

AZ ESZTERGA SZERSZÁMGÉPEK FEJLŐDÉSE: A KÉZI HAJTÁSTÓL A CNC TECHNOLÓGIÁIG

THE DEVELOPMENT OF LATHE MACHINE TOOLS: FROM MANUAL OPERATION TO CNC TECHNOLOGY

Dr. Bodzás Sándor*

ABSZTRAKT

Az eszterga szerszámgépek fejlődése szorosan összefügg az ipari termelés technológiai átalakulásával. A publikáció bemutatja az esztergagépek történeti fejlődésének főbb állomásait a kézi hajtású szerkezetektől kezdve a hagyományos mechanikus megoldásokon át egészen a korszerű CNC-vezérlésű szerszámgépekig. Az elemzés kitér a technológiai innovációk termelékenységre, pontosságra és automatizálásra gyakorolt hatásaira, valamint arra, hogy a CNC technológia miként alakította át a modern forgácsolóipart. A tanulmány célja átfogó képet adni az esztergagépek fejlődésének gépészeti és ipari jelentőségéről.

ABSTRACT

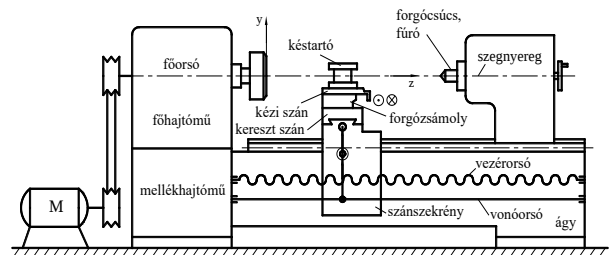
The development of lathe machine tools is closely related to the technological transformation of industrial production. This publication presents the main stages in the historical evolution of lathes, from manually operated machines through conventional mechanical solutions to modern CNC-controlled working machines. The analysis highlights the impact of technological innovations on productivity, precision, and automation, as well as the ways in which CNC technology has transformed the modern machining industry. The aim of the study is to provide a comprehensive overview of the technical and industrial significance of lathe development.

1. BEVEZETÉS

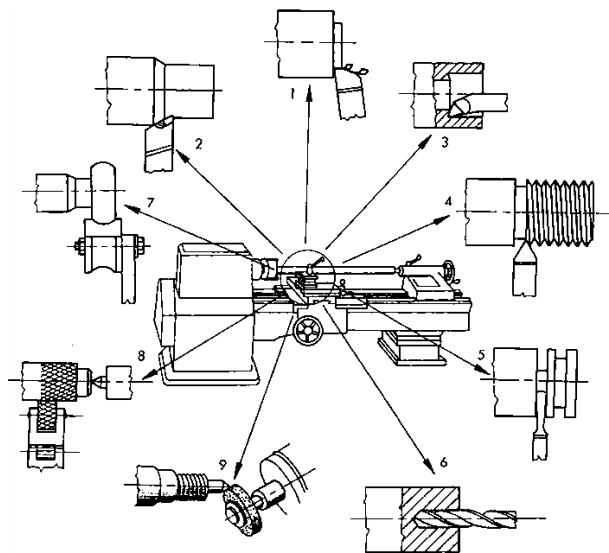
Az esztergálás a forgácsoló megmunkálások egyik legfontosabb és legelterjedtebb eljárása, amely meghatározó szerepet tölt be a gépipar, a járműgyártás, valamint a precíziós alkatrészgyártás területén. Az esztergagépek fejlődése szorosan összefügg az ipari termelés technológiai fejlődésével, hiszen a gyártási pontosság, a termelékenység és az automatizálás iránti növekvő igény folyamatos innovációra ösztönözte a szerszámgépgyártást. Az évszázadok során a kezdetleges kézi hajtású eszközökből fokozatosan nagy pontosságú, számítógép-vezérelt berendezések alakultak ki, amelyek napjaink modern gyártórendszereinek alapvető elemei.

Az esztergálás során a munkadarab forgómozgást végez, miközben a szerszám előtoló mozgással eltávolítja a felesleges anyagot a kívánt geometria kialakítása érdekében. Az eljárás széles körben alkalmazható hengeres, kúpos, menetes és egyéb forgásszimmetrikus alkatrészek gyártására, ezért az egyik legsokoldalúbb forgácsolási technológiának tekinthető (1., 2. és 3. ábra) [22, 23].

Az esztergagépek fejlődése jelentős hatással volt a megmunkálási pontosság növelésére, a gyártási idő csökkentésére, valamint a sorozatgyártás hatékonyságának javítására.



1. ábra. Egyetemes esztergagép felépítése [21]

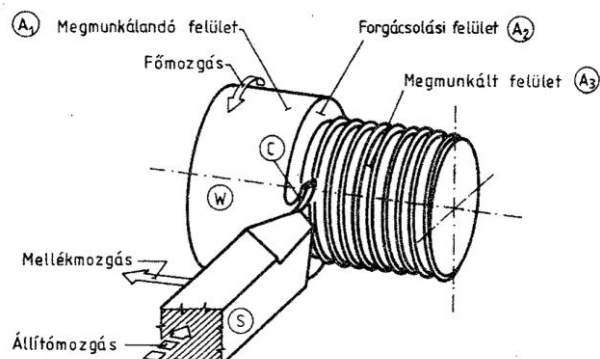


2. ábra. Jellegzetes eszterga műveletek [21]

A tanulmány célja áttekinteni az eszterga szerszámgépek fejlődésének legfontosabb állomásait a

* egyetemi docens, Debreceni Egyetem Műszaki Kar Gépészmérnöki Tanszék

kézi hajtású szerkezetektől egészen a korszerű CNC-technológiáig. A tanulmány bemutatja az ipari forradalom hatását, az automatizálás megjelenését, valamint a digitális vezérlésű rendszerek kialakulását és ipari jelentőségét. Emellett röviden ismerteti a modern gyártási trendeket, különös tekintettel az Ipar 4.0 és az intelligens gyártórendszerek térnyerésére.

