

A hibrid fémnyomtatás és az Ipar 4.0 összefüggései

The relationship between hybrid metal printing and Industry 4.0

Dr. CZIFRA György

Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar,
Gépészeti és Technológiai Intézet, Budapest,
czifra.gyorgy@bgtk.uni-obuda.hu

Abstract

Rapid prototype production is one of the cornerstones of Industry 4.0, nowadays we can even talk about series production. One such innovative technology is hybrid metal printing, which could revolutionize prototyping, especially in the field of injection molding. With the help of the technology, metal molds with technical parameters can be produced that optimally support the cooling of the injection-molded plastic or even metal part, thereby ensuring the shape fidelity and accuracy of the manufactured part. Hybrid metal printing can be defined as an effective combination of additive manufacturing - 3D printing and subtractive manufacturing - cutting (turning, milling). Thanks to its properties, it can be perfectly integrated into the technologies of Industry 4.0. In our article, we outline the connections between the technology of hybrid metal printing and Industry 4.0, presenting the available options with a particular focus on future developments.

Keywords: Industry 4.0, rapid prototyping, hybrid metal printing, additive, subtractive

Kivonat

A gyorsprototípus gyártás az Ipar 4.0 egyik alappillére, napjainkban már akár sorozatgyártásról is beszélhetünk. Az egyik ilyen új technológia a hibrid fémnyomtatás, amely forradalmasíthatja a prototípus gyártást különösen a fröccsöntés területén. Olyan műszaki paraméterekkel rendelkező fémformákat lehet előállítani a technológia segítségével, amelyek optimálisan támogatják a fröccsöntött műanyag, de akár fém alkatrész hűtését is, biztosítva ezzel a gyártott alkatrész alakhűségét és pontosságát. A hibrid fémnyomtatás az additív gyártás – 3D nyomtatás és a szubtraktív gyártás - forgácsolás (esztergálás, marás) hatékony kombinációja. Tulajdonságainak köszönhetően kiválóan beilleszthető az Ipar 4.0 technológiai közé. Cikkünkben a hibrid fémnyomtatás technológiája és az Ipar 4.0 összefüggéseit vázoljuk, bemutatva a rendelkezésre álló lehetőségeket különös tekintettel a jövőbeli fejlesztésekre.

Kulcsszavak: Ipar 4.0, gyorsprototípus, hibrid fémnyomtatás, additív, szubtraktív

1. Bevezetés

A hibrid gyártás az additív folyamat - 3D nyomtatás és a szubtraktív folyamatok, például a marás kombinációja. A hibrid gyártás fő jellemzője, hogy mindkét folyamat ugyanazon a gépen zajlik. A hibrid gyártás révén előállított alkatrészek száma viszonylag kicsi lehet. A technológia még mindig viszonylag új, még az egyébként 3D -s nyomtatást rutinszerűen alkalmazó iparág számára is. A hibrid gyártás potenciális előnyei nagyon optimistává tesznek minket a technológia jövőjével kapcsolatban. Az additív technológia lehetővé teszi számunkra, hogy a saját tervezett alkatrészünket rétegesen kinyomtassuk, pontosan meghatározott fizikai és mechanikai jellemzőkkel rendelkezzen, ezzel együtt a nyomtatás után vagy a nyomtatás során alkalmazott megmunkálási művelet lehetővé teszi a kiváló minőségű felület megvalósítását és végül a nyomtatási hibák kijavítását is.

2. Technológiák és folyamatok

A rendelkezésre álló gépek száma viszonylag gyorsan növekszik. Alapvetően két alaptípust különböztethetünk meg: a kimondottan hibrid technológiát alkalmazó, erre a célra kialakított gépek és az additív gyártásra alkalmassá tett, módosított hagyományos szerszámgépek kategóriáit.

