



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

A marószerszámok kihajlásának vizsgálata különböző szerszámösszetétel esetén

**OE-BGK
2022.**

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

**Troszt Márk
T009245/FI12904/B**



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Anyag- és Gyártástudományi Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Troszt Márk

Szakedolgozat száma: SZD22052513069840

Törzskönyvi száma: T009245/FI12904/B

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: gépészmérnöki

Specializáció: gépészmérnöki - CAD-CAM-CNC

A dolgozat címe: A marószerszámok kihajlásának vizsgálata különböző szerszámösszetétel esetén

A dolgozat címe angolul: Study of milling tools in case of different tool composition

A feladat részletezése:

1. Mutassa be a keményfém szerszámanyagokat forgácsolószerszám esetén!
2. Készítsen kísérlettervet különböző szerszámok összehasonlítására!
3. Végezzen marási vizsgálatokat három különböző Kobalt tartalmú szerszám segítségével!
4. Értékelje ki a vizsgálat során kapott eredményeket!

Intézményi konzulens neve: Ráczai Viktor Gergely

Külső konzulens neve: Troszt Gergő, Hangyás Atanáz

Munkahelye: Szerszám Technika Kft.

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 05. 15.

Beadási határidő: 2022. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2022. 10. 21.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2022.12.13

hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	5
1.1 Célkitűzés	8
1.2 Cégbemutató- Szerszám Technika Kft.	10
2. Volfrám-karbid/kobalt bázisú keményfémek előállítása	11
2.1 Keményfém előállítása.....	13
2.2 Kobalt.....	14
3. Szerszám kihajlás hatása.....	16
4. Kísérletben használt munkadarabok forgácsolhatósága	17
5. Kísérleti körülmények bemutatása.....	20
6. Mérési eredmények bemutatása.....	26
6.1 A tesztvizsgálat körülményei	27
6.2.1 Előtolás irányú erőhatások	33
6.2.2 Normál irányú erőhatások	36
6.2.3 Axiális irányú erőhatások	39
6.3 Szerszámkihajlás	41
6.3.1 Szerszámkihajlás C45 anagminőség forgácsolásakor	44
6.3.2 Szerszámkihajlás 1.4301 anagminőség forgácsolásakor	47
6.3.3 X irányú eltérés Z-3 mm és Z-13 mm között	49
6.3.4 X irányú eltérés a legtávolabbi pontok között.....	51
7. Gazdasági elemzés	54
8. Összefoglalás	56
8.1 Summary	60
9. Köszönetnyilvánítás.....	64
10. Felhasznált irodalmak	65
11. Melléklet	67

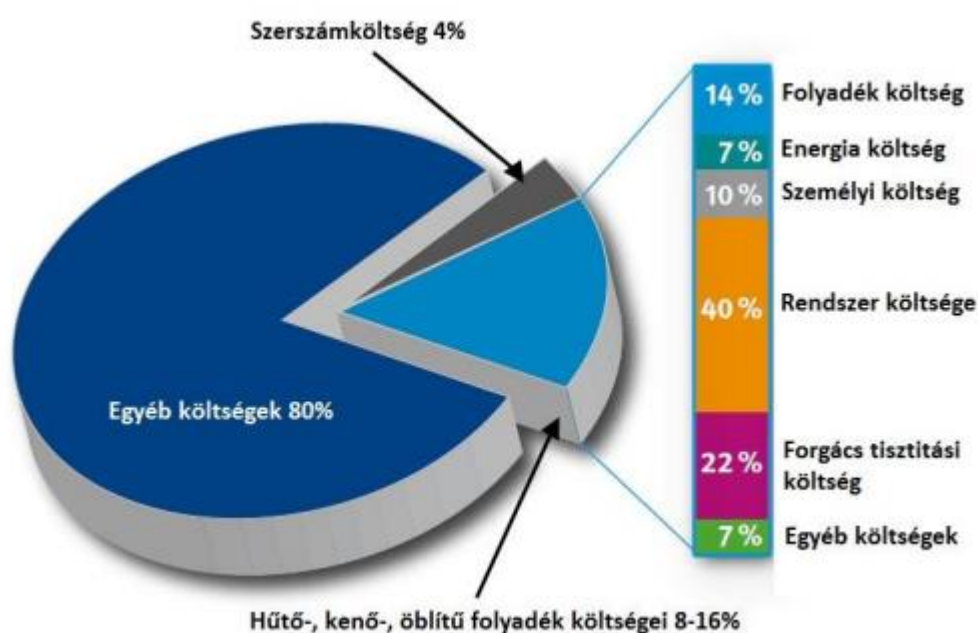
1. Bevezetés

A 21. században a cégeknek nagy feladattal kell szembenéznük, hogy ne maradjanak ki a szoros vállalati versenyből és hogy a piacon elfoglalt pozíciójukat meg tudják őrizni. A termékek minőségének javítása és korszerűbb változatok létrehozása érdekében folyamatos fejlesztéseket és technológiai újításokat kell alkalmazni. Ez alól a forgácsoló szerszámokat gyártó multinacionális vállalatok sem kivételek, hogy lépést tudjanak tartani a konkurens cégek által termelt termékekkel. Számos technikai innováció bevezetése mellett tudnak lépést tartani a különböző iparágak által támasztott egyre fokozódó, pontosabb és változatosabb követelményekkel szemben. A kötelező fejlesztések a termékek minőségbeli javuláshoz vezetnek, aminek a következménye a szerszámok teljesítőképességének a növekedése. Az ilyenfajta technológiai fejlesztések nagy hatással bírnak mind a szerszám gyártókra, hiszen termékük értékesíthetősége növekszik, mind a szerszámfelhasználók számára, mivel a gyártási költségek csökkennek. A szerszámok felhasználói a megmunkálendő termékük minél egyszerűbb, célravezetőbb és olcsóbb megmunkálására törekednek. A felhasználók törekednek a költségoptimalizált termelésre, mely a szerszámok és a gépi fő és mellékidő csökkentésével érhető el (gyártási költség 55%-a), illetve gyártáshoz indokolt egyéb készülékek elhanyagolásával, vagy egyre kisebb mennyiségek alkalmazásával például HÖK (hűtő-, öblítő-, kenő) folyadék csökkentésével próbálják elérni a költséghatékony termelést. A hűtő-öblítő-kenő folyadékok a forgácsolás költségei akár 16%-át is kitehetik. [1]

Ezen felül a HÖK folyadékok mennyiségének csökkentése vagy akár teljes mértékű elhagyása nemcsak a költségek csökkentését jelenti, hanem a környezettudatos forgácsolást is. Az ilyen folyadékok elvezetéséhez és a forgácstól való szétválasztásához komoly berendezések kellenek. Ezek a folyamatok megnehezítik a forgácsoló műhelyek hatékony működését. E mellett nagy veszélynek vannak kitéve a forgácsoló gépeken dolgozó szakemberek, hiszen a forgácsolás közben képződött hő hatására a HÖK folyadék párologni kezd és gőzzé változik. Ezeket a gőzöket belélegezve veszélyes allergia és tüdőbetegségek alakulhatnak ki. [1]

Az 1. ábra azt mutatja be, hogy a forgácsolással előállított munkadarabok költségei százalékosan hogyan oszlanak meg egymáshoz képest. Az alábbi ábra azt mutatja, hogy a gyártási költségek legnagyobb részét - mintegy 80%-át az egyéb költségek teszik ki.

Ezek közé sorolható a gépek rendszeres karbantartása, a dolgozók, technológusok, operátorok, mérnökök bérköltsége, a tervezési díjak és nem elhanyagolható mértékben a megmunkáló gépek fő- és mellékideje, továbbá minden olyan költség, ami nem a forgácsoló szerszámok és a hűtőfolyadékokhoz sorolható. A forgácsoló szerszámok összes kiadása a teljes költség mindössze 4 %-át teszik ki egy munkadarabra vetítve, ellenben a gyártáshoz használt folyadékok akár 16%-os költséget is elérhetnek. Ebből jól látszik, hogy a legtöbb cégnek az a gondolkodásmódja, hogy csak a forgácsoló szerszámok költségeit próbálják egyre jobban visszaszorítani nem feltétlenül a legjobb stratégia. Például a technológiai folyamatok optimalizálásával, a gépi fő- és mellékidők csökkentésével, vagy az árasztásos hűtésről a minimálkenésre való áttéréssel nagyobb mértékben lehet a kiadásokat a lehető legkisebb mértékre szorítani. [2]



1. ábra. Gyártási költségek eloszlása fémforgácsolásnál [2]

