

AZ I4.0 GYÁRTÁSI RENDSZEREKBEN ALKALMAZOTT MODERN MÉRÉSI MÓDSZEREK

MODERN MEASUREMENT METHODS INTRODUCED IN I4.0 MANUFACTURING SYSTEMS

Ledenyak Daniel,^{1,2} Rosta Tamás²

¹ Eötvös Loránd Tudományegyetem, Savaria Műszaki Intézet, Informatikai Kar, Szombathely, Magyarország, ld@inf.elte.hu

² Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola, Sopron, Magyarország, fr0c94@uni-sopron.hu, rosta@inf.uni-sopron.hu

Abstract

The main target of this research, as with other I4.0 related research, is to create a system by which a quantitatively lower human resources workload is achieved in manufacturing processes, thereby allowing efforts to be better focused on creating development activities. The focus of the research work is the creation of an I4.0 compatible data processing system and algorithm which can store and forward data obtained from various machine tool and measurement equipment. To establish and appropriately use these measurement values, it is important to process the data in the most optimum way. The first step is to introduce and evaluate the measurement equipment available for our system and its capabilities in the proper transfer of data. This study intends to introduce these systems, focusing on theoretical and practical attainable accuracy.

Keywords: I4.0, CMM, CNC, measurement accuracy.

Összefoglalás

A kutatás fő célja, a többi I4.0-hoz kapcsolódó kutatáshoz hasonlóan, egy olyan rendszer létrehozása, amely segítségével a tényleges gyártási, előállítási műveletekbe lényegesen alacsonyabb élőmunka-mennyiséget vonhatunk be. Ennek köszönhetően a dolgozók a magasabb értékteremtő folyamatokra összpontosíthatnak. A kutatómunka fókuszában egy I4.0 kompatibilis adatfeldolgozó rendszer és algoritmus létrehozása áll, amely képes tárolni és továbbítani a különböző szerszámgépekről és mérőberendezésekről származó adatokat. A mérési értékek megfelelő kezeléséhez és felhasználásához fontos az adatok legoptimálisabb feldolgozása. Első lépésként a rendszerünkhöz kapcsolható, megfelelő adatátvitelre alkalmas mérőberendezések bemutatását és eredményeik kiértékelését határoztuk meg. Jelen tanulmány ezeket a rendszereket kívánja bemutatni, az elérhető elméleti és gyakorlati mérési pontosságra összpontosítva.

Kulcsszavak: I4.0, CMM, CNC, mérési pontosság.

1. Bevezetés

A nagyszámú specifikációval rendelkező, rendkívül összetett műszaki alkatrészek gyártása megköveteli a vállalatoktól, hogy a megfelelőségi mérések, vizsgálatok gyors ellenőrző eszközökkel rendelkezzenek. Könnyű belátni, hogy ebben az összefüggésben a mérés technika az innovációs és

fejlesztési folyamatok, valamint a gyártás támogatásának fontos forrása. A metrológia megfelelő alkalmazása és a mérőszámok megfelelő felhasználása lehetővé teszi a technológiai fejlődés nyomon követését az Ipar 4.0 elveivel összhangban; a gyártási folyamat megbízhatóságának garantálása, valamint a műszaki alkatrészek méret- és geometriai megfelelőségének biztosítása érdekében.

Ennek a folyamatos fejlődésnek eredményeképpen a vállalatok egyre összetettebb mérési eszközöket igényelnek, amelyek képesek biztosítani a mérési funkciók helyes elvégzését. A műszaki alkatrészek méret- és geometriai megfelelőségének biztosításának megnövekedett igénye koordináta mérőgépekkel történő ellenőrzéssel teljesíthető. Ez a technológia támogatja a gyors ellenőrzést, emellett nagy mennyiségű adat előállítására képes, javítva a gyártási folyamattal való interakciót a megfelelőség garantálása érdekében. [1]