A szerszámgépipar nagyvállalatai, a hibrid megoldásokat nagy számban alkalmazó DMG MORI, az ELB-Schliff, a Matsuura, a Mazak, a Mitsui Seiki és az Okuma piacvezetőknek számítanak ezen a téren. A piacon jelen vannak kevésbé ismert vállalatok is, mint a Fabrisonic, az Optomec és a DMS (Diversified Machine Systems). [1]

A klasszikus szerszámgépek additív technológiát integráló módosításainak lehetőségei korlátozottabbak, ilyen megoldást alkalmaznak például a HMT (Hybrid Manufacturing Technologies) és a 3D-Hybrid Solutions, Inc.. vállalatok. Az utóbbiak esetében a megoldás egy vagy több fémnyomatatófejet foglal magában, amelyeket kimondottan fémnyomtatásra terveztek. A nyomtatófejek cserélhető szerszámként működnek, amelyeket a hagyományos szubtraktív-forgácsoló szerszámkészlet mellett a szerszámárba helyezve működtetnek. Noha ezeket hibrid kiegészítőket független megoldásként tervezték, hogy a potenciális érdeklődők beszerezhessék és önállóan telepíthessék, néhány szerszámgép-építő már standard opcióként kínálja. Napjainkban az ilyen megoldások már személyre szabottan készülnek, és hibrid megoldások gyártói a szerszámgép-építők partnereként együttműködnek ezen megoldások fejlesztésének során. [1]. A hibrid gyártás technológiáit az alábbi ismert lehetőségekre bonthatjuk: irányított energiával végzett felépítés (Directed Energy Deposition), huzal-ív-additív gyártás (Wire Arc Additive Manufacturing), hideg fém-szórás technológia (Cold Spray) és az ultrahangos additív gyártás (Ultrasonic Additive Manufacturing). [1] Az alábbiakban a bemutatjuk a legelterjedtebb gyártási eljárásokat.

a) Irányított energiával végzett felépítés (DED)

Az irányított energiával végzett felépítés esetében az adalékanyagot por formájában alkalmazzák. Egy fűvókában nagy energiájú fókuszált lézer- vagy elektronsugár-nyaláb útjába porlasztják az anyagot, amely így megolvad és ezt az olvadékat nagy sebességgel rétegenként hordják fel a medence alakú munkatérben készülő munkadarab felszínére. Ez a folyamat a munkadarab elkészültéig tart. A folyamat abban különbözik a szelektív lézer – szinterelés technológiájától, hogy nincs szükség por alapanyag terítésére. [1] A DED technológiát titán, rozsdamentes acél, szerszámacél, acélötvözetek és más nehezen megmunkálható fémek, illetve réz, alumínium esetében lehet alkalmazni. Ennek a technológiának a másik előnye, hogy egy lépésben megoldható a lézerrel végzett felületkezelés művelete, ezt néhány OKUMA LASER EX géptípusa, illetve a 3D-Hybrid Solutions néhány megoldása alkalmazzák. A használt anyagtól függően a DED gyakran megköveteli, hogy az építőkamrát-munkatér védőgázzal töltsék fel. Néhány hibrid szerszámgép esetében - például a DMG MORI LASERTEC 65 3D Hybrid és a LASERTEC 4300 3D hibrid - esetében közvetlenül a fűvókába építik a védőgáz bevezetését, biztosítva ezzel az ömledék oxidáció elleni helyi védelmet, valamint a kész termék anyag-tulajdonságainak befolyásolását.[1]

b) Huzal-ív-additív gyártás (WAAM)

A legtöbb adalékanyagot a leggyorsabban a WAAM technológiával lehet beépíteni. [1] A DMS Huron Peak hibrid rendszer huzal-ív technológián alapul, az adalékanyag lerakási sebessége 1,12 kg/óra és 1,87 kg/óra között mozog. A huzal-ív rendszerek alapvetően nem igényelnek védőgáz környezetet, bár a biztonság érdekében - hasonlóan az ívhegesztéshez - a munkapontot védeni kell. Ez a technológia lehetővé teszi akár 42 méter hosszú, 6 méter széles, 2 méter magas alkatrészeket készítését.[1] Szép példaként bemutatjuk a klasszifikációs szervezetek által jóváhagyott hajócsavart, a Waampeller prototípusát. A Bureau Veritas által végzett szigorú tesztelési eljárást követően a világ első jóváhagyott 3D -s nyomtatott hajócsavart, a Waampeller -t a Damen Shipyard Group székhelyén, Hollandiában mutatták be. Ez az úttörő siker a Ramlab, a Promarin, az Autodesk, a Bureau Veritas és a Damen Shipyard közötti szoros együttműködés eredménye. A Promarin biztosította a háromszárnyú hajócsavar alaki tervezését. A rotterdami RAMLAB (Rotterdam Additive Manufacturing LAB) végezte a gyártást a WAAM technológiával, amelyet az Autodesk szakemberei támogattak a szoftver, a robotika és adalékanyag - gyártás terén. A Damen Shipyard kutatási és fejlesztési erőforrásokat bocsátott rendelkezésre és az egyik Stan TUG 1606 típusú hajót, hogy üzemi próbákkal igazolja a próbadarab kiváló minőségét. A teljes fejlesztési, termelési és tesztelési folyamatot a Bureau Veritas ellenőrizte. [4]