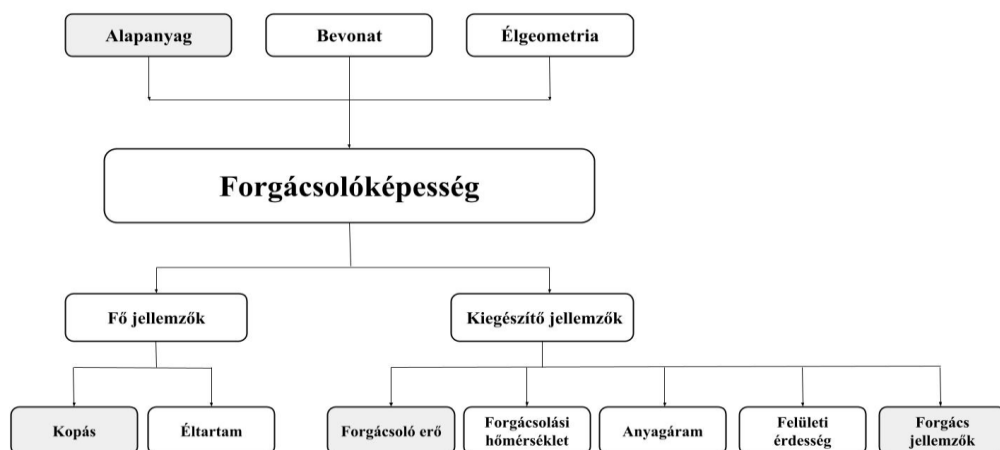
Ezek ismeretében a szerszámgyártók újabb kihívás előtt állnak, mivel törekedniük kell a szárazon megvalósított megmunkálásra és olyan szerszámokat kell fejleszteniük melyekkel elérhető a HÖK folyadékok használatánál megszokott felületi minőség, éltartam és termelékenység.

A szakdolgozatomhoz elvégzett kísérletek során, figyelembe véve a kísérlethez felhasznált készülékek, eszközök, a kísérletben használt előgyártmányok miatt HÖK folyadék alkalmazásával hajtottam végre a kísérleteket a minél pontosabb eredmények reményében. A szerszámok költségének a csökkentése nem a legfőbb szempont, hiszen ez csupán a 4%-a az összköltségnek. A legnagyobb választ a nagyteljesítményű forgácsolás jelentheti (High Performance Machining) a 21. század kihívásaira és a munkadarabok költséghatékonyabb előállítására. A legnagyobb termelékenység elérése érdekében fontos a forgácsolást optimalizálni, melyet a szerszámok fejlesztésével és új forgácsolási stratégiákkal lehet megvalósítani. A hatékony gyártás érdekében a sebesség csökkentése mellett nagy forgácskeresztmetszet és előtolást kell alkalmazni. Emellett még fontos szerepet játszik a megmunkálógép és vezérlése, a számítógéppel segített tervezés, a forgácsolási módszerek és technológiák és persze a különböző forgácsoló szerszámoknak a tulajdonságai. Szakdolgozatomhoz a Szerszám Technika Kft. szerszám forgalmazó cég biztosította a szerszámokat. Kísérletem létjogosultságát a tavalyi évben végzett előzetes kísérletek adták, melyet szintén az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai kar gépműhelyében végeztem. Az általam használt szerszámok szintúgy bevonat nélküliek, mint a tavalyi év nyarán végzet előkísérletben használt szerszámok, ahol szintén a szerszámok kihajlását vizsgáltam.

1.1 Célkitűzés

A lehető legnagyobb produktivitás elérése érdekében nemcsak a forgácsolás optimalizálására és a legmodernebb szerszám innovációba kell időt fektetni, hanem a szerszám anyagának összetételére is.

Az előzőekben felsorolt ipari célok közül a szakdolgozatom fő témája a szerszám anyagának összetétele és az anyag egy ponton történő változtatása és annak hatása a szerszámmra és a munkadarabra egyaránt. Szakdolgozatommal kapcsolatos céljaim az eltérő szerszámok kihajlásának a vizsgálata különböző szerszámösszetétel esetén. A kísérlet során három keményfém származó került összehasonlításra, melyekben a kobalt tartalom eltérő. Vizsgálataim során arra a feltevésre kerestem a választ, hogy vajon a szerszámokban megváltoztatott kobalt tartalom milyen hatással van a szerszám kihajlására és deformálódására? Az említett feltevést forgácsoló kísérletek sorozatával vizsgáltam. Az összehasonlítás érdekében a forgácsoló paramétereket úgy határoztam meg, hogy kettő különböző munkadarab anyagminőségben is képes legyen a szerszám hatékonyan dolgozni. A szerszám kihajlásának a vizsgálata mellett a forgácsoló erők vizsgálatát a szerszám kopását is figyelemmel kísértem az egyes paraméterek változtatásánál. Ezeket a jellemzőket az 2. ábra foglalja össze. [3].



2. ábra. Forgácsolóképesség [3]

Kísérletemhez azért választottam bevonat nélküli szerszámokat, hogy minél pontosabban meg tudjam indokolni a feltevésemet, mely a marószerszámok kihajlására irányul a kobalt tartalom változtatása függvényében.

A kísérletet kettő manapság egyre szélesebb körben alkalmazott anyagminőségeken hajtottam végre, hogy minél tágabb képet kapjak a kutatott témámmal kapcsolatban. Az első anyagminőség, amin a kísérletet elvégeztem egy általános rendeltetésű, nagy szilárdságú, ötvöztelen, nemesíthető szénacél (1.0503 – C45). Ezt manapság széles körben alkalmazott acélminőséget az autóiparban, gépgyártásban, csavargyártásban használják, ahol alacsonyabb igénybevétel jelentkezik. A kísérletem másik felét egy ausztenites szerkezetű anyagon (1.4301 – X5CrNi18-10) végeztem el, mely a korrózióálló acélok felhasználásának több mint 30%-át teszi ki. Ezt az anyagot olyan termékek gyártására használják, ahol kisebb mechanikai igénybevételek lépnek fel, de fontos a kémiai stabilitás. Ezt a napjainkban sűrűn alkalmazott anyagminőséget főként az élelmiszeriparban, olajiparban, építészeti és építőiparban, autóiparban hasznosítják. A kísérletem elvégzéséhez és a kapott eredmények sikeresebb kiértékelésének érdekében kettő olyan anyagminőséget választottam, amelyeknek a keménysége hasonló, viszont a megmunkálhatóság eltérő.

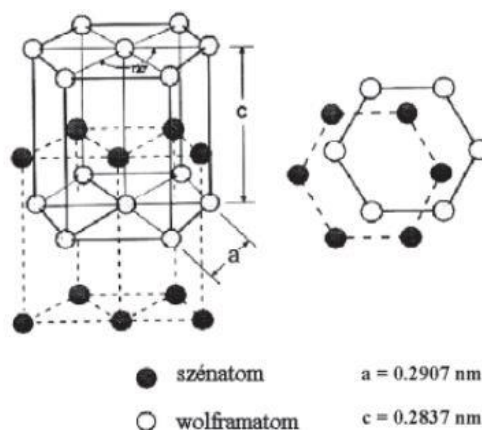
Dolgozatom tartalmaz egy gazdasági elemzést is. Ebben az elemzésben arra keresem a választ, hogy az általam használt forgácsoló szerszámok előgyártmányainak az összetétele (Co tartalom), hogyan befolyásolja a szerszámok darabárát. Előzetes gondolataim alapján arra számítottam, hogy minél több kobalt van a szerszámban annál drágább lesz. Az eredmények számszerűsítését a szerszámköltségek alapján határoztam meg.

1.2 Cégbemutató- Szerszám Technika Kft.

Szakedolgozatom elkészítésében a Szerszám Technika Kft. biztosította a háttértámogatást. A Szerszám Technika Kft. egy 100%-ban magyar tulajdonban lévő cég, amely 2007-ben alakult, jelenleg 20 fővel rendelkezik. A vállalkozás alapvető tevékenysége forgácsolástechnológiai szerszámok-, és kiegészítők kereskedelme, illetve az ehhez kapcsolódó szakmai támogatás, tanácsadás. Mindezek mellett foglalkozunk egyedi keményfém, PKD és váltólapkás forgácsoló szerszámok tervezésével és gyártásával, valamint szerszámkiadó automata, mérő- és zsugorgépek kereskedelmével és szervizelésével. A vállalat megalakulása óta olyan világmárkák kizárólagos gyártói képviselőjét látja el Magyarországon, mint az FMT – Frezite Metal Tooling Systems, a Kelch, a Gewefa vagy a Wendel. A Szerszám Technika Kft. 2012-ben felvette a termékpalettájára a WIDIA márkát, illetve ettől az évtől kezdve a kizárólagos magyarországi gyártói képviselője a WIDIA forgácsoló szerszámoknak. A WIDIA egyike a világ legnagyobb forgácsoló szerszámot gyártó multinacionális vállalatának. Nevéhez fűződik az első keményfém (woframkarbid) eszterga váltólapka gyártása és a keményfém, mint forgácsoló alapanyag bevezetése a forgácsolástechnológiába.