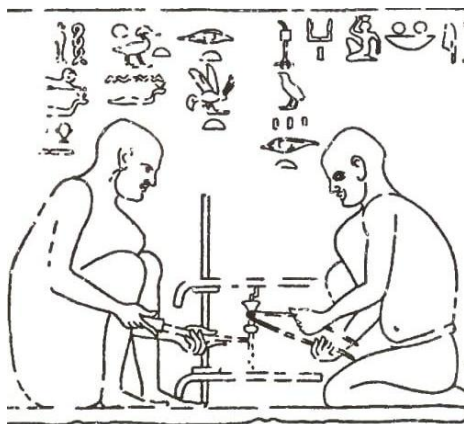


3. ábra. A munkadarab felületei, jellegzetes mozgások [22]

2. AZ ELSŐ ESZTERGAGÉPEK ÉS A KÉZI HAJTÁS KORSZAKAI

Az esztergálás története több ezer évre nyúlik vissza, és a legkorábban alkalmazott forgácsolási eljárások közé tartozik (Kr. e. 1300).

Az első primitív esztergagépek már az ókori Egyiptomban és Görögországban megjelentek, ahol főként faanyagok megmunkálására használták őket. Ezek a kezdetleges szerkezetek emberi erővel működtek, a munkadarab forgatását kézzel vagy kötél segítségével végezték (4. ábra). Az egyszerű kialakítás ellenére ezek az eszközök jelentős előrelépést jelentettek a kor kézműiparában, mivel lehetővé tették forgásszimmetrikus alkatrészek kialakítását.



4. ábra. A kézi forgácsolás kezdeti formája (Kr. e. 300 körül) [1]

A korai esztergagépek egyik legismertebb típusa az íjhajtású eszterga volt (5. ábra). Ennél a megoldásnál egy íjhoz rögzített kötél forgatta a munkadarabot oda-vissza

irányú mozgással. A megmunkálás gyakran két ember összehangolt munkáját igényelte: egyikük a forgatást végezte, míg a másik a szerszámot vezette.



5. ábra. Íjhajtású eszterga (Kr. e. 3–1. század) [2]

A későbbi fejlődési szakaszban megjelentek a lábajtású esztergák, amelyek pedálos mechanizmussal biztosították a folyamatosabb forgómozgást. Ez javította a megmunkálás pontosságát és hatékonyságát, valamint csökkentette a kezelő fizikai terhelését (6. ábra).



6. ábra. Lábajtású eszterga [3]

A középkor (kb. 476 – 1492) és a reneszánsz időszakában (kb. 1300 – 1600) az esztergagépek szerkezeti kialakítása tovább fejlődött. Megjelentek a stabilabb gépvázak, az egyszerű szánrendszerek és a pontosabb szerszámvezetési megoldások. Az esztergálást ekkor már nemcsak fa-, hanem egyre gyakrabban fémmegmunkálásra is alkalmazták. A kézi hajtású rendszerek azonban továbbra is korlátozott teljesítménnyel rendelkeztek, ezért a gyártási pontosság és termelékenység nagymértékben függött a kezelő tapasztalatától és fizikai erejétől. Ezek a korlátok teremtették meg az igényt a későbbi mechanikus és ipari hajtású esztergagépek kifejlesztésére.

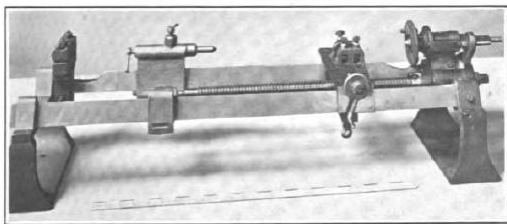
3. AZ IPARI FORRADALOM HATÁSA AZ ESZTERGAGÉPEK FEJLŐDÉSÉRE

Ez a korszak az esztergálás történetének legmeghatározóbb fordulópontja (kb. 1760 - 1900-as

évek). Ekkor vált le az eszterga az emberi vagy állati erővel hajtott, fából készült kézműves szerszámokról, és alakult át valódi, precíziós ipari géppé.

Henry Maudslay (Anglia, 1797 körül) kifejlesztette a csavart esztergáló gépet vezetőorsóval és állítható szánnal, ami lehetővé tette a pontos menetesztergálást (7. ábra). A gép működése röviden:

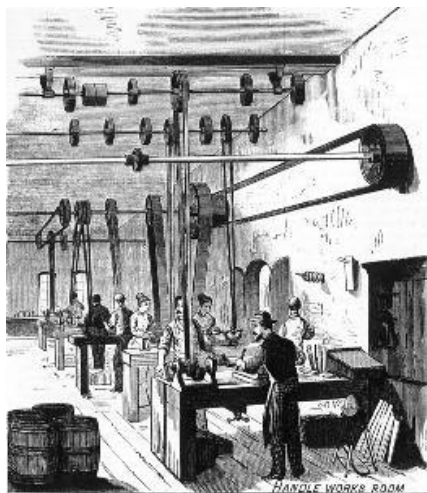
- az eszterga két háromszögprofilú sínre épül, amelyeken a szerszámszán csúszkája mozog, miközben a munkadarab forgásban van,
- a vezető orsó a főorsóval együtt mozog, és a csereáttételeken keresztül különböző menetemelkedéseket képes kialakítani,
- a szánnra csavarment mélységét mikrométerrel lehet szabályozni.



7. ábra. Maudslay csavart esztergáló gépe (1797) (méretpontosság kb. $\pm 0,05\text{--}0,2\text{ mm}$, felületi érdesség kb. $R_a=3,2\text{--}12,5\text{ }\mu\text{m}$) [4]

Az ipari forradalom jelentős változásokat hozott a gyártás és a gépipar területén, amelyek az esztergagépek fejlődésére is nagy hatással voltak. A gőzgépek megjelenése lehetővé tette a mechanikus hajtás alkalmazását, amely jelentősen növelte a gépek teljesítményét (kezdetben 5–20 kW, később akár 100+ kW teljesítményt is leadtak) és termelékenységét (kb. 5–20-szorosára nőtt).

Az esztergagépek fejlődése különösen fontos szerepet játszott a gépgyártásban, hiszen ezek segítségével lehetett precíz tengelyeket, csavarokat és egyéb forgástest alakú alkatrészeket előállítani.

