

Követelményrendszer felállítása moduláris felépítéssel bíró, univerzális szerszámgépek fejlesztéséhez

Compilation of requirement system on development of CNC Machine Tools with modular dimensions and universal technology

DR GYURIKA István Gábor, intézeti tanszékvezető, egyetemi docens

¹Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Géptan Intézeti Tanszék 8200 Veszprém, Egyetem u. 10.;
E-mail: gyurika.istvan.gabor@mk.uni-pannon.hu

Abstract

The requirement of the Fourth Industrial Revolution is maximum universality in mechanical engineering. This universality extends to the creation of machine tools for implementing manufacturing processes. The purpose of the study provided in this article is to identify a set of requirements that will serve as the foundation for designing a machine tool family with a modular structure that can apply multiple manufacturing technologies. The set of requirements includes investigating the modular structure, identifying applicable technologies, assembling constraints necessary for the development of the user interface and associated parametric design model, and establishing requirements related to the development of a virtual commissioning strategy.

Keywords: CNC machine tools, requirement system, industry 4.0, modular dimensions

Kivonat

A negyedik ipari forradalom egyik alapkövetelménye a lehető legnagyobb univerzalitás elérése a gépipar területén. Ez az univerzalitás kiterjed a gyártási folyamatokat megvalósító szerszámgépek fejlesztésére is. A cikkben szereplő kutatás célja felállítani azt a követelményrendszert, amely alapként szolgál egy moduláris felépítéssel bíró és párhuzamosan akár több technológiát – lángvágást, plazmavágást, lézervágást, marást - is alkalmazó CNC szerszámgépcsald kifejlesztéséhez. A követelményrendszer része a moduláris felépítés vizsgálata, az alkalmazható technológiák meghatározása, a felhasználói felület és a hozzá kapcsolódó parametrikus konstrukciós modell kifejlesztéséhez szükséges korlátok összeállítása. Nem a szerszámgéphez közvetlenül köthető, mégis műszaki fejlesztésünk szerves része egy digitális iker alapú virtuális üzembehelyezési stratégia kidolgozása, amelynek segítségével virtuális térben tesztelhető le a vevő által összeállított szerszámgép változat hatékonysága a megrendelő által meghatározott követelmények alapján.

Kulcsszavak: CNC szerszámgép, követelményrendszer, ipar 4.0, moduláris felépítés

1. BEVEZETÉS

A gépipari gyártástechnológia területén a negyedik ipari forradalom egyik fontos követelménye a egyedi vevői igények kielégítése, sorozatgyártási technológiai környezetben. Ez azt jelenti, hogy sorozatgyártási tulajdonságokkal rendelkező termék-előállítás során is az egyedi vevői igényekre specializálva kell az egyes termékeket előállítani.

A cikkben szereplő fejlesztés 2025. február 1-jén kezdődött. A kutatás célja egy modulárisan felépítéssel bíró szerszámgépcsald fejlesztése, amelynek méreteit az egyedi vevői igények szabják meg, továbbá szintén a vevő határozza meg, hogy az adott szerszámgéppel lézervágási, plazmavágási, lángvágási, marási folyamatokat, vagy éppen ezek kombinációit lehessen megvalósítani.

A cikk bemutatja a fejlesztéshez szükséges követelményrendszer kidolgozásának folyamatát. A követelményrendszer alapján a közeljövőben kifejlesztésre kerülhet egy olyan parametrikus konstrukciós tervrendszer, amelynek segítségével egy internetes alapokon nyugvó kiválasztási felület hozható létre, mely felületen a felhasználó az egyedi igényei alapján lesz képes összeállítani a megvásárolni kívánt szerszámgépet. A cikket író szerző jelen két éves kutatásfejlesztési pályázatnak a szakmai vezetője, így a szerző irányába megfogalmazott alapvető követelmény a teljes fejlesztési folyamat felügyelete is.