2. Volfrám-karbid/kobalt bázisú keményfémek előállítása

A keményfémek előállításának kapcsán nagy áttörést jelentett a nanokristályos szerkezetű anyagok megjelenése. Ennek előfeltétele volt azonban a mikrokristályos porok előállítása és feldolgozásának kifejlesztése. A nagy keménységű és szilárdságú karbidok (volfrám-karbid, titánium-karbid, tallium-karbid) valamint a szívós kötőfázisok (kobalt, nikkell, vas) párosítása a keményfém. A legszélesebb körben alkalmazott keménykomponens a wolfram-karbid (WC) melyhez kötőfázisnak legjobbnak a kobaltot találták. A WC/Co anyagok kettő fázisból állnak, melyeket gyakran ötvözetlen anyagoknak is neveznek. A kobalt tartalom 3-27% között változik a forgácsoló szerszámok esetén. A volfrám-karbid az interstíciós karbidok közé tartozik ennek a rácsszerkezetnek kialakulása annak köszönhető, hogy a szénatom jóval kisebb a volfrám atomnál. A W és a C elektronegativitása között nagy különbség van, a kötés részben ionos és részben kovalens. Az ionos kötés kémiai kötések közé tartozik, mely olyan anyagokban fordul elő, ahol ellentétes töltésű ionok vannak. Az anyagot alkotó ionokat a vonzás és taszítás elve rácsba rendezi, ahol az anionok és kationok a rácspontokon szabályosan váltakoznak. A kovalens kötésben az atomok közös vegyértékkel rendelkeznek. A kémiai kötés azonos vagy különböző elemek atomjainak kapcsolódásával jön létre vegyértékelektronjainak közössé tételével. A WC nagy elektromos és hővezető képességekkel rendelkezik a fémötvözetekben, továbbá nagy keménységű és olvadáspontú. A 3. ábra jól illusztrálja ahogyan a wolfram és a szénrétegek váltakoznak, egymáshoz képest eltolódva helyezkednek el a kristályszerkezetben. [4]



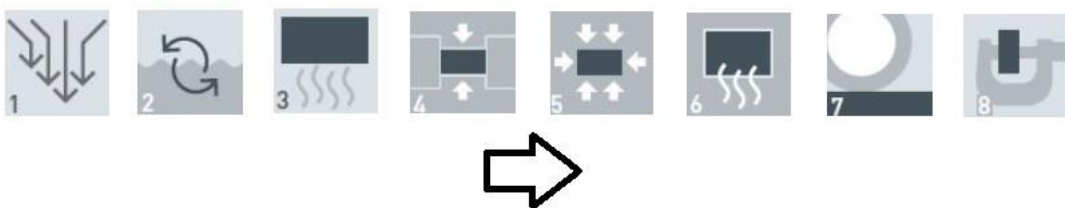
3. ábra. Volfrám-karbid szerkezete [4]

A WC por különböző módszerekkel állítható elő, a hagyományos eljárással a porok előállítható szemcsemérete széles tartományban mozog (0,14 μm -12 μm). A hagyományos előállítás módszer (karbidizáció) alapja, hogy 1300°C-1700°C között hidrogén atmoszférában a volfrám reagál a szénnel. A WC-ot meghatározza a kiindulási volfrám szemcsemérete és eloszlása. Ha kis mértékben növekszik a szemcse akkor a WC térfogati sűrűsége csökkenni fog. Szénforrásként kormot használnak gyakrabban, grafitot is lehetne alapanyagként venni, de drágább és kisebb a relativitása. A karbidizáció előtt az alapanyagokat homogenizálni kell, nagymértékben meghatározza a szénatomok diffúzióját, melyeket golyósmalmokban vagy egyéb keverőkben végeznek el. A karbidizáció során hozzáadott szénadalék mennyisége és a végtermék széntartalma között csak tapasztalati tényezők játszanak szerepet.

A karbidizáció során a kemence és a fűtőelemek száraz hidrogéngázban vannak, amely védőgázként funkcionál a termék és a kemence érzékeny részei miatt. A karbidizációs hőmérséklet 1300°C-1700°C közötti tartományban mozog, amely a por részecskéinek méretétől függ. Alacsonyabb hőkezelési hőmérsékletet kisebb szemcseméret esetén kell alkalmazni, viszont a rácshibák kialakulásának esélye nagyobb lesz. A WC por további hőkezelését több tényező befolyásolja. Saját feldolgozás esetén nem szükséges további kezelésre, viszont a gyárból történő elszállítás és máshol történő feldolgozása esetén szigorú feltételeket kell betartani, mind a széntartalomra mind a fizikai tulajdonságaira vonatkozóan: meg kell vizsgálni az átlagos szemcseméretet a szemcseeloszlást, a sűrűségét és homogenitást.

2.1 Keményfém előállítása

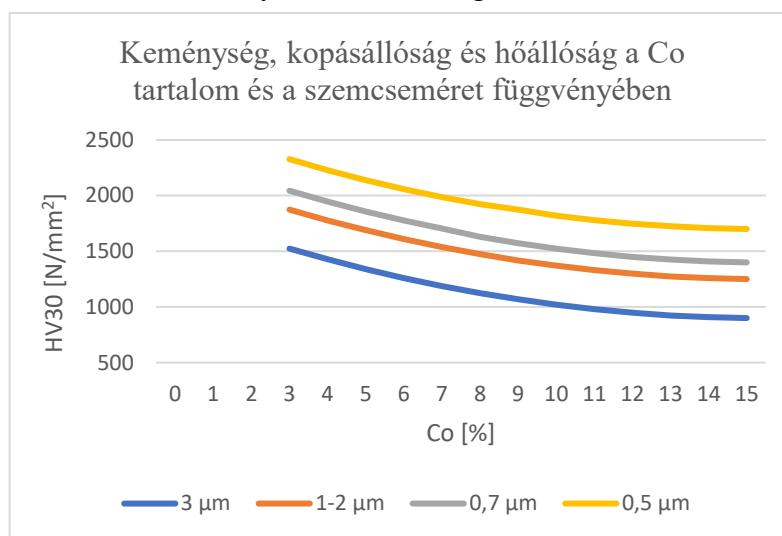
A keményfémek a mai korszerű forgácsolószerszámok egyik leggyakrabban használt alapanyaga. Évtizedek tapasztalata bizonyítja, hogy a legkeményebb munkadarabok megmunkálására is alkalmas keményfém szerszámok kiemelkedő kopásállósággal rendelkeznek. A keményfémnek nagy az ellenálló képessége a fizikai igénybevételekkel, behatásokkal, deformációval, hőmérséklettel és a magas nyomással szemben. Az előállításuk sokféle alakban megtörténhet, aszerint, hogy az előállítás után mi a felhasználási terület. A keményfémek főleg volfrám-karbidból (WC) épülnek fel, amely 73-97%-ban alkotják a kemény fázist. Köötőanyagként szolgál a kobalt (Co), amely 3-27% közötti arányban található meg benne. A két fő alkotó mellett kis mennyiségben megtalálhatóak benne különböző karbidok is: titánium-karbid (TiC), tantál-karbid (TaC), nóbium-karbid (NbC). A keményfémek és kopásálló kompozitok egy csoportját a cementált karbidok képviselik, amelyekben a kemény karbid részecskéket egy szívós kötőanyag mátrix tartja össze, „cementálja”. A „cementált karbid” elnevezés zömmel angol nyelvterületeken használják és jól jellemzi a kompozit sajátosságát, de nemzetközi értelemben inkább a keményfém megnevezést használják. A keményfém gyártása porkohászati technológián alapul, amely a következőképpen megy végbe. Először volfrám-karbid port kell előállítani, majd ehhez kobaltot és az egyéb karbidokat kell adagolni. A keveréket finomra őrlés után ki kell szárítani, majd a képződött port vagy granulátumot formába kell helyezni és sajtolni, majd zsugorítással kell előállítani az előgyártmányokat. Az alakos alkatrészeket szinterező kemencébe kell helyezni, ahol 1600°C hőmérsékleten 2000 bár nyomáson hevítik készre. Az keményfém szerszám pontos alakját ezután köszörűgépen kapja. A használatuk előtt egy végső minőségellenőrzésen kell átesniük. A keményfémek előállítását a 4. ábra illusztrálja [5]



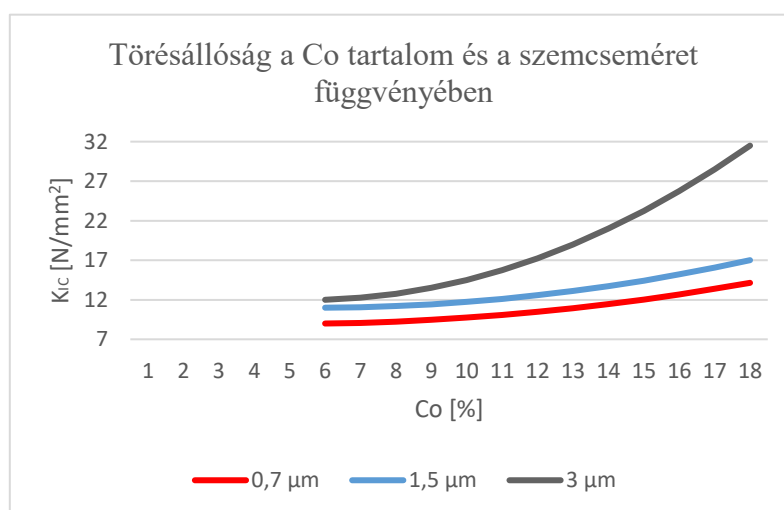
4. ábra. Keményfémek előállítása [5]

2.2 Kobalt

Az előző bekezdésben kifejtettek alapján a keményfém nagy keménységű fémkarbidok porából és kobalt kötőanyaggal porkohászati eljárással előállított álötvözet. Ebben a bekezdésben a keményfémek egyik fő eleméről a kobaltról és forgácsolásra mért hatásáról szeretnék beszámolni. Az álötvözetek keménységét a fémkarbidok adják. A kis olvadáspontú kobalt növeli a keményfémek szívósságát.