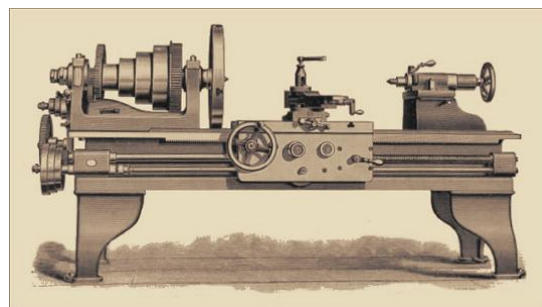


8. ábra. Szíjhajtásos műhely az ipari forradalom idején (1820–1850 közötti időszak) [4]

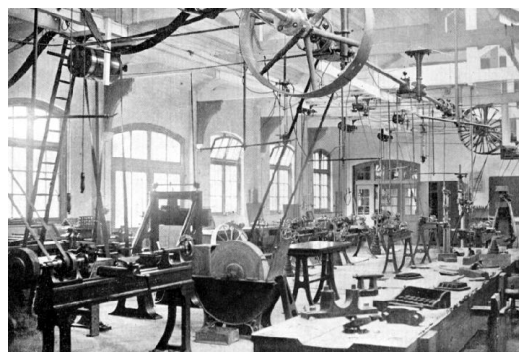
A gőzgép feltalálása után az esztergák meghajtására is főleg ezt gőzerőt használták a korábbi vízi és lábmeghajtás helyett [34, 35].

A gőzgép azonban nem egy esztergát hajtott meg, hanem az egy műhelyben lévő összes gép meghajtására egy darab gőzgépet használtak. Ezt transzmissziós hajtásnak nevezzük (8., 9. és 10. ábra) [34, 35].

A transzmissziós hajtást úgy oldották meg, hogy a mennyezeten végigfutó tengelyt, vagy tengelyeket hajtotta a gőzgép, majd a tengelyekről borszíjakkal vitték át forgó mozgást a gépekre (8., 9. és 10. ábra) [34, 35].



9. ábra. Eszterga transzmissziós hajtással (1850–1880 közötti időszak) (méretpontosság kb. $\pm 0,02\text{--}0,1\text{ mm}$, felületi érdesség kb. $R_a=1,6\text{--}6,3\text{ }\mu\text{m}$) [4]



10. ábra. Korabeli gépgyár központi tengelyhajtással (1880–1910 közötti időszak) [5]

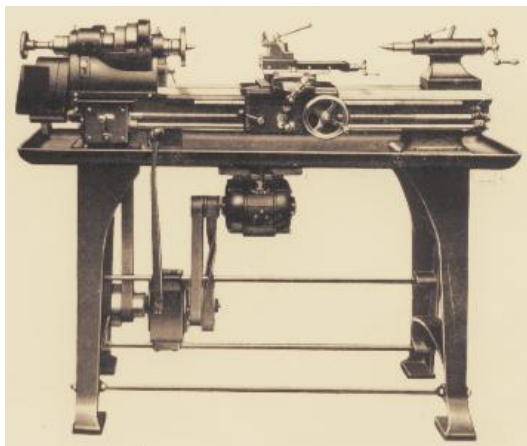


11. ábra. Öntöttvas gépágyas precíziós esztergagép (1860–1890 közötti időszak) (méretpontosság kb. $\pm 0,02\text{--}0,05\text{ mm}$, felületi érdesség kb. $R_a=1,6\text{--}3,2\text{ }\mu\text{m}$) [6]

Az ipari fejlődés során az esztergagépek szerkezete is egyre korszerűbbé vált. Megjelentek a stabilabb

öntöttvas gépágyak (11. ábra), a pontosabb vezetékek és a különböző automatikus előtoló mechanizmusok. Ezek az újítások nemcsak a pontosságot javították, hanem a gyártási időt is csökkentették.

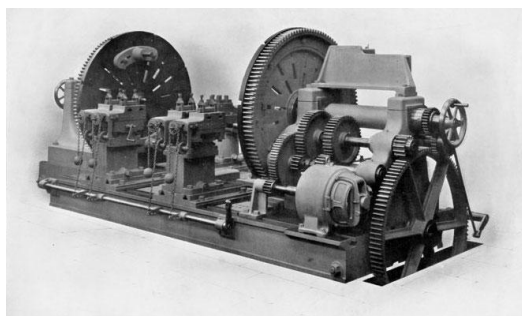
A villamos hajtású esztergagépek a 19. század végén, nagyjából az 1880-as–1890-es években jelentek meg. Elterjedésük szorosan kapcsolódott az elektromos motorok ipari alkalmazásának fejlődéséhez (12. ábra).



12. ábra. Esztergagép egyedi villamos meghajtással (1880–1890-es évek) (méretpontosság kb. $\pm 0,02$ – $0,05$ mm, felületi érdesség kb. $R_a=1,6$ – $3,2$ μm) [7]

Az elektromos motor meghajtású esztergagépek megjelenése nagy előrelépést jelentett, mert:

- megszűnt a hosszú központi szíjhajtás szükségessége,
- pontosabb fordulatszám-szabályozás vált lehetővé,
- csökkent a zaj és az energia-veszteség,
- valamint biztonságosabbá és rugalmasabbá vált a gépek elhelyezése.



13. ábra. Elektromos meghajtású kerékeszterga (1906) (méretpontosság kb. $\pm 0,1$ – $0,3$ mm, felületi érdesség kb. $R_a=3,2$ – 25 μm) [8]

Az esztergagépek fejlődése szorosan összekapcsolódott a vasút-, hajó- és fegyvergyártás növekedésével, mivel ezek az iparágak nagy mennyiségű, pontos alkatrészt igényeltek (13. ábra). A 13. ábrán látható gép fő feladata:

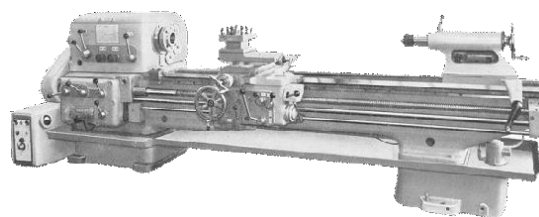
- vasúti kerekek futófelületének esztergálása,
- kopott, laposra futott („kockás”) kerekek javítása,
- új kerekek végső megmunkálása gyártás után,

- kerékperemek (karima) profilozása.

A vasúti biztonság miatt ez kritikus karbantartó gép volt.