A koordinátamérő-gép egy univerzális felhasználásra kifejlesztett, többtengelyes mérőgép. Szerkezeti felépítését tekintve a háromtengelyes kialakítás elterjedt, de vannak öttengelyes kialakítások is. Ennek a gépnek minden tengelye helyzetérzékelővel van felszerelve, és a mérőtapintó helyzete alapján tetszőleges pontot és a pontokhoz kapcsolódó pozícióvektorokat rögzíthet a gép koordinátarendszerében. A mérőgépek legtöbbször portálkivitellűek, de vannak mozgóasztalos, mozgóoszlopos vagy mozgóhidas változatok is. A legelterjedtebb kialakítás a légcsapágyas mozgóelemekkel rendelkező; amelynek nagy előnye a súrlódásából eredő alacsony ellenállás, de vannak görgős típusok is. Mivel a koordinátamérő-gép mérőrendszere pontos pozicionálási felbontást igényel, nem elegendő a CNC-szerszámgépeken általánosan használt rotációs jeladó módszer alkalmazása. Jellemzően üveg mérőlécekkel van ellátva a megfelelő pontosság biztosítása érdekében. A folyamatos, külső rendszerből érkező levegő a rendszer ellátásához elengedhetetlen a légcsapágyak miatt. Leggyakrabban az üzem levegőellátását használják, de ebben az esetben különös figyelmet kell fordítani a levegő minőségére. [2]

A mérőtapintó közvetlenül érintkezik a munkadarabbal. Számos típus létezik, amelyek közül a legelterjedtebb a tökéletes gömb alakú, rubin anyagú, de speciális mérésekhez speciális alakú (pl. csillag, L alakú. stb.) szárkialakítású tapintók.

Jelen munka az Ipar 4.0 által kínált korszerű lehetőségekhez használt mérőrendszerek működéséről és adaptálhatóságáról szól. Fő célom a Savaria Műszaki Intézetben elérhető különböző I4.0 kompatibilis mérőrendszerek valós körülmények közötti pontosságának felmérése. A mérési eredmények alapján és az adatok megfelelő felhasználásával összehasonlításra kerül a különböző mérőeszközök pontossága.

2. Mérési eljárások

A mérőgépek és szerszámgépek esetében a pontosság kulcsfontosságú teljesítménykövetelmény. A mérő- és ellenőrző berendezések pontosságának ellenőrzése fontos előfeltétele az ipari minőségügyi intézkedéseknek, mivel a gyártás minősége a „nulla hiba” célkitűzésén alapul. Ezért elengedhetetlen a berendezés állapotának alapos ismerete. A koordinátamérő-gépek esetében a DIN EN ISO 10360-2:2009 szabvány előírja a rendszeresen és meghatározott időközönként elvégzendő kalibrálást. Ezenkívül ismételtetőségi pontossági vizsgálatokat kell végezni.

A méréseket mind a CNC-gépen belül, mind a koordinátamérő-gépen a DIN EN ISO 3650 szerinti, 2. pontossági osztályú blokkmérővel és kalibrálógyűrűvel végeztük el, 20°C-on, $-0,32\ \mu\text{m}$ gyártói tűréssel.

A mérési bizonytalanság a mérőeszköz gyártója által megadott, szabvány szerinti összefüggéssel határozható meg:

$$U = 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot L \quad (1)$$

ahol esetünkben:

$$U = 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 20\ \text{mm} = 0,03\ \mu\text{m}.$$

Az etalon alapanyagának lineáris hőtágulási együtthatója a gyártó által megadottak szerint $11,5 \cdot 10^{-6}\ \text{K}^{-1}$. Az egyes mérési változatokat 30 alkalommal végeztem el, és a kapott eredményeket és a különböző mérési módszerek közötti különbségeket különböző statisztikai elemzésekkel vizsgáltam.

Az értékelés megkezdése előtt kulcsfontosságú, hogy tisztában legyünk a berendezés pozicionálási pontosságával. Ez a gyártó vagy más akkreditált szervezetek által végzett mérésekből érhető el. A CNC-gép esetén a lineáris pozicionálási pontosság lézeres interferométerrel végzett kalibrációval történt meghatározásra. [3–6]

A CNC-gépen történő mérésekhez egy Renishaw OMP40-2 tapintó egységet használtunk. A mérések megkezdése előtt be kell állítani a tapintó sugárirányú ütését. A szoftver maximum $\pm 2,5\ \mu\text{m}$ ütem képes áthidalni, ami jelen esetben $\pm 0,02\ \mu\text{m}$ volt. Az elért értéket az adapteren lévő csavarokkal állítottuk be.