5. ábra. Keménység a Co tartalom és szemcse méret függvényében [6]



6. ábra. Törésállóság a Co tartalom és a szemcseméret függvényében [6]

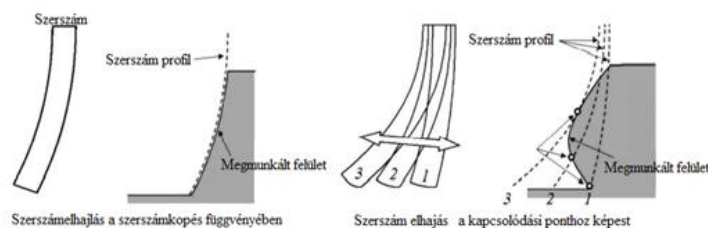
A 100 %-ban ötvözőkből álló keményfémekben a kobalttartalom növekedésével nő a keményfém szívóssága, de csökken a kopásállósága, keménység. Ezeket a kimutatásokat a 5. és 6. ábra jól szemlélteti. [6]

A keményfémek fizikai- mechanikai tulajdonságát nem csak az összetételtől függ, hanem a karbidszemcsék méretétől is. A keményfém keménysége, kopásállósága a szemcseméret csökkenésével egyenesen növekszik, viszont a szívóssága csökken. Forgácsolás közben a nagy hőmérséklet a szerszámok gyors kopását a keményfém szerszám anyagában megtalálható legfontosabb elemek munkadarab anyagába történő diffúziós oldódását eredményezheti. A diffúziós kopás a keményfémeknél kizárólag magas hőmérsékleten fordul elő, növekvő intenzitással. A vasatomok a munkadarabból a szerszámba vándorolnak a nagy hő hatására, míg a keményfém szerszámból a kobalt (Co) és a szén (C) a munkadarabba diffundálnak, mely a keményfém gyengüléséhez vezet. E mellett fontos sajátossága a diffúziós kopásnak, hogy a hőmérsékelt növekedésével a kopás hatványozottan nő. Meg kell említeni az oxidációs kopást is, mely elsősorban a keményfém szerszámokon figyelhető meg, mivel a levegő oxigénje 700- 800 °C forgácsolási hőmérsékleten reakcióba lép a keményfém alkotóival. Legnagyobb hatással a kobaltra van, amely oxidálódni fog, illetve kis mértékben a karbidokból is különböző oxidok jönnek létre. Az oxidációs kopásra befolyással van a keményfém összetétele. Az egykarbidos keményfémek gyorsabban kopnak, mint a nagyobb kobalt tartalmú (szívósabb) változatok. [7]

3. Szerszám kihajlás hatása

A megmunkálás során a szerszámok kihajlása, különösen rugalmas szerszámok, például szármaró használatakor méretbeli eltéréseket okozhat a munkadarabon. A megmunkálás során előállított munkadaraboknak számos alak és mérettűrésnek kell megfelelniük. A megmunkálási folyamat során a marószerszám kihajlásának köszönhetően keletkezett felületi hibák miatt előfordulhat, hogy a munkadarab már nem felel meg a tűréseknek. A szerszám kihajlás pontos meghatározásához ismerni kell a szerszám és a munkadarab anyagának összetételét, valamint a forgácsolási paramétereket. Szakdolgozatomban használt keményfém szerszámoknak a kobalt tartalom változtatásán kívül semmilyen egyéb ötvöző elemet nem változtattam meg hiszen a kobalttartalom növekedésével nő a keményfém szívóssága, de csökken a keménysége, amely nagy hatással lehet a szerszám kihajlásra. Ezen felül nem csak a szerszámnak és a forgácsoló technológiának lehet hatása a szerszámok kihajlására hanem a munkadarab kémiai összetételének és mechanikai tulajdonságainak is köze van a szerszámok kihajlásának mértékéhez. A kísérletem során különböző technológiai paraméterek változtatásával vizsgáltam a szerszám kihajlását. A fogankénti előtolást (f_z) és a radiális fogásvételt (a_e) három értéken módosítottam a kísérletem folyamán, míg a többi technológiai paraméterek nem változtattam.

A mart felszín előrejelzésére két módszert alkalmaz a szakirodalom. Az egyik a szerszám lekopott profiljára alapszik, miszerint a megmart felszínnek ugyan olyan a profilja, mint a maró szerszámé a marási folyamat során. A második feltevés pedig a munkadarab és a szerszám hornyának találkozásán alapszik. A kontaktpont egy metszéspont a szerszám hornyai és a munkadarab között. A gyakorlatban, amikor a szerszám a munkadarabra vág, végtelen sok kontaktpont vesz fel, amelyek hozzájárulnak a végső megmart felszín kialakulásához. Ezeket az 7. ábra mutatja be. [8]



7. ábra. Szerszám kihajlás [8]

4. Kísérletben használt munkadarabok forgácsolhatósága

A fémmegmunkáló és forgácsoló ipar a megmunkálható anyagok nagyon széles választékával dolgozik. Minden anyagnak megvan az egyedi jellemzője, tulajdonsága, amit az ötvözők, hőkezelés és az előzetes megmunkálás határoz meg. Ezeknek a kombinációja erősen befolyásolja az alkalmazható forgácsoló szerszámok geometriájának, forgácsolási paramétereinek és minőségének a kiválasztását. Ezek a tulajdonságok miatt a munkadarab anyagokat hat fő csoportba soroljuk be az ISO szabványnak megfelelően. Megmunkálásukhoz három fő tényezőt kell figyelembe venni:

1. A munkadarab anyagminősége és állapota.
2. A használandó forgácsoló szerszám geometriája.
3. A forgácsoló szerszám anyag minősége.

A felsorolt tényezők vannak a legnagyobb hatással a forgácsolás sikerességére. Ezek a tényezők mellett még figyelembe kell venni a forgácsolási erőket, az anyag hőkezelési állapot, szerszám tartót, megmunkálási feltételeket. A megmunkálhatóságnak nincsen definíciója, mint például a munkadarab anyagoknak. A gyengébben ötvözött acéloknak a megmunkálhatósága egyszerűbbnek, könnyebbnek tekinthető, mint a korrózióálló acéloké. A jó megmunkálhatóság azt jelenti, hogy a forgácsolási műveletek zavartalanul végbe mentek. A jó megmunkálhatóságot gyakorlati vizsgálatok döntenek el, több anyagtípus vizsgálata közben azonos feltételek mellett.

Szakdolgozatom készítése során kettő különböző munkadarabon végeztem el a forgácsolási kísérleteket. A marási műveletem első felét a fémforgácsolás területén leginkább széles körben alkalmazott munkadarab anyagcsoportba végeztem el. Az acélok anyagcsoportjába (ISO P) tartozó munkadarabok különböző hőkezeltségi állapotúak lehetnek. Az acélban a legnagyobb ötvöző a vas (Fe). Ötvöztelen acéloknak a szénttartalom 0,8 % alatti, és ezen kívül kizárólag vasból (Fe) állnak. Az alacsony szénttartalommal rendelkező ötvöztelen acélok leggyakrabban a következő ötvözőelemeket tartalmazzák: Ni, Cr, Mo, V és W. A gyengén ötvözött acélok ötvözőtartalma kevesebb min 5%, az erősen ötvözötteké pedig nagyobb min 5%.