1. ábra: A WAAMPeller [4]

c) Hideg fémportszórás (Cold Spray)

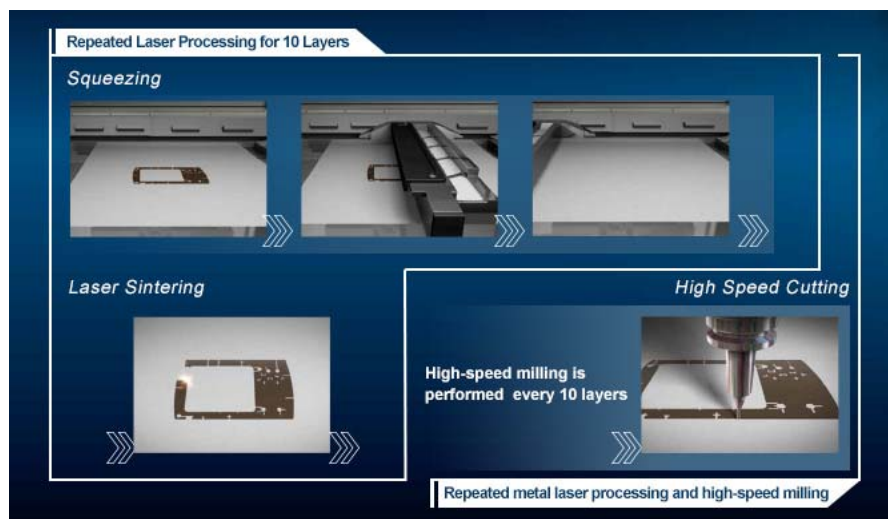
A hideg fémportszórás egy bevonatolási módszer, amelyet eredetileg tengelyek felújítására fejlesztettek ki, azonban napjainkban egyre szélesebb körben a hibrid gyártásban alkalmazzák. A 3D-Hybrid Solutions két hideg fémportszórásra alkalmas szerszámfejet kínál, az egyiket a keményebb ötvözetek feldolgozására tervezték, és egy nagy energiájú lézer támogatja a nagyobb sebességű fémbevonást. A hideg fémportszórás folyamata a meleg fémportszórás technológiájából fejlődött ki, azonban azzal ellentétben a hideg fémportszórás esetében a fémport nem olvasztják meg, hanem szilárd állapotban nagy sebességgel a kezelendő felületre szórják. A port a hangsebesség két-háromszorosára gyorsítják és ilyen sebességgel csapódik az alkatrész felületére. Ez nagyon erős mechanikai kötést eredményez. A kötés 55 MPa-nál erősebb, az anyag porozitása 1%-nál kisebb, a szakítószilárdsága például titán esetében több, mint 551 MPa.

d) Ultrahangos additív gyártás (Ultrasonic Additive Manufacturing)

Az ultrahangos hegesztés nagyon alacsony hőmérsékleten és különleges környezeti feltételek biztosítása nélkül is megvalósítható. A kötési – összehegedési hőmérséklet az összes fém esetében szignifikánsan az olvadási hőmérsékletük alatt van. Az alumíniumnál a legmagasabb hőmérséklet mindig 120 ° C alatt van. Az ultrahangos additív gyártás lényege, hogy fémszalagokat egymásra helyezve megfelelő elektródák között ultrahang segítségével egyenként-rétegenként összehegesztenek és így térbeli alakzat – tömb – jön létre. A rétegek hegesztése periodikusan ismétlődik a gyártmány elkészültéig. A munkadarab végső geometriáját forgácsolással alakítják ki a felesleges anyag eltávolításával. [5]

e) Hibrid additív gyártás fémport-olvasztás és nagysebességű marás kombinációjával [2]

A MATSUURA cég Lumex gépcsaládja porágyas réteges fémolvasztásos technológiát alkalmaz kombinálva a nagysebességű marás technológiájával. A gyártott darab alak- és méretbeli pontossága vetekszik a hagyományos-CNC megmunkálóközpontok központokon gyártott termékekével.