3. Az eredmények kiértékelése

A mérendő munkadarabot először CNC-gépen helyeztük el és rögzítettük, az ismert pozíció alapján a munkadarabot meghatározott sebességgel közelítettük meg, majd az előredefiniált pontok érintésével végeztük a mérést. A jelenlegi munká-

ban a mérőeszköz párhuzamos felületeit egy-egy ponton érintjük, és a pontok távolságát a szoftver segítségével a koordinátaértékek kivonásával határoztuk meg. A pontos rögzítést a satukon lévő függőleges segédlapok és a pófák párhuzamos oldalai biztosították.

A következő méréseket gyűrűetalonokon végeztük. A 63.0021 mm középső furatátmérőt a gyártó adta meg. A művelet megkezdése előtt meg kell határozni a gyűrű helyzetét, majd a közép-pontnak felvett pozíciót kell kiindulási pontnak használni. A mérés során 4 pontot érintett meg a tapintó, és ezekből számítja ki a szoftver az átmérőt egy elméleti kör alapján. Az eredményeket az 1. táblázatban mutatjuk be.

A további mérésekhez a Savaria Műszaki Intézet mérés technikai laboratóriumában lévő koordinátamérő-gépet használtam. Renishaw mérőrendszerrel és TouchDMIS szoftverrel felszerelt, amelynek pontossága a DIN EN ISO 10360-2 szerint kiadott kalibrációs tanúsítványból számítható ki az adott hosszokra [4]:

$$MPE = \pm(15 \mu\text{m} + L/333), \quad (2)$$

ami esetünkben:

$$MPE = \pm(1,5 \mu\text{m} + 20 \text{ mm}/333) = 1,56 \mu\text{m}.$$

A mérések megkezdése előtt kalibrációs gömb segítségével ellenőriztem, hogy a mérőgép hibája nem haladja meg a megengedett tartományt. Ezt a kalibrációt az előírt időközönként kell elvégezni, használatától függően, de általában hetente egyszer.

A kalibrálás után méréseket végeztem mind a mérőhasábokon, mind a gyűrűs idomszeren. A folyamat megkezdése előtt állandó laboratóriumi hőmérsékletet kell biztosítani. A mérőszoftver beépített hőmérséklet-kompenzációval rendelkezik [4].

A méréseket a koordinátamérő-gépen végeztük különböző módszerekkel, két pont között, két sík között mérőhasáb esetén. Gyűrűs etalon használatkor kilencpontos és szkennelt mérést végeztünk, hogy ne csak a mérőműszerek, hanem a mérési módszerek is összehasonlíthatók legyenek. A pont-pont között történő mérések ugyanúgy történnek koordinátamérő-gép használatakor, mint a CNC-megmunkáló központnál. A sík-sík mérés során a koordinátamérőgép-szoftver egy elméleti sítot illeszt a pontokhoz, majd megadja a két eredményül kapott sík távolságát.

A kilencpontos gyűrűmérés esetén az első 5 mérési pont a kalibrálógyűrű elülső felületéhez tartozik, aminek az oka a mérendő tárgy pozícionálási hibáiból adódó pontatlanságok kompen-

zálása volt. A mérési sík felvétele során ügyelni kell arra, hogy a pontok ne legyenek rögzítve a kalibrációs vagy érvényességi matricákon vagy egyéb jelöléseken a sík felületen. A további 4 pont megérintésével a szoftver meghatároz egy elméleti kört.

A kör átmérőjének meghatározásakor a szoftver pontosan úgy működik, mint CNC-gépen történő méréskor. A szkennelt felület esetében a teljes felületen felvett 2400 pontból húzott profilból egy értéket kapunk.

A 2. táblázat eredményei alapján arra a következtetésre jutottam, hogy nincs szisztematikus hiba a mérési rendszereink között. A megfigyelt változók szórása minden mérési eljárás esetén elfogadható tartományon belül van. Mivel a vizsgált mérési eredmények bizonytalansága egy nagyságrenddel kisebb, mint a mi mérőrendszereink pontossága, megállapítható, hogy a két mérési rendszer egyenértékű egymással az adott alkalmazásnál.