4. A HAGYOMÁNYOS ESZTERGAGÉPEKTŐL AZ AUTOMATIZÁLÁSIG

A hagyományos esztergagépek működése teljes mértékben a gépkezelő szakértelmére épült. A munkadarab forgómozgását a gép biztosította, míg a szerszám előtolását és a megmunkálási folyamat irányítását az operátor végezte kézi vezérléssel. Ezek a gépek nagy gyakorlatot és precizitást igényeltek, mivel a méretpontosság és a felületi minőség nagymértékben a kezelő tapasztalatától függött.

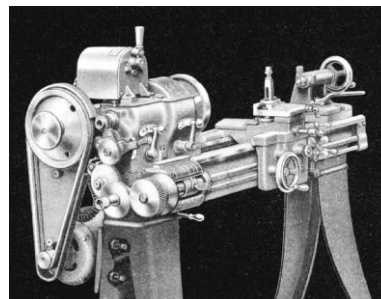


14. ábra. Esztergagép az 1940-es évekből (méretpontosság kb. $\pm 0,01$ – $0,03$ mm, felületi érdesség kb. $R_a=0,8$ – 20 μm) [7]

Az esztergák korábbi, egyszerű és könnyű szerkezeti kialakításának módosítását az új szerszáanyagok – például a gyorsacél és a keményfém – megjelenése tette szükségessé, mivel az ezek alkalmazásával elérhető nagyobb forgácsolási teljesítmény fokozott terhelést jelentett, amelynek a korábbi gépszerkezetek már nem tudtak megfelelően ellenállni (1940-es évek: 1,5 – 3 kW, 1950–1960-as évek: 4 – 7,5 kW, 1970–1980-as évek: 7,5 – 11 kW) Erősebb és merevebb gépeket kellett építeni (14. ábra). Fő jellemzők:

- többségében mechanikus vezérlésű, kézi esztergagépek,
- egyedi villamos motoros hajtás már általános,
- fogaskerekes fordulatszámváltó az orsószekrényben,
- masszív, öntöttvas gépágy.

Ezek a gépek rendkívül tartósak voltak, sok ma is működik.



15. ábra. Amerikai LeBlond gyártmányú egyetemes esztergagép (1930-as évek) (méretpontosság kb. $\pm 0,02$ – $0,04$ mm, felületi érdesség kb. $R_a=1,6$ – $12,5$ μm) [9]



16. ábra. egy klasszikus, ipari tömegtermelésre tervezett revolvereszterga (1940-es és 1950-es évek) (méretpontosság kb. $\pm 0,02-0,05$ mm, felületi érdesség kb. $R_a=1.6-25$ μm) [10]

A 16. ábrán lévő revolveresztergagép igazi technikatörténeti jelentősége abban áll, hogy a hagyományos esztergák egyetlen késtartóját egy forgatható, több szerszámhelyes dobbal (a „revolverfejjel”) helyettesítette. Ez a mechanizmus lehetővé tette, hogy a munkás a szerszámok időigényes, kézi cseréje és újrapozicionálása nélkül, a fej egyszerű elforgatásával egymás után végezzen el fúrási, menetvágási vagy oldalazási műveleteket.

Az ipari termelés növekedésével egyre nagyobb igény jelent meg a gyorsabb, pontosabb és ismételhetőbb gyártási folyamatokra (15 és 16 ábrák).

Ennek hatására jelentek meg a félautomata (17. ábra), majd az automata esztergagépek (18. ábra), amelyek már bizonyos műveleteket emberi beavatkozás nélkül tudtak végrehajtani. Az automatizálás első lépései mechanikus vezérléssel történtek, például bütykös rendszerek alkalmazásával, amelyek előre meghatározott mozgásokat végeztek.



17. ábra. Egy klasszikus, robusztus egytemes eszterga (1960 - 1970-es évek) (méretpontosság kb. $\pm 0,02-0,04$ mm, felületi érdesség kb. $R_a=0.8-25$ μm) [10]



18. ábra. Egy klasszikus, ipari kivitelű Brown & Sharpe márkájú automata esztergagép (1960 - 1970-es évek) (méretpontosság kb. $\pm 0,01-0,02$ mm, felületi érdesség kb. $R_a=0.4-12.5$ μm) [11]

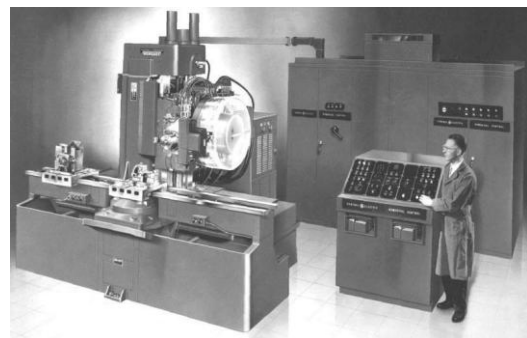
A félautomata esztergagépek esetén a gyártási ciklus bizonyos részeit a gép már teljesen önállóan, emberi beavatkozás nélkül végezte, de a ciklusok indításához még szükség volt az operátorra (17. ábra).

A kezdetleges automata esztergagépek a 19–20. század fordulóján jelentek meg, és az esztergálás első lépéseit jelentették az automatizálás felé. A kezdetleges automata esztergagépek ($P=4-7,5$ kW) mechanikus vezérlésű gépek voltak, amelyek előre beállított mozgásokkal ismétlődő alkatrészeket gyártottak emberi kézi vezérlés nélkül (18. ábra).

5. A CNC TECHNOLÓGIA MEGJELENÉSE ÉS FEJLŐDÉSE

A CNC-technológia megjelenése alapvető változást hozott az esztergagépek fejlődésében és a forgácsolóipar modernizációjában. A hagyományos, kézi vezérlésű esztergagépek hosszú időn keresztül meghatározó szerepet töltek be a gépgyártásban, azonban működtetésük nagy szakmai tapasztalatot igényelt, és a megmunkálás pontossága jelentős mértékben függött a kezelő szakértelmétől. A második világháborút követően egyre nagyobb igény mutatkozott a gyorsabb, pontosabb és automatizált gyártási technológiák iránt, különösen a repülőgép- és hadiipar területén. Ennek hatására az 1950-es években megjelentek az első numerikus vezérlésű, úgynevezett NC (Numerical Control) gépek.