2. SZAKIRODALMI ELEMZÉS A KÖVETELMÉNYRENDSZER FELÁLLÍTÁSA ÉRDEKÉBEN

A moduláris felépítésű szerszámgépek fejlesztésének igénye évek óta ösztönzi a mérnököket az új technológiák kidolgozására. Peukert és társai [1] szerszámgép modelleket és szerszámgép szerkezeteket vizsgáltak annak érdekében, hogy osztályozni tudják az egyes megoldások esetén a modularitási lehetőségeket. Véleményük szerint a moduláris felépítés a fenntarthatóságot növelheti a területen. Abdulai és társai 200 publikációt elemeztek a moduláris felépítéssel bíró berendezések építőipari alkalmazhatóságával kapcsolatban. Azt a következtetést vonták le a kutatók, hogy az építőipari területeken jelentős az elmaradás a moduláris felépítésű berendezések építése területén. Yevu és társai [3] a moduláris felépítésű gépek fejlesztésénél a mesterséges intelligencia alkalmazásának lehetőségeit vizsgálták. Kutatási eredményeik azt igazolták, hogy a mesterséges intelligencia hatékonyabbá teszi a moduláris rendszerek kifejlesztéseit a termelékenység és a munkavédelem, üzembiztonság területén. Egelmeers és társai [4] mechatronikai rendszerek fejlesztéséhez dolgozott ki moduláris fejlesztési koncepciót. A moduláris fejlesztési potenciállal a jövőben hatékonyabban és gyorsabban lesznek képesek a mérnökök a különböző gépeket és technológiákat kifejleszteni.

A digitális gyártástudomány jelentős követelménye az univerzális szerszámgépek alkalmazása. Bidar és társai [5] univerzális szerszámgépen hajtottak végre kísérleteket. A megmunkáló géppel marási és additív gyártási műveletek is elvégezhetőek voltak. A kutatásaik során vizsgálták az additív gyártás során létrejövő geometriák marási folyamattal történő módosításának lehetőségeit és a marási folyamat hatásait a geometriára. Yamazaki [6] részletesen elemezte a többcélú (Multi-tasking) szerszámgépek elterjedésének várható hatását. Kutatási eredményei alapján azt a következtetést vonta le, hogy ezen új típusú szerszámgépekkel pontosabb, gyorsabb gyártást lehet megvalósítani, melynek eredményeképpen várhatóan kisebb munkaerőigény fog jelentkezni a gyártó iparban. Komatsu és társai [7] különböző megmunkálási folyamatokat elemeztek annak érdekében, hogy egy automatizált kiválasztási algoritmust fejlesszenek ki az univerzális szerszámgépek területén. A kiválasztási mechanizmus a gyártandó alkatrészek alapján emberi beavatkozás nélkül képes meghatározni a szükséges szerszámgépkonfigurációt.

Az irodalmi elemzésből levonhatjuk a következtetést, hogy jelenleg is jelentős igény mutatkozik a moduláris felépítéssel bíró szerszámgépek fejlesztésére és az univerzális megmunkáló gépek kialakítására egyaránt.

3. KIINDULÁSI ÁLLAPOTOT MEGTESTETÍTŐ PROTOTÍPUS ELEMZÉSE

Kutatásomat először a fejlesztési koncepció alapgépeként (1. ábra) értelmezhető CNC marógép elemzésével kezdtem. Az elemzés kiterjedt a felépítésre, a mechanikai tulajdonságokra, a szerszámgép asztalának statikai rendszerére, a mozgástartományokra és az alkalmazott gépelemekre.



1. ábra. Kiindulási állapotként értelmezhető prototípus szerszámgép

Az alapgép vizsgálati folyamata során azt a következtetést vontam le, hogy a berendezés jelenlegi statikai rendszere nem teszi lehetővé a modularitás irányába való elmozdulást, így újra kell tervezni az szerszámgép asztalához köthető mechanikai modellt. Ezen megállapításomat jelen kutatással párhuzamosan dolgozó kollégák mechanikai számításokkal és végeeselemes szimulációkkal is megerősítették.

A megmunkáló egységhez köthető szerkezetek viszont alkalmasak egy univerzális berendezéshez. A mozgásrendszerek elemzése alapján elmondható, hogy az alapgép konstrukciója alkalmas akár két technológiának a szerszámgépen való elhelyezésére.