1. táblázat. Mérési eredmények (CNC)

	x irány	y irány	Gyűrű
Átlag [mm]	20,0018	20,0000	63,0024
Átlagos eltérés [mm]	0,0021	0,0005	0,0003
Szórás [mm]	0,0003	0,0006	0,0003
Minimum [mm]	20,0008	19,9991	63,0019
Maximum [mm]	20,0027	20,0013	63,0030
+2 σ szórás [mm]	20,0024	20,0012	63,0030
-2 σ szórás [mm]	20,0011	19,9989	63,0018

2. táblázat. Mérési eredmények (CMM)

	Két pont között	Két sík között	Kör (9 pont)	Kör (szkennelt)
Átlag [mm]	20,0004	19,9994	63,0023	63,0024
Átlagos eltérés [mm]	0,0008	0,0002	0,0002	0,0003
Szórás [mm]	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001
Minimum [mm]	20,0003	19,9993	63,0021	63,0023
Maximum [mm]	20,0006	19,9995	63,0026	63,0026
+2 σ szórás [mm]	20,0007	19,9996	63,0026	63,0026
-2 σ szórás [mm]	20,0002	19,9993	63,0020	63,0022

4. Konklúzió

Az újonnan kalibrált marógépbe integrált mérőrendszer pontossága könnyen megfelel a gyártó által megadott tűrésmezőknek. A tapasztalatok alapján a mérés jellemzően gyors, a kapott adatok a MES-rendszer segítségével könnyen továbbíthatók és tárolhatók.

A munkadarabok gyártás utáni mérése az egyik legelterjedtebb, mégis legtöbbet vitatott terület a minőségbiztosítás és a termékfelelőség szempontjából. A legegyszerűbb példa a sokféle méret és tűrés alkalmazása, majd az ezekre mutató valószínű igény, amely gyakran csak a termék összeszerelése során vagy a használatból származó adatok alapján módosul. A szükségtelenül szűk tűréstartomány gyakran megsokszorozza az adott megmunkálás költségeit, nem beszélve a szükségtelen környezetterhelésről. A kutatásban használt CNC-szerszámgép integrált munkadarabmérő rendszere a gyártó által meghatározott tűréstartománynál lényegesen szűkebb tűréssel képes méréseket végezni. A CMM-mérőgép a CNC-megmunkálógép kiváló felügyeleti eszköze, mivel a mérési folyamat szinte azonos lehet. Ennek alapján könnyen integrálható és feldolgozható adatokat kapunk a termelési rendszerünk számára. Az intézetben időközben beszerzésre került egy 3D-szkennerek. Klasszikus tapintó mérések kiegészítéséhez tökéletes, gyors előszűrő

lehet. Ugyanis gyorsabb, továbbá ha hibát talál, a program emberi beavatkozás nélkül áttérhet a pontosabb, de lassabb tapintóval történő mérésekre. Ezzel intézetünkben fejlett és precíz minőségbiztosítási rendszer alakítható ki.

References

- [1] A koordinátamérő-gépek szerkezeti kialakítása. CNC MEDIA. 2021
<https://www.cnc.hu/2015/04/a-koordinata-mero-gepek-szerkezeti-kialakitasa-i/>
- [2] Yongjin Kwona, Tzu-Liang Tsengb, Yalcin Ertekinc: *Characterization of Closed-loop Measurement Accuracy in Precision CNC Milling*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 22. (2006) 288–296.
- [3] Hau-Wei Lee, Jr-Rung Chen, Shan-Peng Pan, Hua-Chung Liou and Po-Er Hsu: *Relationship between ISO 230-2/-6 Test Results and Positioning Accuracy of Machine Tools Using LaserTRACER*. Center for Measurement Standards, Industrial Technology Research Institute (2016)
- [4] Renishaw: Touch Trigger Probes. 2021
<https://www.renishaw.com/en/touch-trigger-probes-6652>
- [5] COORD3 Metrology. Industrial Metrology System. 2021
<https://coord3.com/en/cmm-universal-2/>
- [6] Akira-Seiki. Vertical Machining Center V2.5XP. 2021
<https://www.akiraseiki.com/vertical-machining-center-v/vmc-v2-5xp.html>