2. ábra: Porágyas réteges fémolvasztás és nagysebességű marás [2]

A működési elv a következő:

1. A por alakú alapanyag első rétegének terítése a zárt munkatérben található vertikálisan léptethető tárgyasztalon.

2. Rétegolvasztás: A nagy energiájú lézersugár kívánt koordinátákon megolvasztja a porréteget, amely így tömbbé olvad. A megszilárdulás után (ez néhány tized másodperc alatt bekövetkezik) a tárgyasztal egy rétegenyt leereszkedik, az elosztó vonalzó elteríti a következő porréteget. A lézersugár megolvasztja a következő réteget, amely hozzákötődik az alatta lévőhöz. Ez a folyamat tíz alkalommal ismétlődik. A tizedik réteg megolvasztása és megszilárdulása után következik a marás művelete.

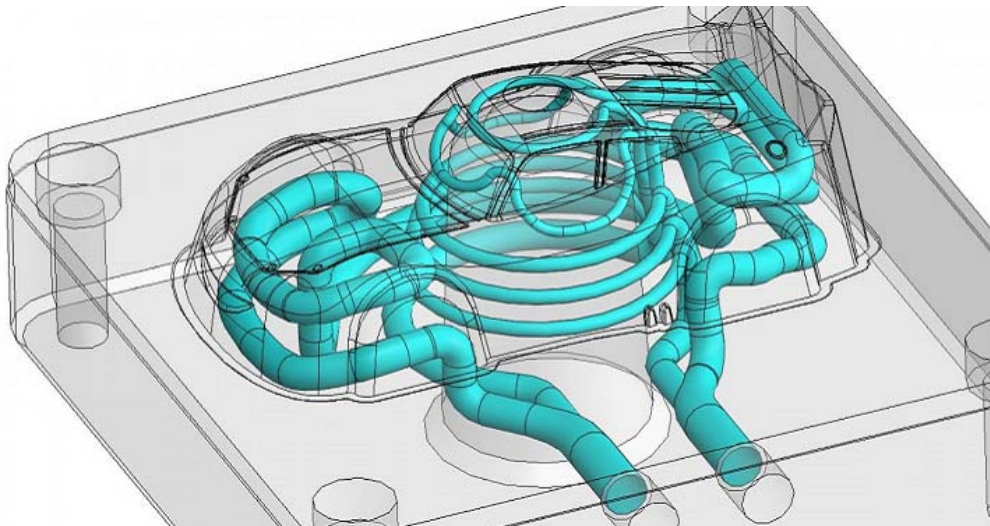
3. Marás: A tömbbé szilárdult anyag kontúrját – külső és belső kerületén kontúrmarással a megfelelő geometriára és felületi érdességre munkálják. A marást tíz rétegenként végzik, így folyamatosan biztosítani lehet az alak és felület pontosságát. A rétegenkénti megmunkálás lehetővé teszi nagyon bonyolult belső struktúrával rendelkező termékek gyártását is.

A technológia és a rendszer intelligenciája lehetővé teszi az esetleges hibásan készült (nem tömbösödött) rétegek eltávolítását és újraindítását, kizárva a selejtes, porózus gyártmány megjelenését.

3. A technológia gyakorlati alkalmazása az ipar 4.0 környezetében

A hibrid fémnyomtatás jelentősége az IPAR 4.0 szempontjából elsősorban az, hogy ez a technológia lehetővé teszi a generatív tervezés eredményinek azonnali, transzformáció nélküli alkalmazását, a különleges, maximálisan optimalizált formák egy lépésben történő, gyors és költséghatékony gyártását olyan alapanyagok felhasználásával, amelyek más technológiával nem, vagy csak különleges szerszámok segítségével lennének legyárthatóak.