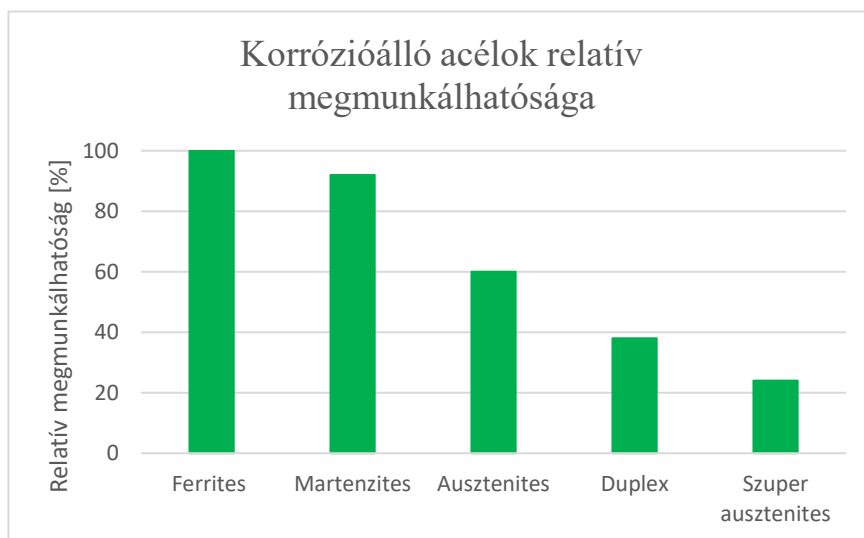
Az acél megmunkálhatóságát nagyban befolyásolják az ötvözőelemek, a hőkezelés és a gyártási folyamat (kovácsolás, öntés, hengerlés). A megmunkálás során a forgácskezelés könnyű, alacsonyabb szénttartalmú acéloknál hosszabb forgács képződik.

Kísérletem bemutatásához az acélok csoportjából egy közepes széntartalmú, nagy szilárdságú ötvözetlen acélt választottam. Az 1.0503 (C45) acél a leggyakrabban használt anyagok közé tartozik. Általánosságban tengelyek, csövek, fogaskerekek, dugattyúk és egyéb mechanikai igénybevételnek kitett gépelemek gyártására használják. A forgácstörés és az élrátét képződés miatt nagy figyelmet kell fordítani a megmunkálásukra. A nagy forgácsolási sebességek és az éles élek csökkentik az élrátét képződésre való hajlamot. [9]

A szakdolgozatom forgácsolási kísérletében használt második munkadarab a hat nagy anyagcsoport közül a korrózióálló csoportba tartozik. Ebben a csoportban (ISO M) általában nehezen megmunkálható acélok vannak. Felhasználásukat tekintve ezeket korrózióálló anyagoknak hívjuk, mivel a csoportot olyan ötvözt acélok alkotják, melyek ellenállnak a korróziós folyamatoknak. A korrózióálló acélok egyre jobban kezdenek elterjedni olyan területeken, ahol nagy hőmérséklet különbségek léphetnek fel. Ilyen például az élelmiszeripar, az építéset, a vegyipari gépgyártás, az egészségügy és a gyógyszergyártás. A korrózióálló acélok vas alapú ötvözetek magas, 12% feletti krómtartalommal és alacsony széntartalommal, további ötvözők a nikkel (Ni), a molibdén (Mo) és a titánium (Ti). Mechanikai és kémiai tulajdonságai javulnak ezek az ötvözők hozzáadásával, de a forgácsolhatósága jelentősen romlik. A korrózióálló acélok öt nagy csoportba lehet sorolni:

- Ferrites
- Martenzites
- Ausztenites
- Duplex (ferrit- ausztenit)
- Kiválásosan keményedő acélok

A fő ötvözőelemek a ferrites szerkezetű acéloknál a króm (Cr), a martenzitesnél szintén a króm az ausztenitesnél a króm mellett a nikkel (Cr + Ni). További ötvözőelemek is vannak az anyagban a szövetszerkezet és a mechanikai tulajdonságok miatt. Ez az anyagcsoport nehezebben munkálható meg nagy szilárdságuk és felkeményedési hajlamuk miatt. Forgácsolhatóságát jelentősen rontja a a korrózióálló acéloknál a számos ötvözők, nagy forgácsolási teljesítmény szükséges és alacsony forgácsolási sebesség. Az 6. ábra a különböző korrózióálló acélok forgácsolhatóságát mutatja be. [10]



8. ábra. Korrózióálló acélok relatív megmunkálhatósága [10]

A szakdolgozatomban bemutatott kísérletet ausztenites korrózióálló acélon hajtottam végre. Az 1.4301 (X5CrNi18-10) - es anyagot a legszélesebb körben használják a korrózióálló anyagok piacán. Kiváló korrózióállósága mellett jó esztétikai megjelenéssel rendelkezik polírozott és csiszolt állapotban. Az anyag fahőjének és csekély hővezető képességének hatására a forgácsolás közben nagy hő fejlődik a szerszám élein. Ezért ezeket az anyagokat intenzív hűtő és kenő folyadékok alkalmazásával kell megmunkálni. A nagy hőhatás következtében a szerszám élei elkopnak és kicsorbulnak, ami a szerszám éltartam romlásához vezet. A magas hőmérséklet miatt nemcsak a szerszámra mért károk nagyobbak, hanem a munkadarab gyártási pontossága is rosszabb lesz. Mechanikai tulajdonságaik se a legjobbak a forgácsolásban, nagy szívóssága, felkeményedése és gumyszerű viselkedése emelhető ki. Plasztikus viselkedése a felületi érdesség romlásához vezet. [11]

5. Kísérleti körülmények bemutatása

A forgácsolási kísérleteimet az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar tulajdonában lévő gépeken végeztem el. A mérések végrehajtásának a helyszíne az egyetem gépműhelye volt.

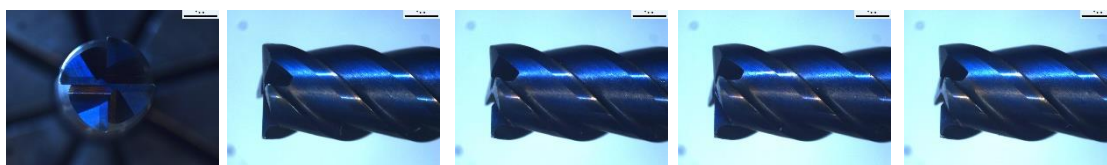
A forgácsolás előtt és után a szerszám hibamentességének és kopásának mértékét a 9. ábrán látható sztereomikroszkóppal vizsgáltam. A CCD kamerával felszerelt mikroszkóp rögtön továbbítja a képet a számítógépnek. Az Image-Pro Insight számítógépes programmal tudtam elemezni a szerszámon észlelhető kopásra utaló jeleket, illetve mérni a kopás méretének nagyságát, melyet a 10.-13. ábrák szemléltetnek. Mindegyik ábrán a homlokfelület és a palástfelületek képei láthatók. Az kísérletben felhasznált összes szerszám éleiről készült képek az 1. mellékletben találhatóak meg.



9. ábra. Sztereomikroszkóp



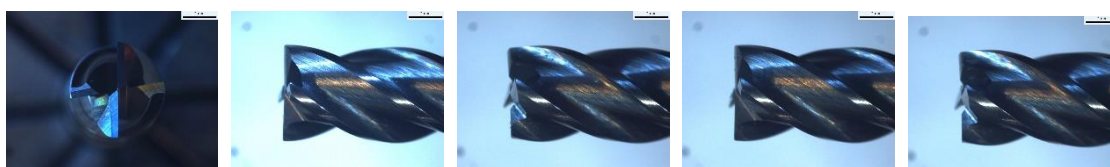
10. ábra. Nagyoló szerszám bemérés forgácsolás előtt



11. ábra. Nagyoló szerszám bemérés forgácsolás után



12. ábra. Kísérleti szerszám bemérés forgácsolás előtt



13. ábra. Kísérleti szerszám bemérés forgácsolás után

A kísérletet megelőzően a munkadarabokat a kísérlet végrehajtásához megfelelő méretűre kellett vágni, melyhez a Bomar STG 250 G keretes szalagfűrész gépet alkalmaztam. A 14. ábrán látható keretes fűrészgép maximális munkadarab átmérője 230 mm, minimális sebessége 35m/perc, maximális sebessége 70m/perc. A gép maximális teljesítményigénye 1,1 kW, gépi magassága 1360 mm, szélessége 1210 mm, hossza 1350 mm. A gép súlya 0,44t. A fűrészkeret a saját súlyával süllyed, a süllyesztést manuálisan lehet szabályozni, amint a fűrész eléri a legalacsonyabb pozíciót automatikusan kikapcsol. [12]



14. ábra. Bomar STG 250 G keretes szalagfűrész [12]

A forgácsolási munkálatokhoz használt marógép típusa: Mazak Nexus 410A-II CNC megmunkáló központ, vezérlő: Mazatrol Matrix. A 15. ábrán látható szerszámgép asztalának mérete 900 x 140 mm, X (vízszintes) irányban 560 mm, Z (függőleges) irányban 410 mm, Y (az előző kettőre merőleges) irányban 510 mm mozgástartománnyal rendelkezik. Főorsó maximális fordulata $n=1200$ 1/perc, gyorsjárat sebessége 36 m/min, maximális teljesítménye 18,5 kW. A szerszámtár 30 szerszám befogására képes, melyben a legnagyobb szerszám befogás $d=30$ mm, legnagyobb szerszámhossz $L=350$ mm. Az asztal maximális terhelhetősége 500 kg.