Az első numerikus vezérlésű esztergagépek még lyukszalagos programozással működtek, és elektromos vezérlőrendszer irányította a szerszám mozgását. Ezek a berendezések lehetővé tették az ismétlődő megmunkálási feladatok nagy pontosságú végrehajtását (ismétlési pontosság: $\pm 0,01-0,02$, felületi érdesség kb. $R_a=0.4-1.6$ μm), miközben jelentősen csökkentették az emberi hibák lehetőségét.



19. ábra. Az 1950-es évek elején fejlesztett korai numerikus vezérlésű (NC) szerszámgép (méretpontosság kb. $\pm 0,015-0,025$ mm, felületi érdesség kb. $R_a=0.8-1.6$ μm) [12]

A 19. ábrán lévő szerszámgépet még vákuumcsöves elektronikával és lyukszalagos adatbevitellel működtették.

A technológia fejlődésével a számítógépek megjelenése új korszakot nyitott a gyártásban, így az 1970-es évektől fokozatosan elterjedtek a CNC

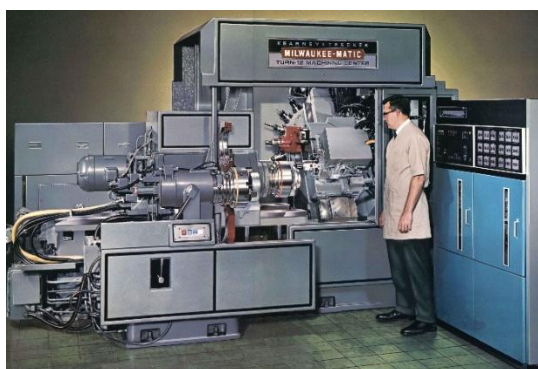
(Computer Numerical Control) esztergagépek (20. és 21. ábra). A CNC-rendszerek már digitális programok alapján működtek, ami gyorsabb programozást, nagyobb rugalmasságot és összetettebb alkatrészek gyártását tette lehetővé.



20. ábra. CNC eszterga az 1980-as évekből (méretpontosság kb. $\pm 0,01$ – $0,02$ mm, felületi érdesség kb. $R_a=0.8$ – 12.5 μm) [13]



21. ábra. 1990-es évekbeli CNC-esztergagép zárt burkolattal és digitális vezérlőpanellel (méretpontosság kb. $\pm 0,01$ – $0,02$ mm, felületi érdesség kb. $R_a=0.8$ – 12.5 μm) [13]



22. ábra. Egy korai Kearney & Trecker Corporation „Milwaukee-Matic” jellegű megmunkáló központ (méretpontosság kb. $\pm 0,015$ – $0,02$ mm, felületi érdesség kb. $R_a=1.6$ – 12.5 μm) [14]

A CNC-technológia elterjedése jelentősen növelte a termelékenységet, csökkentette az emberi hibák számát, és lehetővé tette az összetett alkatrészek gazdaságos gyártását is. A technológia fejlődése során a

hagyományos eszterga- és marógépeket fokozatosan felváltották a többtengelyes CNC-megmunkáló központok.

A 22. ábrán látható megmunkáló központ 1970-es években már számítógépes vezérléssel és részleges automatizálással működött. Ezek a gépek még nagy, robusztus öntöttvas szerkezettel készültek, és főként nagyipari feladatokra használták őket.

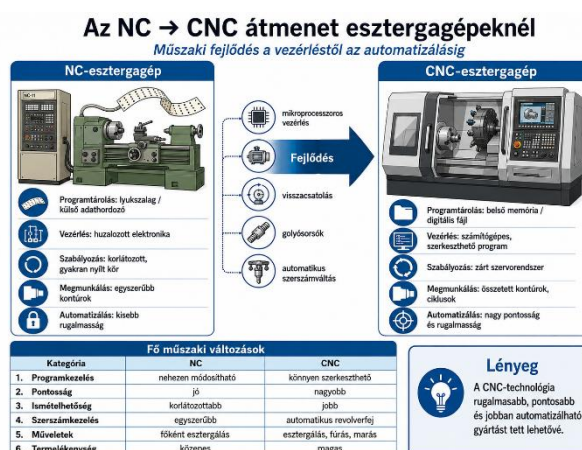


23. ábra. 5 tengelyes megmunkáló központ egyidejűleg (Kunzmann WF 650) (2009) (méretpontosság kb. $\pm 0,003$ – $0,005$ mm, felületi érdesség kb. $R_a=0.1$ – 1.6 μm) [15]

A 23. ábrán egy prémium kategóriás, német gyártmányú szerszámgép látható, amelyet kifejezetten precíziós alkatrészgyártásra, szerszámkészítésre, prototípusok készítésére és kis-közepes sorozatgyártásra terveztek.

6. NC–CNC ÁTMENET MŰSZAKI ELEMZÉSE ESZTERGAGÉPEK ESETÉN

Az NC-ről CNC-vezérlésre történő átállás az esztergagépek jelentős műszaki fejlődését eredményezte (24. ábra).



24. ábra. NC – CNC átmenet esztergagépeknél

Az NC-gépeknél a programokat többnyire külső adathordozón tárolták, módosításuk pedig nehézkes volt,

míg a CNC-gépeknél a programok elektronikusan tárolhatók, szerkeszthetők és ismételten felhasználhatók.

A mikroprocesszoros vezérlés pontosabb tengelymozgást, fejlettebb interpolációt és összetettebb alkatrészek megmunkálását tette lehetővé.

A CNC-esztergákban elterjedtek a szervomotorok, a helyzet-visszacsatolás, a golyósorsók és az automatikus szerszámváltók. Ezek javították a pozicionálási pontosságot, az ismételhetőséget és a termelékenységet. Az újabb gépek már több műveletet, például esztergálást, fúrást és marást is képesek egyetlen befogásban elvégezni [24 - 27].

Összességében a CNC-technológia rugalmasabbá, pontosabbá és automatizáltabbá tette az esztergagépeket [24 - 27].

7. A MODERN ESZTERGAGÉPEK ÉS AZ IPAR 4.0 KAPCSOLATA

A modern esztergagépek fejlődése szorosan összefonódik az Ipar 4.0 koncepció megjelenésével, amely a gyártási rendszerek digitalizációját, hálózatba kapcsolását és intelligens működését helyezi előtérbe. A hagyományos CNC esztergagépek az elmúlt évtizedekben jelentős technológiai fejlődésen mentek keresztül: a kezdeti numerikus vezérlésű berendezésekből mára nagy pontosságú, szenzorokkal ellátott, számítógépes hálózatokhoz kapcsolható gyártóegységek váltak. Ez a fejlődés tette lehetővé, hogy az esztergagépek ne csak önállóan működjenek, hanem egy integrált, intelligens gyártási rendszer részei legyenek.