Az elemzések alapján levontam azt a következtetést, hogy az alapgép fejlesztésének eredményeképpen hatékony univerzális szerszámgépcsaládot lehet kifejleszteni.

4. KÖVETELMÉNYRENDSZER KIDOLGOZÁSA

Annak érdekében, hogy a negyedik ipari forradalom igényeit kielégítsük a fejlesztésünkkel, egy részletes követelményrendszert kellett kidolgozni a fejlesztéshez. A kidolgozás eredményeképpen rendelkezésre állhat az a keretrendszer, amelynek alapján a fejlesztési folyamat végén gazdaságos és hatékony szerszámgépcsaládot lehet gyártani, az egyedi vevői igények alapján.

4.1. Moduláris felépítés

A szerszámgépcsalád fejlesztése során olyan asztalt kell tervezni, amely különböző méretű modulokból áll össze. A modulok tervezése során figyelembe kell venni a gépipari gyártásban előforduló általános alkatrészméreteket, illetve a méretkorlátokat. A modulok esetében a mechanikai stabilitás is fontos szempont, ugyanis csak abban az esetben lesz hatékony az univerzális felépítés, ha a modulok egymáshoz illeszkedése során nem növekszik meg jelentősen a rezgéshajlam és megmarad a kiváló merevség. A modulok egymáshoz történő gyors és pontos illeszthetősége is fontos követelmény. A szerszámgépek szállítása során generálódó platóméret korlátot is figyelembe kell venni akkor, amikor a modulok és a modulokból összeállítható szerszámgép méreteket meghatározzuk.

Az elemzési munka során azt a következtetést vontam le, hogy kiemelten komplex feladatként fog generálódni a jövőben az egyes modulok összeépítése során az egyes modulok magasságának szintre hozása. Akármennyire is pontos egy modulgyártás, biztos hogy néhány tized milliméteres magasságkülönbségek lesznek az egyes modulok között, amely komoly problémát vetít előre, hiszen egy hatékony magasságkompenzációs megoldás nélkül lehetetlenné válna a modulok felső részéből kialakult asztalon dolgozni. Fontos követelmény tehát a témában a magasságkompenzáció megoldása.

4.2. Alkalmazható technológiák

A moduláris felépítésen túl igényként jelentkezik, hogy a vevő a szerszámgép méretén túl választani tudjon a szerszámgép által alkalmazható alakítási technológiák közül is. Az univerzalitás ilyen mértékű fejlesztése abszolút újdonságnak számít a területen. A fejlesztési folyamat eredményeképpen a szerszámgép testhez a megrendelő választani tud lézervágási, plazmavágási, lángvágási, vagy marási technológiát. Célunk olyan szerszámgép konstrukciót fejleszteni, amelynél akár két technológia is felszerelhető lesz az asztal fölé. A két technológia két külön portálon kerül elhelyezésre, így egymástól függetlenül is mozoghatnak az egyes portálok. Az elemző munkám eredményeképpen egy fontos korlátra is fény derült. Amennyiben a megrendelő marási technológiát kér a szerszámgép testhez, azt kizárólag egyedüli technológiaként kérheti. Ennek oka, hogy az asztalfelépítés teljesen más kell legyen marási, valamint a különböző vágási technológiáknál. A technológiákkal kapcsolatos egy gépen belüli univerzalitást tehát kizárólag a lézervágási, lángvágási és plazmavágási technológiáknál lehetséges megvalósítani.

4.3. Felhasználói felület és parametrikus konstrukciós modell

Akkor lesz igazán hatékony a fejlesztés, ha a vevő önmaga állíthatja össze a vásárolni kívánt gépkonstrukciót. Ehhez szükséges készíteni egy olyan felhasználói felületet, ahol a megrendelő a gyártó cég beavatkozása nélkül is képes összeállítani azt a konstrukciós változatot, amelyre neki szüksége lesz. A választás természetesen a munkatér méretére és az alkalmazandó technológiára, vagy technológiákra is kiterjed. A kiválasztási algoritmust tartalmazó felhasználói felülethez egy olyan parametrikus konstrukciós modellt szükséges illeszteni, amely a dedikált vevői igény alapján megalkotott szerszámgép konstrukciós tervdokumentációját adja át a gyártó cég szakembereinek. Ez a megoldás jelentős mértékben lerövidíti és leegyszerűsíti a tervezési időtartományt, továbbá a konstrukciós tervezési költségek is jelentős mértékben