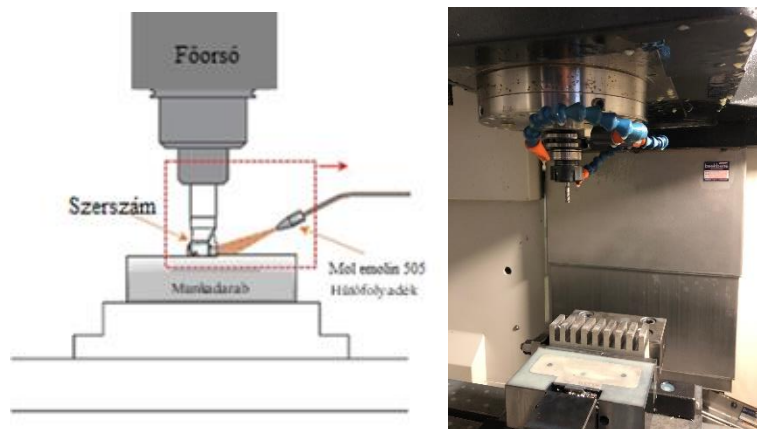
15. ábra. Mazak Nexus 410A-II CNC megmunkáló központ

A forgácsoláskor fellépő erőhatásokat mértem a marási kísérlet folyamán. Az erőmérés az F_z (axiális irányú erő), az F_y (előtolás irányú erő) és az F_x (normál irányú erő) mérésére terjedt ki. Egy 9757 A típusú, Kistler gyártmányú erőmérő cella segítségével mértem a munkadarabra ható erőket. [11] A Kistler erőmérő cella a három irányba ható dinamikus erőhatások mérésére képes. Mérési tartománya F_x -5 – 5 kN, F_y -5 – 5 kN, F_z -5 – 10 kN. Hőtartománya pedig 0-70°C. (16. ábra) [13]



16. ábra. Kistler erőmérő cella [13]

A szerszám és a munkadarab hűtését és a forgács eltávolítását hűtő folyadékkal oldottam meg. Mol Emolin 505 hűtő és kenő folyadékot használtam mely kiemelkedő biostabilitással rendelkező bórtartalmú, vízzel elegyíthető félszintetikus folyadék. Maráshoz 6-9% közötti koncentráció szükséges, melyet beállítottam 7,95%-ra. A hűtő és kenőfolyadékot flexibilis cső körülbelül 20 mm távolságból a forgácsolási zóna közelébe vezet, a hűtést közvetlenül a szerszámra vezetem. (17. ábra)



17. ábra. Flexibilis csővel történő hűtés

Minden új szerszámot munkavégzése előtt a szerszám bemérő gépen vizsgáltam meg és tájékoztam a befogás pontosságáról. A szerszámokat hidraulikus szorítású befogóban fogtuk meg az ütés elkerülése érdekében. A beméréshez az Elbo Controlli 206 V típusú szerszám bemérő gépet és a mikrométeres mérőórát használtam. Mérési tartomány: átmérő $d=400$ mm, magasság $H_{\max}=500$ mm. Minden esetben meggyőződtem róla, hogy a szerszám élei egymáshoz képest a megengedett $\pm 0,02$ mm tűrésen belül vannak. (18. ábra)



18. ábra. Szerszám bemérés

A forgácsolási kísérleteim megkezdése előtt keménységmérést végeztem, hogy biztos legyek a forgácsolt anyagok minőségében és szerkezetében. A keménységmérési vizsgálataimat egy Vickers keménységmérő gépen hajtottam végre. (19. ábra)



19. ábra. Vickers keménységmérő
[14]

A mérési elv a Vickers eljárásnál a következő: egy adott, szabványban rögzített nyomóerőt alkalmazva egy szintén a szabványban rögzített gyémántgúlat nyomunk az

anyagba, majd az alapanyag deformációjából következtetünk annak keménységére. A Vickers keménységmérő készülékkel bármilyen fémeken el lehet végezni a kísérletet, melynek igen széles a mérési tartománya. A mérés során 136°-os gyémántgúlat használtam, melyet 30 kg erővel nyomtam a mérendő felületre. A kiértékeléshez meg kell mérni a lenyomat átlóját és abból kiszámítják a lenyomat felületét. Keménységmérés során bebizonyosodott, hogy a felhasznált munkadarabok keménysége között nincs nagymértékű eltérés. Melyet az alábbi (1. táblázat) táblázat értékei is mutatnak. [14]

1. táblázat: Keménységmérési eredmények

1.0503 - C45

1. munkadarab	1 (HV30)	2 (HV30)	3 (HV30)	4 (HV30)	5 (HV30)	Átlag
1. mérési tartomány	198	192	209	189	212	200
2. mérési tartomány	204	198	203	200	198	200,6
3. mérési tartomány	196	194	205	210	203	201,6
2. munkadarab	1	2	3	4	5	Átlag
1. mérési tartomány	216	192	203	205	200	203,2
2. mérési tartomány	191	197	201	195	201	197
3. mérési tartomány	209	197	203	219	207	207
3. munkadarab	1	2	3	4	5	Átlag
1. mérési tartomány	192	198	197	204	203	198,8
2. mérési tartomány	201	216	201	198	192	201,6
3. mérési tartomány	195	198	204	205	201	200,6

Összes átlag
201,2

1.4301 - X5CrNi18-10

1. munkadarab	1 (HV30)	2 (HV30)	3 (HV30)	4 (HV30)	5 (HV30)	Átlag
1. mérési tartomány	195	196	189	193	197	194
2. mérési tartomány	192	196	198	193	194	194,6
3. mérési tartomány	196	194	198	197	194	195,8
2. munkadarab	1	2	3	4	5	Átlag
1. mérési tartomány	194	198	193	195	179	191,8
2. mérési tartomány	199	188	192	191	196	193,2
3. mérési tartomány	193	195	191	197	192	193,6
3. munkadarab	1	2	3	4	5	Átlag
1. mérési tartomány	199	186	195	197	195	194,4
2. mérési tartomány	180	193	198	201	193	193
3. mérési tartomány	196	197	178	194	192	191,4

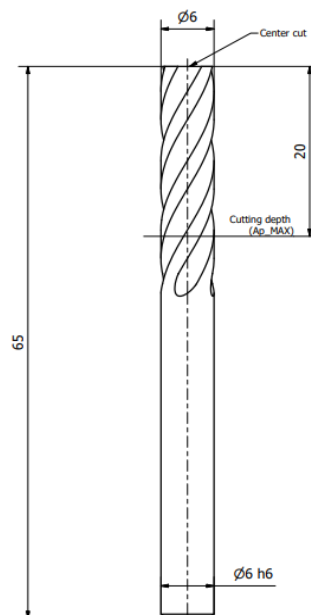
Összes átlag
193,5

6. Mérési eredmények bemutatása

A kísérletben felhasznált marók (20. ábra) egyedileg lettek megtervezve és legyártva, amiben segítséget a Serszám Technika Kft. biztosított. Mind a három szerszám bevonat nélküli. A kísérlet végrehajtásához mind a három szerszámból kettő-kettő állt rendelkezésemre. A szerszámok összetételi-, mechanikai- és ár összehasonlítását a 2. táblázat foglalja össze:

2. táblázat: Szerszámösszetétel

		Szerszám 1 (T1)	Szerszám 2 (T2)	Szerszám 3 (T3)
Co	%	10	12	9,5
WC	%	90	88	89,5
Sűrűség	g/cm ³	14,45	14,45	14,45
Keménység	HV30	1610	1680	1590
Szakítószilárdság	N/mm ²	>4000	>4000	>4000
WC	μm	0,6	0,6	0,6
Árszint	%	100%	112%	107%



20. ábra. Kísérleti szerszám
D6x20_d6_L65_Z4

6.1 A tesztvizsgálat körülményei

Az Óbudai Egyetem Bánki Donát karának gépműhelyében található Mazak Nexus 410A-II CNC megmunkáló központon végeztem a kísérletemet. A vizsgálatokat munkadarabonként kilenc hornyon végeztem el, ezeken a hornyokon történő vizsgálatok szakaszosan történtek, egy szakasz a horony hosszával egyezett meg (35 mm). A munkadarabokat melyeken a tesztekét végeztem a 21. ábra szemlélteti. A tesztelés folyamán a szerszámokon észlelhető kopásokat sztereomikroszkóppal vizsgáltam. A kopásmérést mind a négy élen elvégeztem. A forgácsolás folyamán folyamatosan vizsgáltam a fellépő erők nagyságát. Ehhez Kistler erőmérő rendszert és a hozzá tartozó DynoWare szoftvert használtam.