Az egyik nagyon jellemző példa a hűtőcsatornák kialakítása a fröccsöntő formákban. A hibrid fémnyomtatás segítségével létrehozhatók integrált hűtőcsatornák fröccsöntő formákban, olyan geometriával, amely optimálisan biztosítja a fröccsöntött anyag lehűtését, nullára csökkentve a vetemedés, késztermék-deformáció lehetőségét. A fröccsöntési ciklus időtartama akár 33%-kal is csökkenhet az optimális hűtés következtében, ami nagyszámú termék esetében jelentős megtakarítást eredményez, az energiafelhasználás területén is.

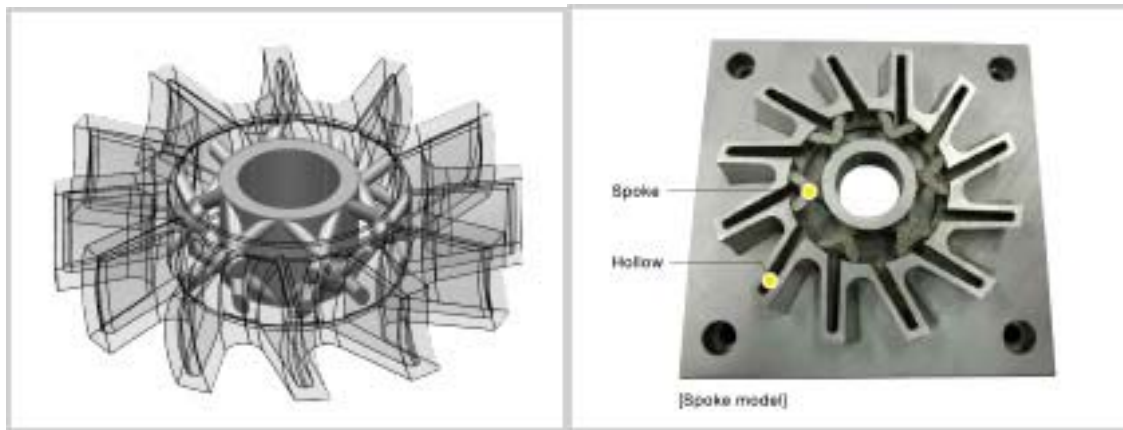


3. ábra: Integrált hűtővezeték [7]

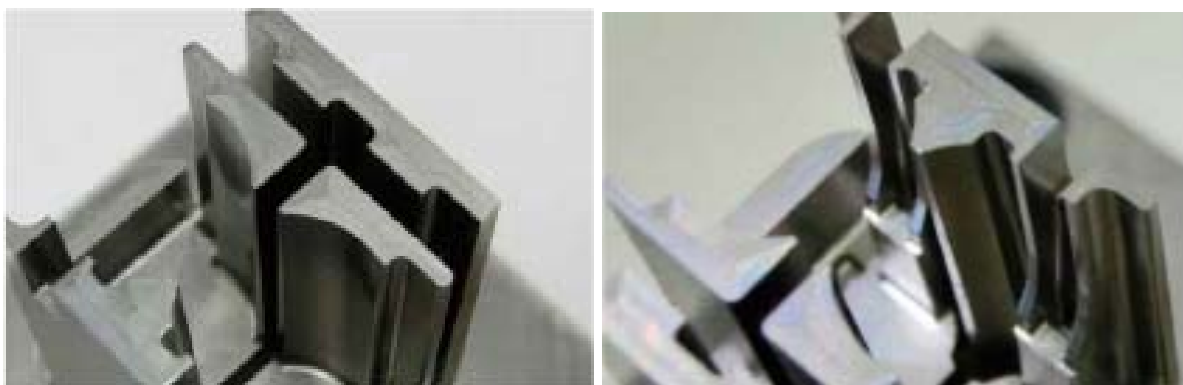
Az ismertetett technológia egy másik fontos előnye, hogy a generatív tervezéssel létrehozott termékek súlya szignifikáns módon csökkenthető, szilárdsági paramétereik megtartása mellett.

A következő ábrán látható termék esetében a hagyományos, egy tömbből forgácsolt alkatrészhez képest 44%-os súlycsökkentést értek el úgy, hogy speciális kialakítású merevítési rendszert és üreges lapátszerkezetet hoztak létre, amelyet kizárólag a hibrid fémnyomtatás technológia alkalmazásával lehet gyártani.