lecsökkennek. A felhasználói felülethez egy részletes és folyamatosan bővíthető, átalakítható adatbázist is létre kell hozni. Az adatbázisból részint maga a megrendelő, részint pedig a környezet alapján a felhasználói felülethez tartozó kiválasztó algoritmus fogja a szerszámgép egyes részegységeit kiválasztani. Az adatbázisban szükséges létrehozni az alábbi információk központokat:

- hajtások
- szerszámgép híd
- golyósorsó
- burkolati típusok
- asztalok
- kapcsolók
- szenzorok

4.4. Virtuális üzembehelyezési stratégia

A virtuális üzembehelyezési stratégia kidolgozása során azt a célt fogalmazzuk meg, hogy a vevő a digitális térben tesztelhesse le a választott konstrukciójának várható hatékonyságát. A teszteléshez szükséges ismerni a megrendelő által gyártandó alkatrészek főbb méreteit és tulajdonságait, illetve a megmunkálás egyéb környezeteit. Egy virtuális tesztelési lehetőséggel a vevő rájöhethet arra, hogy más felépítéssel és méretekkel rendelkező szerszámgépre lesz szüksége és módosíthatja megrendelését.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben egy kutatási folyamat első szakasza ismerhető meg, ahol a kutatások fő célja egy olyan szerszámgépcs család kifejlesztése, amely a vevői igényekre szabva, moduláris felépítésével változtatható munkatérrel, illetve választható anyagleválasztási technológiával rendelkezik majd. A kutatás során a Pannon Egyetem Géptan Intézeti Tanszék kollégái párhuzamosan fejlesztik a szerszámgépcs családhoz tartozó egyes konstrukciós elemeket, építik ki a felhasználói felületet, dolgozzák ki a virtuális üzembehelyezési stratégia hátterét annak érdekében, hogy a pályázati időtartomány végére egy hazai és nemzetközi viszonylatban is piacépes konstrukciót hozzanak létre.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

2024-1.1.1-KKV_FÓKUSZ-2024-00057 azonosítószámú projekt az NKFI Hivatal és a Nemzeti Innovációs Ügynökség konzorciumában, a Magyar Állam támogatásával társfinanszírozásával valósul meg.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] B. Peukerta, M. Saojia, E. Uhlmann An evaluation of building sets designed for modular machine tool structures to support sustainable manufacturing. *Procedia CIRP*, vol. 26, pp., 2015, pp. 612 – 617
- [2] S. F. Abdulaia, T. Zayed, I. Y. Wuni, M. F. Antwi-Afari, A. Yussif, Cross-industry review of autonomous alignment technologies: Adaptation potential for modular construction. *Journal of Cleaner Production*, vol. 495, 2025, 145101
- [3] S. K. Yevu, K. B. Blay, K. Ayinla, G. Hadjidemetriou, Artificial intelligence in offsite and modular construction research. *Automation in Construction*, vol. 171, 2025, 105994
- [4] R. A. Egelmeers, A.L. Janssen, R. H.B. Fey, J. W. Gerritsen, N. van de Wouwa, Reduced-order modeling of modular, position-dependent systems with translating interfaces. *Mechatronics*, vol. 102, 2024, 103224
- [5] P. Bidare, A. Jimenez, S. M. Abdelkhalek, I. Khaled, A. Hassan, R. Abdallah, Hybrid additive manufacturing of AISI H13 through interlayer machining and laser re-melting, *Materials. Today Communications*, vol. 37, 2023, 107042
- [6] T. Yamazaki, Development of A Hybrid Multi-tasking Machine Tool: Integration of Additive Manufacturing Technology with CNC Machining. *Procedia CIRP*, vol. 42, 2016, pp. 81 – 86
- [7] W. Komatsu, K. Nakamoto, Machining process analysis of multi-tasking machine tools based on form-shaping motions. *Precision Engineering*, vol. 73, 2022, pp. 332-346