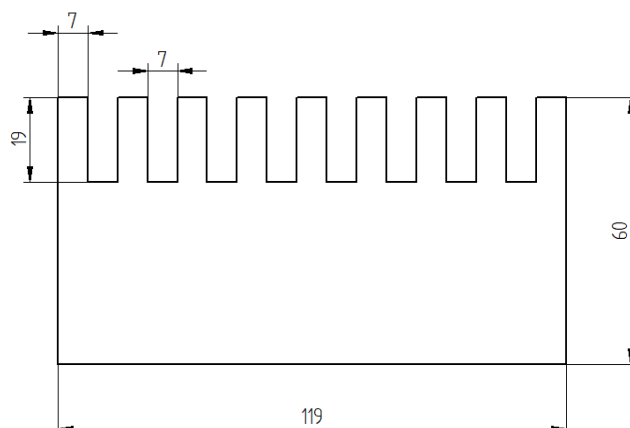
A vizsgálataim a különböző szerszámösszetételű marókra fókuszálnak, ezáltal a választott két különböző anyagminőségű munkadarabokon ugyan azokat a forgácsolási paramétereket alkalmaztam. A kísérlet során három részletben változtattam mind a radiális fogásvételt (a_e), mind a fogankénti előtolást (f_z), melyet a 3. táblázat mutat meg.

3. táblázat: Vizsgálatok során alkalmazott technológia

Mérési pont	a_e (radiális fogásvétel) mm	f_z (fogankénti előtolás) mm
1. horony	0,2	0,01
2. horony	0,2	0,02
3. horony	0,2	0,03
4. horony	0,4	0,01
5. horony	0,4	0,02
6. horony	0,4	0,03
7. horony	0,6	0,01
8. horony	0,6	0,02
9. horony	0,6	0,03

A kísérletben használt forgácsolási paraméterek a következők:

- Forgácsolósebesség: $V_c = 100$ m/min
- Fordulatszám: $n = 7000$ 1/perc
- Axiális fogásvétel: $a_p = 18$ mm
- Előtolósebesség: $V_f = 212; 424; 636$ mm/min (f_z miatt változik)



21. ábra. A kísérletre szánt munkadarab előgyártmánya

A kutatásom elkezdése előtt meg kellett terveznem az előgyártmányt (21. ábra), amin a kísérletet végrehajtottam és elő kellett készíteni a megmunkálendő felületet. A forgácsolás a munkadarab síkjának a marásával kezdődött el, melyhez egy váltólapkás síkmarót használtam, melynek az átmérője $D=80$ mm és 10 lapka helyezkedik el benne.

A tesztek hűtő folyadék használatával végeztem el a különböző anyagminőségű munkadarabok forgácsolhatóságára hivatkozva.

Előgyártmány síkmarásához használt forgácsolási paraméterek C45 anyagban:

- Forgácsolósebesség: $V_c = 80$ m/min
- Fordulatszám: $n = 320$ 1/perc
- Axiális fogásvétel: $a_p = 0,5$ mm (2x ismételve)
- Előtolósebesség: $V_f = 254$ mm/min
- Fogankénti előtolás: $f_z = 0,08$ mm

Előgyártmány síkmarásához használt forgácsolási paraméterek 1.4301 anyagban:

- Forgácsolósebesség: $V_c = 40$ m/min
- Fordulatszám: $n = 160$ 1/perc
- Axiális fogásvétel: $a_p = 0,5$ mm (2x ismételve)
- Előtolósebesség: $V_f = 128$ mm/min
- Fogankénti előtolás: $f_z = 0,04$ mm

A bázisfelület marását egy $D=16$ mm átmérőjű keményfém maróval végeztem el. A hornyok előmunkálásában egy $D=6$ mm átmérőjű 20 mm élhossza rendelkező bevonatos keményfém marót használtam, mellyel a hornyokat 19 mm mélyre kellett kimunkálni.

Előgyártmány hornyainak kialakításához használt forgácsolási paraméterek C45 anyagban:

- Forgácsolósebesség: $V_c = 100$ m/min
- Fordulatszám: $n = 5300$ 1/perc
- Axiális fogásvétel: $a_p = 1$ mm (2x ismételve)
- Előtolósebesség: $V_f = 420$ mm/min
- Fogankénti előtolás: $f_z = 0,02$ mm

C45 anyagminőségben a nagyoló szerszám gond nélkül dolgozott és szépen kimunkálta a hornyokat.

Előgyártmány hornyainak kialakításához használt forgácsolási paraméterek 1.4301 anyagban:

- Forgácsolósebesség: $V_c = 50$ m/min
- Fordulatszám: $n = 2600$ 1/perc
- Axiális fogásvétel: $a_p = 1$ mm (2x ismételve)
- Előtolósebesség: $V_f = 212$ mm/min
- Fogankénti előtolás: $f_z = 0,02$ mm

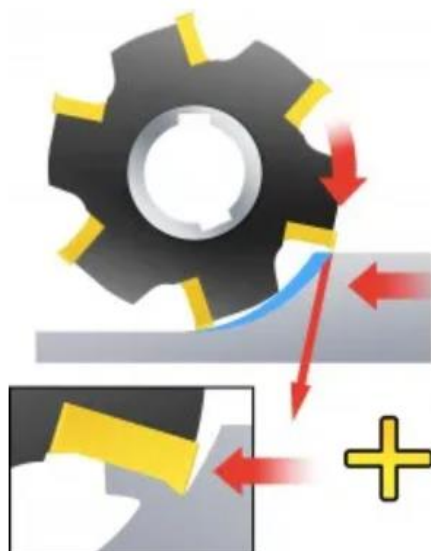
1.4301 rozsdamentes ausztenites anyagminőségben a nagyoló szerszám az első munkadarab nagyolása közben eltört, mely azt bizonyítja, hogy az anyagminőségünk nehezen forgácsolható a nagy hőkezelkezés és a rossz hővezető képesség miatt. Az anyag gumyszerű viselkedése megfigyelhető volt, mivel a szerszám előtt felgyülemlett anyagfelesleg helyezkedett el melyet a 22. ábra szemléltet.

A kísérletem folytatása előtt egyeztettem és új szerszámokat kértem a Szerszám Technika Kft csapatától. Az új szerszámokkal szerszámkárosodás nélkül történt a munkadarabom előkészítése a kísérlethez.



22. ábra. Szerszámtörés

A forgácsolás körülményeinél meg kell említenem, hogy egyenirányú forgácsolást hajtottam végre (23. ábra), amire az a jellemző, hogy a marószerszámot a forgácsolóerők a munkadarab irányába húzzák, a szerszámot a forgácsolóerő behúzza a munkadarabba, az előtolás meg fog nőni, ami nagyobb forgácsleválasztást és akár éltöréshez vezet. [15]

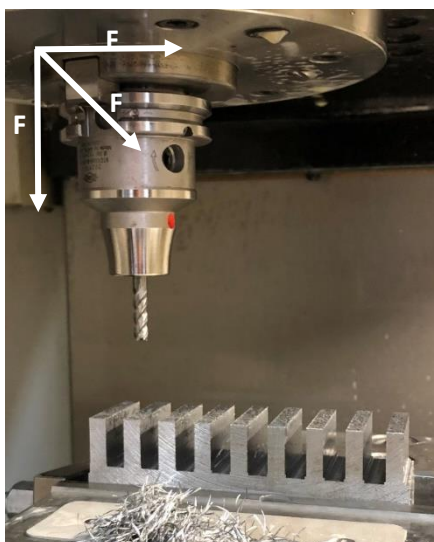


23. ábra. Egyenirányú marás [15]

6.2 Erőtani elemzés

A forgácsolás folyamán az anyagleválasztáskor a dolgozó forgácsolóél mentén az anyag rugalmasan és képlékenyen deformálódik. Az anyagleválasztás folyamán a szerszám és a munkadarab érintkeznek egymással, mely következtében súrlódás alakul ki és a munkadarab ellenállás fejt ki a szerszámmal szemben. Ennek az oka többek között a megmunkálható anyagminőség és a szerszámösszetétel. Ezek mellett még a forgácsolási technológia is nagyban befolyásolja az erők változását. A megmunkálás során jelentős hő és erőhatások lépnek fel, melyeket fontos kielemezni és megismerni. A forgácsolás közben kialakuló erőhatások nagyban befolyásolják a munkadarab méretpontosságát, meghatározzák a gép és legfőképpen a szerszám kiválasztását.