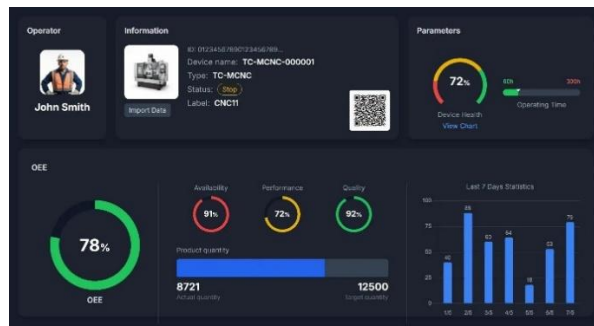
A 24. ábrán egy speciális hibrid technológiájú szerszámgép látható, amely egyesíti a nagyformátumú 3D nyomtatást (additív gyártás) és az 5-tengelyes CNC marást (szubtraktív megmunkálás) egyetlen munkatérben.



25. ábra. 5 tengelyes megmunkáló központ (Belotti FLU 2617) (2023) (pozicionálási pontosság kb. $\pm 0,015$ – $0,025$ mm, felületi érdesség kb. $R_a=0.8$ – $1.6 \mu m$) [16]

Az Ipar 4.0 egyik legfontosabb eleme a „dolgok internete” (IoT), amely az esztergagépek esetében azt jelenti, hogy a gépek valós időben képesek adatokat gyűjteni és továbbítani saját működésükről. Ezek az

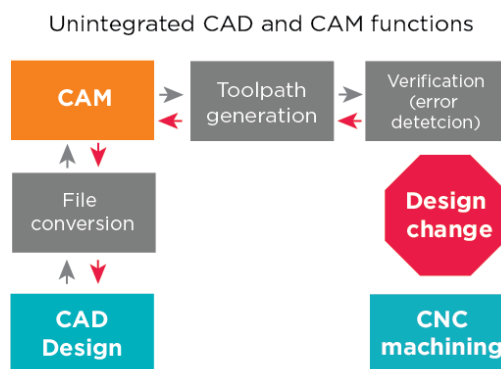
adatok magukban foglalhatják a forgácsolási paramétereket, a szerszámkopást, a hőmérsékletet vagy akár a rezgéseket is. A modern CNC esztergagépek így nem csupán végrehajtják a programozott feladatokat, hanem folyamatos visszajelzést adnak a gyártási folyamat állapotáról, ami lehetővé teszi a prediktív karbantartást és a hibák megelőzését (26. ábra).



26. ábra. Okos gyár CNC monitorral [17]

A digitalizáció másik kulcseleme a CAD/CAM rendszerek integrációja, amelyek révén a tervezés és a gyártás közvetlen kapcsolatba kerül egymással (27. ábra).

A CAD/CAM integráció az esztergagépek esetében összekapcsolja az alkatrész számítógépes tervezését a megmunkálási program előállításával. A CAD-rendszerben létrehozott geometriai modell alapján a CAM-szoftver meghatározza a szerszám pályákat, a fogásmélységet, az előtolást, a fordulatszámot és a megmunkálási sorrendet, majd posztprocesszor segítségével az adott CNC-vezérlés számára értelmezhető NC-programot készít. Ez jelentősen csökkenti a kézi programozási időt és a hibalehetőséget, különösen összetett kontúrok, menetek és többműveletes esztergálás esetén. A szimuláció és az ütközésvizsgálat révén a program még a tényleges gyártás előtt ellenőrizhető, ami növeli a biztonságot, a pontosságot és a géphasználatot (28. ábra).

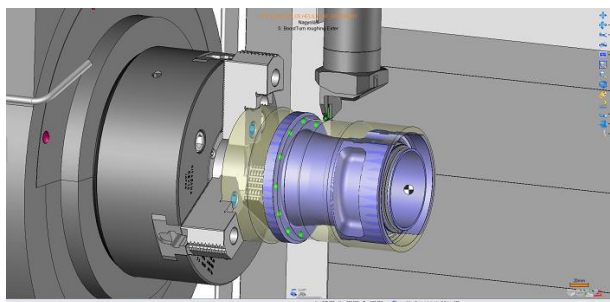


27. ábra. CAD – CAM rendszerek összefonódása [18]

Az Ipar 4.0 környezetben a modern esztergagépek gyakran mesterséges intelligenciával támogatott rendszerekkel is kiegészülnek. Ezek képesek

optimalizálni a forgácsolási paramétereket, felismerni a rendellenességeket, és automatikusan beavatkozni a gyártási folyamatba. Emellett a gépek gyakran robotokkal együttműködve működnek, például automatikus munkadarab-be- és kirakódás révén, ami tovább növeli az automatizáltság szintjét.

A mill-turn (vagy mill-turning) technológia olyan korszerű forgácsolási eljárás, amely egyesíti az esztergálás és a marás műveleteit egyetlen gépen, egyetlen felfogásban. A cél az, hogy a munkadarabot ne kelljen több gép között mozgatni, így pontosabb, gyorsabb és hatékonyabb gyártás érhető el (29. ábra).



28. ábra. CNC esztergálási folyamat szimulációja CAD/CAM környezetben [19]



a)

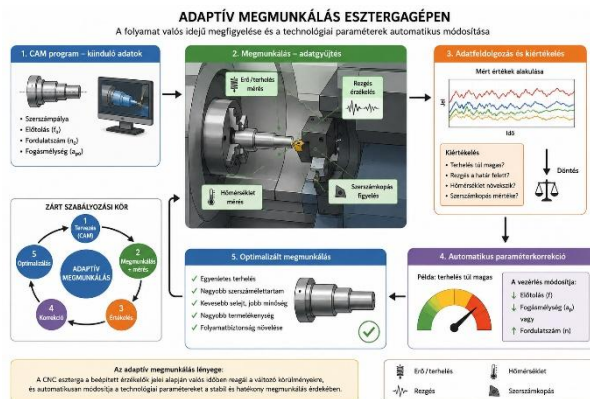


b)

29. ábra. Modern CNC esztergaközpont automatikus gyártási környezetben (pozícionálási pontosság kb. $\pm 0,004-0,006$ mm, felületi érdesség kb. $R_a=0,1-0,8 \mu\text{m}$) [20]

Az adaptív megmunkálás során [32, 33] a CNC-esztergagép érzékelők segítségével folyamatosan figyeli a forgácsolási folyamatot, például az orsóterhelést, a rezgést, a hőmérsékletet vagy a szerszámkopást (30. ábra).