A következő ábra szintén egy fröccsöntő forma kialakítását mutatja, amely mély hornyokkal és bordázattal tagolt kialakítású. Ebben az esetben a hagyományos gyártási módszer a tömbszikra-forgácsolás lenne, amely megkívánja a megfelelő elektróda gyártását is. A módszer bevált, ám igen költséges és időigényes, szemben a hibrid fémnyomtatás lehetőségeivel.

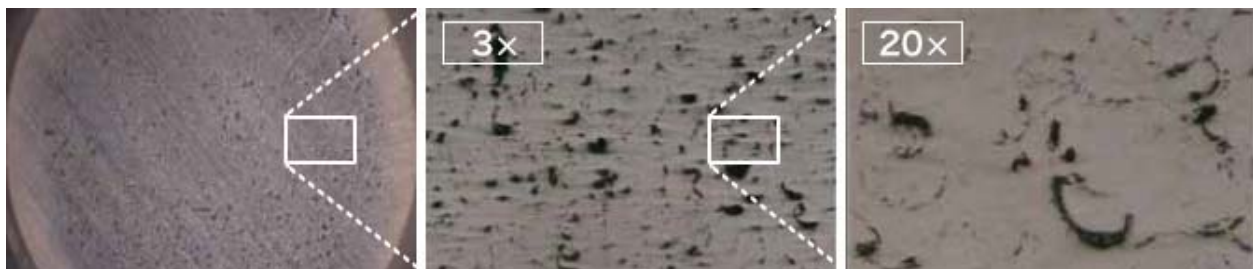


4. ábra: Súlycsökkentés [2]



5. ábra: Mély hornyok és vékony bordák [2]

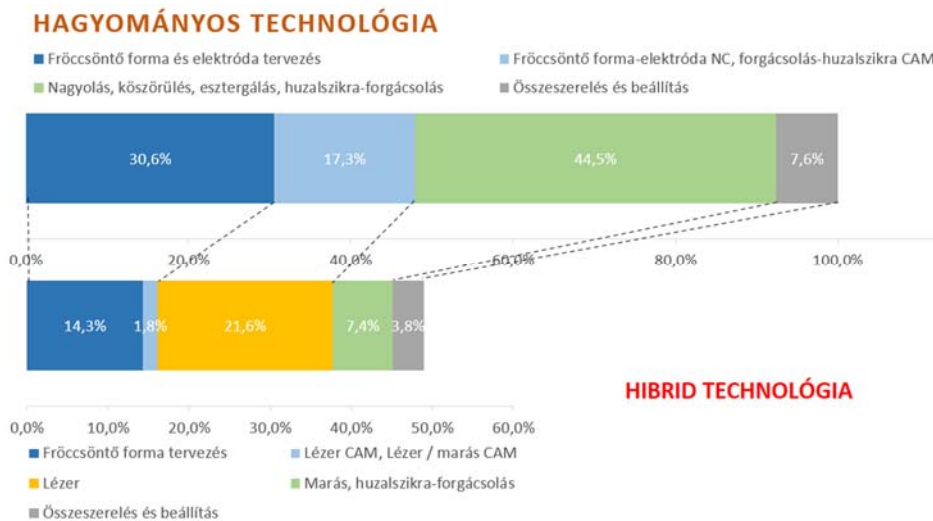
A levegő permeabilitását egy porózus szerkezet létrehozásával széles skálán lehet szabályozni, egyszerűen az épített rész sűrűségének beállításával. Ez a megoldás hatékonyabbá teszi gázok távozását, csökkenthető formakitöltés ideje, megelőzhető a forma egyenetlen kitöltése és elkerülhető a gázok öngyulladásának lehetősége is. A következő ábra a porozitás különböző fokozatait mutatja be.



