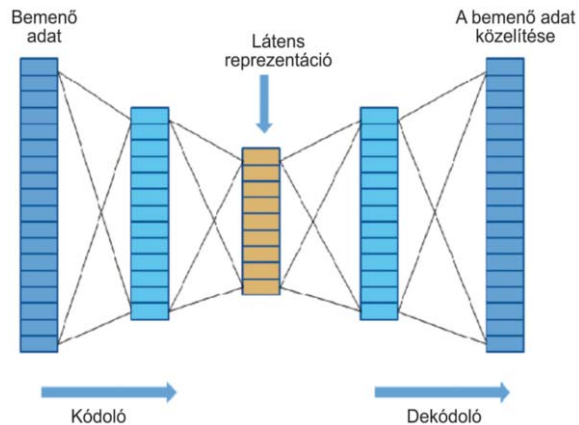


3. ábra. A digitális iker (DT) modell megalkotásának egy lehetséges módja.

szoftverbe). Ilyen módon az adathelyben már előállíthatók a köztes paraméterekhez tartozó állapotok is, amelyeket fel lehet használni a digitális iker megalkotásához, amely már mind a szimulációs adatokat, mind a kísérleti adatokat tartalmazza. A kísérleti adatokat egy Leistritz ZSE 18 MAXX típusú egycsigás extruderrel gyűjtötték, egy 8-as MFI-jű (ömledékindeksű) HDPE felhasználásával. A csiga több szakaszból állt gyúró elemekkel (A), torlóelemekkel (B), újra gyúró elemekkel (C) (köztük standard szállító elemek) és végül helyezkedik el a zsinór szerszám. A hőmérsékletet 140 és 240 °C között, a csigasebességet 300 és 600 fordulat/perc között, a kihozatalt 2 és 12 kg/h között változtatták, a tartózkodási idő eloszlását optikai módszerrel mérték. A viszkozitás nyírósebesség függését a Carreau-Yasuda egyenlettel, a határviszkozitás és az időálló hőmérsékletfüggését Arrhenius egyenlettel (közös aktiválási energiát használva) írták le. A paramétereket úgy határozták meg, hogy azok megfeleljenek a Ludovic szimulációs szoftverrel kapott eredményeknek. A viszkozitás mért hőmérséklet és nyírósebesség függését a 4. ábra mutatja, amely elég jól közelíthető volt a Carreau-Yasuda modellel (leszámítva a legkisebb nyírósebességeket, ahol a mérés kevésbé pontos). Az adatokra épülő digitális iker modellt felhasználva a Ludovic szimulációs szoftverrel az egész extrúziós folyamatot szimulálták egy kísérletterv (DOE) szerinti pontokon. A kapott eredményeket egy úgynevezett automatikus lépcsőzetes kódoló (stacked autoencoder) hálózatba táplálták (amely egy úgynevezett neurális hálózat). A SAE adatai jobban „emészthetők” az úgynevezett osztályozó algoritmus számára, mint a nyers adatok. Az algoritmus „szétszalazza” (disentangle) és rétegekbe osztályozza az adatokat. Az osztályozási folyamat vázlatát az 5. ábra mutatja. A kifejlesztett hibrid digitális iker modellt olyan beállításokra alkal-



4. ábra. A kísérletben használt HDPE mért viszkozitás-nyírósebesség függvényei különböző hőmérsékleteken.



5. ábra. Az automatikus lépcsőzetes kódoló (stacked autencoder – SAE) hálózat működésének vázlatja.

mazva, amelyek nem voltak részei a tanuló algoritmusnak, legalább 75%-os egyezést tapasztaltak a tartózkodási időre, a nyomatékra, a motorteljesítményre és a fajlagos energiafelhasználásra. A kísérletben elért eredmények jó alapot jelentenek más alkalmazásoknál is.

Összeállította: Dr. Pásztor Mária és Dr. Bánhegyi György

M. Thornagel: Ist das digital, oder kann das weg? – Kunststoffe 10. 2021. p.22-24.

Moldex3D Plastics E-Learning,

https://www.moldex3d.com/products/moldex3d-plastics_e-learning/

J. Schmitt, R. Rishter, J.Deuse, J-Ch. Zarges, H-P.Heim: Digitaler Zwilling in der Kunststofftechnik – Industrie 4.0 Management 37. 2021/2, p.17–20.

Sarishvili A., Just D., Moser K., Wirsén A., Jan Diemert J., Jirstrand M.: Plastic Extrusion Process Optimization by Digital Twins – Chem. Ing. Tech. 2021, 93.k., 12. szám, p. 1–7.