A vezérlés ezek alapján valós időben módosíthatja az előtolást, a fordulatszámot vagy más technológiai paramétereket. Ez csökkenti a szerszámtörés és a selejt kockázatát, egyenletesebb minőséget biztosít, valamint növelheti a termelékenységet és a szerszám élettartamát.



30. ábra. Adaptív megmunkálás esztergagépen

8. MAGYAR ESZTERGAGÉPGYÁRTÁS SZEREPÉNEK ELEMZÉSE

A magyar esztergagépgyártás fontos alapot biztosított a hazai gépipar, a járműgyártás és a szerszámgyártás számára. A Magyarországon előállított hagyományos és később számjegyvezérlésű esztergagépek (31., 32 ábrák) lehetővé tették, hogy számos ipari vállalat belföldi gyártású termelőberendezéseket alkalmazzon.



31. ábra. SZIM E3N-01 – hagyományos, egytetemes esztergagép, a Szerszámgépipari Művek gyártmánya [28]

A szerszámgépgyártás hozzájárult a műszaki szakemberképzés fejlődéséhez, valamint a forgácsolási és gépgyártási ismeretek elterjedéséhez is.



32. ábra. NCT TB-20 YAMs CNC esztergagépközpont
Topper–NCT együttműködésének terméke [29]

A hazai gyártók (Csepel Szerszámgépgyár, Szerszámgépipari Művek, SZIM Esztergagépgyára, Fémáru- és Szerszámgépgyár, Csepeli Szerszámgépgyártó Rt., NCT Ipari Elektronikai Kft./NCT Zrt., stb.) termékei nemcsak a magyar üzemekben jelentek meg, hanem exporttermékként is szerepet kaptak, ezért az ágazat a külkereskedelem szempontjából is jelentős volt. Bár a rendszerváltást követően a magyar szerszámgépgyártás súlya csökkent, a korábbi gépek és műszaki megoldások ma is a magyar ipari örökség fontos részét képezik.

9. FEJLŐDÉSI TRENDEK KVANTITATÍV ELEMZÉSE

Az esztergagépek fejlődési trendjei kvantitatív módon a műszaki teljesítmény mérhető adatain keresztül vizsgálhatók. Az elmúlt évtizedekben jelentősen nőtt a gépek fordulatszáma, megmunkálási pontossága és termelékenysége, miközben csökkent a gyártási idő, a selejtarány és az egy munkadarabra jutó munkaerőigény. A hagyományos esztergákhoz képest a modern CNC-esztergák rövidebb idő alatt, nagyobb pontossággal és jobb ismételhetőséggel képesek alkatrészeket előállítani. A számszerű adatok alapján a fejlődés fő iránya az automatizálás, a hatékonyság növelése és a gyártási költségek csökkentése.

1. táblázat. A hagyományos és CNC-esztergagépek műszaki és termelékenységi mutatóinak összehasonlítása

Vizsgált mutató	Hagyományos esztergagép	Korai CNC-esztergagép	Modern CNC-esztergagép
Maximális fordulatszám	1 000–2 000 ford./perc	3 000–4 000 ford./perc	5 000–8 000 ford./perc
Megmunkálási pontosság	±0,10 mm	±0,02 mm	±0,005 mm
Egy alkatrész gyártási ideje	20 perc	10 perc	4 perc
Selejtarány	8%	3%	1%
Kezelői igény	1 fő/gép	1 fő/2 gép	1 fő/4 gép
Automatizáltság	Alacsony	Közepes	Magas
Programozhatóság	Nincs	Korlátozott	Fejlett
Termelékenység	Alacsony	Közepes	Magas

Az 1. táblázatban lévő értékek szemléltető jellegűek, mert a pontos adatok géptípusonként és gyártónként eltérhetnek [24 - 27].

Az 1. táblázat alapján az esztergagépek fejlődésével nőtt a fordulatszám, a pontosság és a termelékenység, miközben csökkent a gyártási idő, a selejtarány és a szükséges emberi munka [24 - 27].

Az esztergagépek műszaki adatainak validálása mérésekkel és szabványos próbákkal történt. A gyártók geometriai pontossági vizsgálatokkal ellenőrizték többek között a gépágy egyenességét, a főorsó futását, valamint a szánok mozgásának párhuzamosságát és merőlegességét. A gépek tényleges megmunkálási képességét próbadarabok esztergalásával igazolták, amelyeken megmérték a méretpontosságot, a hengerességet, a köralakhibát és a felületi érdességet.

Az NC- és CNC-gépek elterjedésével a vizsgálatok kiegészültek a tengelyek pozicionálási pontosságának, ismétlődésségének, a főorsó hibamozgásának és a gép hőstabilitásának mérésével. A validálás eredményeit a vonatkozó szabványokban meghatározott tűréshatárokkal vetették össze, és a gépet akkor tekintették megfelelőnek, ha valamennyi vizsgált jellemző a megengedett határértéken belül maradt [27, 30, 31].

10. ÖSSZEFOGLALÁS

Az esztergagépek fejlődése jól követi a gyártástechnológia ipari fejlődését a kézi vezérléstől a modern CNC rendszerekig. A kezdeti kézi esztergák alapvető forgácsolási műveleteket tettek lehetővé, azonban pontosságuk és hatékonyságuk nagymértékben függött a kezelő tapasztalatától.

Az ipari forradalom során megjelenő mechanikus és félautomata esztergák már nagyobb termelékenységet és jobb ismétlési pontosságot biztosítottak. A revolveres és automata gépek a sorozatgyártás igényeire reagálva tovább növelték a hatékonyságot és csökkentették a kézi beavatkozás szükségességét.

A CNC technológia megjelenése forradalmi változást hozott, mivel lehetővé tette a nagy pontosságú, összetett geometriájú alkatrészek gyors és ismételhető gyártását.