6. ábra: Porózus szerkezet [2]

A dráguló energia, de ennek ellenére hihetetlenül felgyorsult világban óriási jelentősége van egy termék piacra történő lehető leggyorsabb bevezetésének. Az IPAR 4.0 összes pillére a hibátlan, gyors, hatékony, energiatakarékos, gazdaságilag hatékony gyártást támasztja alá. A következő példa pontosan egy termék bevezetési idejének csökkentését mutatja be. Ahogy már az előző példából láttuk, a hibrid fémnyomatás segítségével a fröccsöntő forma egy darabból készíthető, egyetlen lépésben, kizárva a tömbszakra forgácsolás szükségességét. A következő ábrán látható, milyen technológiai időket emésztenek fel az egyes tevékenységek egy hagyományos gyártási eljárás és egy modern, hibrid fémnyomatás esetében. A termék és a forma gyártásához szükséges elektróda tervezési ideje a teljes 100% -ból 30,6%-ot emészti fel hagyományos, míg a hibrid gyártáshoz szükséges tervezési idő csak 14,3%-ot. A forma és az elektróda CAM programjai 17,3%-ot, míg a lézeres porolvasztás programozása 1,85%-ot, a kontúrmarás CAM programozása 21,6%-ot használ fel. Ez a tétel a hibrid technológia esetében több időt igényel. Az igazi megtakarítás viszont a következő lépésben

mutatkozik, amikor a hagyományos eljárás – maga a gyártás – 44,5%-ot igényel, míg a hibrid 7,4%-ot. Az utolsó fázis, az összeszerelés és beállítás a hagyományos módszer esetében 7,6%, a hibrid esetében 3,8% időt használ fel. Összegezve az időmegtakarítás 50%, ami szignifikánsan mutatja a hibrid technológia előnyét és használhatóságát.



7. ábra: A termék bevezetési idejének összehasonlítása hagyományos és hibrid technológia esetében

- [2] alapján

4. Összefoglalás

Megállapítható, hogy a két legnagyobb iparág – a repülőgépipar és az orvosi alkalmazások, amelyek hagyományosan nagy megrendelői az additív gyártásnak - mellé nagyon gyorsan felzárkózik a többi iparág is, mint a fröccsöntő, műanyagfeldolgozó, javító és szervizelő, felújító és új termékeket gyártó szubjektumok. A repülőgépiparban és a gyógyításban rendkívül szigorú követelményeknek kell megfelelni, ezeknek a követelményeknek az új technológia jellegéből fakadóan képes megfelelni. Az új felhasználók a tervezésben egyre inkább alkalmazott mesterséges intelligenciára épített generatív tervezési eljárások segítségével olyan termékek gyártását igénylik, amelyeket hatékonyan, gyorsan, hibátlanul csak a hibrid fémnyomtatás segítségével lehet előállítani. Az IPAR 4.0 követelményeinek és szempontjainak a hibrid fémnyomtatás technológiája minden tekintetben megfelel, természetesen alaposan elemezni kell a technológia költségigényét. A tervezés, a gyártástervezés, a technológiatervezés egymásba olvadása jól követhetően kirajzolódik, ami jól jellemzi az IPAR 4.0 térnyerését.

5. IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/17717/Hybrid-Manufacturing-The-Future-of-3D-Printing-for-Production.aspx>, megtekintve 23/2/2023
- [2] <https://www.lumex-matsuura.com/english/index.html>, megtekintve 23/3/2023
- [3] <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/15744/Integrating-Metal-Additive-Manufacturing-10-Questions-to-Ask.aspx>, megtekintve 23/2/2023
- [4] https://www.damen.com/en/news/2017/11/worlds_first_class_approved_3d_printed_ships_propeller_unveiled, megtekintve 23/2/2023
- [5] <https://fabrisonic.com/technology/>, megtekintve 23/2/2023
- [6] <https://www.mazakeu.co.uk/machines-technology/technology/hybrid-multi-tasking-machine/>, megtekintve 23/2/2023
- [7] <https://3dprint.com/233049/materialise-optimizes-design-of-3d-printed-car-mold/>, megtekintve 23/2/2023
- [8] Mikolajczyk, et. al. (2019). CAD CAM System for Manufacturing Innovative Hybrid Design Using 3D Printing. Procedia Manufacturing. 32. 22-28. 10.1016/j.promfg.2019.02.178.
- [9] Buchanan, et al. (2019). Metal 3D printing in construction: A review of methods, research, applications, opportunities and challenges. Engineering Structures. 180. 332-348. 10.1016/j.engstruct.2018.11.045.
- [10] Dmytyi, et al. (2023). EQUIPMENT FOR PLASMA-ARC AND HYBRID WELDING, 3D PRINTING AND COATING TECHNOLOGIES. 112. 56-62. 10.5281/zenodo.7708524