Napjainkban a CNC esztergák a digitalizált gyártórendszerek részeként működnek, gyakran automatizált és többtengelyes kivitelben.

11. SUMMARY

The development of lathes clearly reflects the industrial evolution of manufacturing technology, progressing from manual control to modern CNC systems. Early manually operated lathes enabled basic machining of rotational parts, but their accuracy and efficiency largely depended on the operator's skill and experience.

During the Industrial Revolution, mechanical and semi-automatic lathes emerged, offering higher productivity and improved repeatability. Turret and

automatic machines further increased efficiency by meeting the demands of mass production and reducing the need for manual intervention.

The introduction of CNC technology brought a revolutionary change, enabling the fast and repeatable production of complex geometries with high precision. Today, CNC lathes operate as part of digital manufacturing systems, often featuring multi-axis configurations and automated processes.

12. IRODALOM

- [1] <https://workingtheflame.com/machining-history/> [letöltve: 2026. 05. 19]
- [2] <https://uk.pinterest.com/pin/the-bow-lathe--632333603928971584/> [letöltve: 2026. 05. 19]
- [3] <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8415576/treadle-operated-ornamental-lathe> [letöltve: 2026. 05. 19]
- [4] https://szerszamgepgyartas.hu/hun/machines/eszterga_2.htm [letöltve: 2026. 05. 19]
- [5] <https://www.lathes.co.uk/southbend/page11.html>
- [6] <https://www.lathes.co.uk/barnes/> [letöltve: 2026. 05. 20]
- [7] https://szerszamgepgyartas.hu/hun/machines/eszterga_2.htm [letöltve: 2026. 05. 20]
- [8] https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ABeyer_Peacock_Electrically_Driven_Wheel_Lathe%2C_1906.jpg [letöltve: 2026. 05. 21]
- [9] https://www.lathes.co.uk/regal/page2.html?utm_source=chatgpt.com [letöltve: 2026. 08. 17]
- [10] <https://bullseyeindustrialsales.com/warner-swasey-3-a-m-1950-universal-saddle-type-turret-lathe-23-1-2-x-40-3ph-219756?srltid=AfmBOoqplr8FWVbHuINXdAmrhXn5veS3R10nUzodhu7tFkvuNiy6HeYm> [letöltve: 2026. 05. 21]
- [11] <https://www.wotol.com/product/brown-sharpe-00-automatic-screw-machine/2455221> [letöltve: 2026. 08. 17]
- [12] https://www.construction-physics.com/p/what-happened-to-the-us-machine-tool?utm_source=chatgpt.com [letöltve: 2026. 05. 22]
- [13] https://www.machineseeker.hu/Eszterga-ciklus-ellen-rzoett-darabol-s-tm-r-0-399-mm/ci-1614?utm_source=chatgpt.com [letöltve: 2026. 05. 22]
- [14] https://www.lathes.co.uk/kearney-and-trecker/page11.html?utm_source=chatgpt.com [letöltve: 2026. 05. 23]
- [15] <https://www.machineseeker.hu/kunzmann-wf+650/i-21947068> [letöltve: 2026. 05. 23]
- [16] <https://www.machineseeker.hu/belotti-flu+2617/i-21782573> [letöltve: 2026. 05. 24]
- [17] https://www.tmainnovation.com/t-connect?utm_source=chatgpt.com [letöltve: 2026. 05. 24]
- [18] <https://www.gsc-3d.com/blog/5-reasons-to-switch-to-integrated-cad-cam/> [letöltve: 2026. 05. 24]
- [19] <https://gepeszpresszo.hu/2021/11/02/11-modszer-a-szerszamelettartam-novelesehez/> [letöltve: 2026. 05. 24]
- [20] <https://www.wfl.at/en/machines/millturn/m30-m30-g-m35-m35-g> [letöltve: 2026. 05. 24]
- [21] CZÉH M., HERVAY P., NAGY P. S.: Megmunkálógépek, Műszaki Kiadó, Budapest, 2013, p. 170, ISBN 978-963-16-1659-0
- [22] FRIDRIK L.: Forgácsolás I. (Forgácsoláselmélet), Miskolci Egyetemi Kiadó, 2011, p. 205.
- [23] DUDÁS I.: Gépgyártástechnológia I. A gépgyártástechnológia alapjai. Műszaki Könyvkiadó, 2011., p. 583
- [24] KALPAKJIAN S., SCHMID S. R.: Manufacturing Engineering and Technology in SI Units. 8. kiadás. Pearson, 2022.
- [25] KIEF H. B., ROSCHI WAL H. A.: CNC Handbook. McGraw-Hill Education, 2012., p. 480.
- [26] GROOVER M. P.: Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. 5. kiadás. Pearson, 2019., p. 795.
- [27] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: ISO 230-1:2012. Test Code for Machine Tools. Part 1: Geometric Accuracy of Machines Operating under No-load or Quasi-static Conditions. ISO, Geneva, 2012.
- [28] <https://iparihasznaltgepek.hu/termek/e3n-01-hagyomanyos-eszterga-2/> [letöltve: 2026. 08. 17]
- [29] https://glomach.com/listings/7292806-used-nct-tb-20-yams-i-cnc-turning-center?utm_source=chatgpt.com [letöltve: 2026. 08. 03]
- [30] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: ISO 230-2:2014. Test Code for Machine Tools. Part 2: Determination of Accuracy and Repeatability of Positioning of Numerically Controlled Axes. ISO, Geneva, 2014.
- [31] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: ISO 13041-6:2009. Test Conditions for Numerically Controlled Turning Machines and Turning Centres. Part 6: Accuracy of a Finished Test Piece. ISO, Geneva, 2009., p. 12.
- [32] MASORY O., KOREN Y.: Adaptive Control System for Turning. CIRP Annals, Vol. 29, No. 1, 1980., pp. 281–284. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)61336-5.
- [33] KOREN Y., ULISOY A. G.: Adaptive Control. In: ASM Handbook. Vol. 16: Machining. ASM International, 1989., pp. 618–626. DOI: 10.13399/asm.hb.v16.a0002175.
- [34] KING S.: *History of the Lathe: Part Three – Mechanical Power*. Stuart King, 2008.
- [35] ROE J. W.: *English and American Tool Builders*. Yale University Press, New Haven, 1916., 315 p.