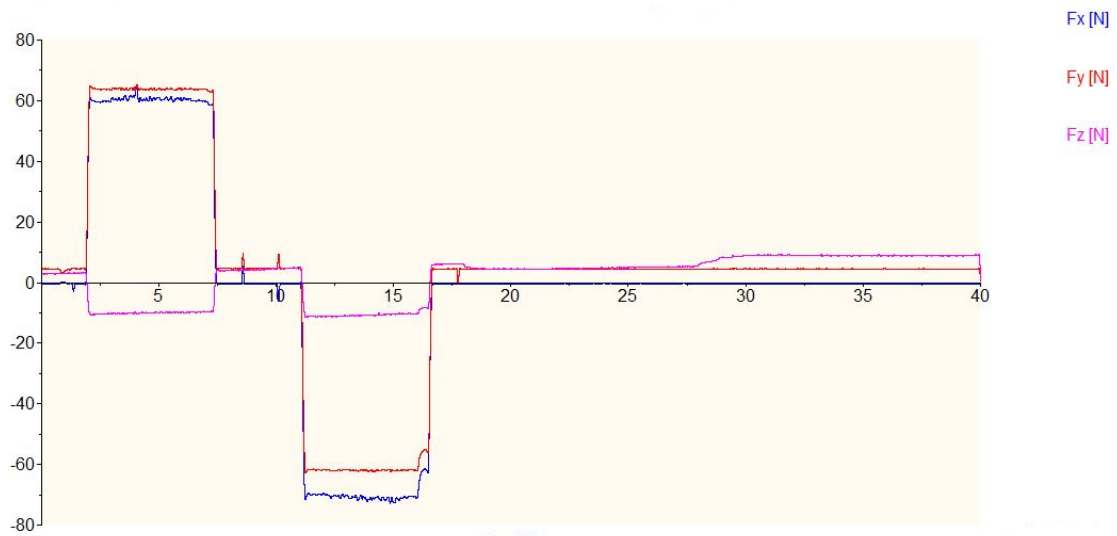
A Kistler erőmérőre rögzített satuba fogva a munkadarabot az axiális irányú erőt (F_z), ami a szerszám tengelyével párhuzamosan hat, az előtolás irányú (F_y) ami a munkadarabon az „y” elmozdulás és „x” irányú erőt (F_x), ami a másik kettő erőre merőleges irányú erőket tudtam mérni. Az erők irányát a 24. ábrán mutatom be. A Kistler erőmérő segítségével mért értékek mind pozitív mind negatív értékek is lehetnek, annak fényében, hogy nyomó vagy húzó erő lép fel a megmunkálás folyamán. Az előjelek ezeknek az erőknek az irányát adják meg. Az erők elemzésére a DynoWare szoftver használtam.



24. ábra. Erők iránya

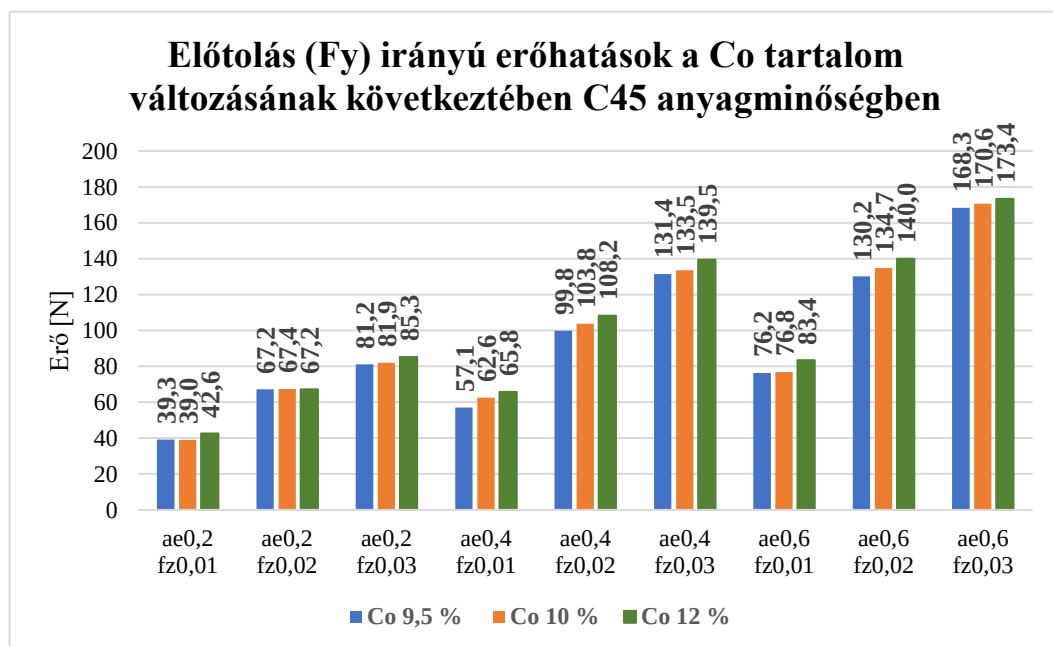
A Kistler erőmérő rendszer segítségével mért erőhatásokat, a szoftver idő függvényében elemzi és ábrázolja. (25. ábra) A diagrammokból meghatározható a

forgácsolási erőigények szakaszokra lebontva és az erők iránya, amelyek lehetnek pozitív, illetve negatív irányú erők. A diagrammokon jól észrevehető, hogy a kísérlet végrehajtása során változnak az erők irányai. Az erőhatások pontosabb részletezésére a következő oldalon térek ki.

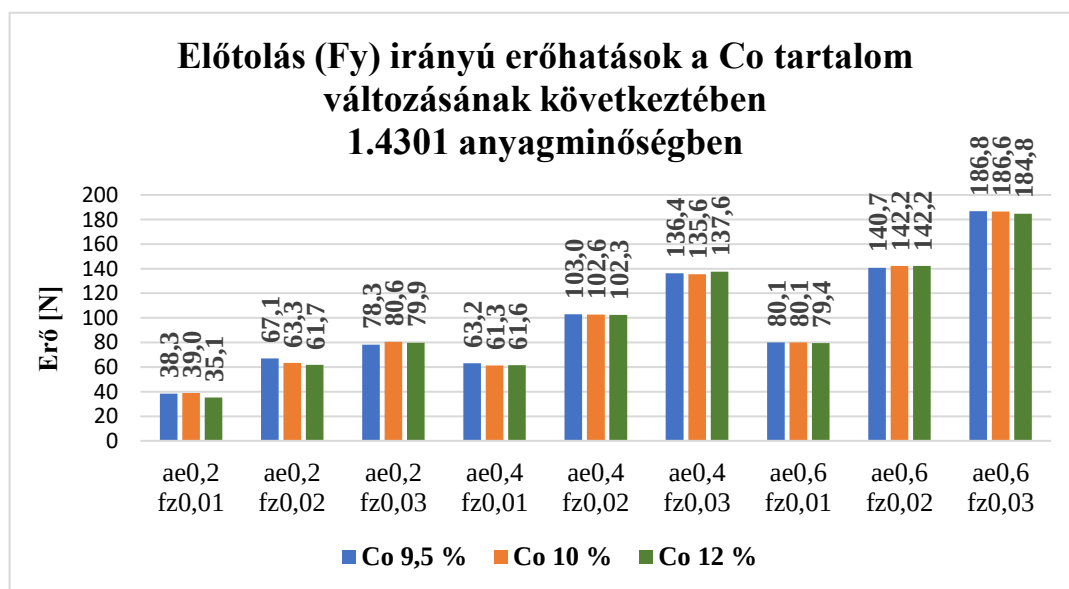


25. ábra. Erőmérés

6.2.1 Előtolás irányú erőhatások



26. ábra. Előtolás (Fy) irányú erőhatások a Co tartalom változásának következtében C45 anyagminőségben



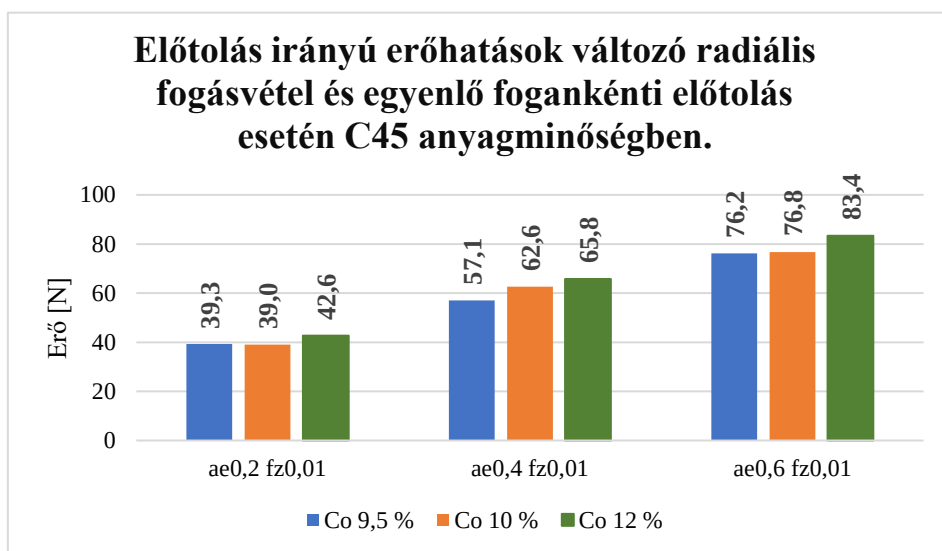
27. ábra. Előtolás (Fy) irányú erőhatások a Co tartalom változásának következtében 1.4301 anyagminőségben

A 26. és 27. ábrán C45, illetve 1.4301 anyagminőségben végzett forgácsoló kísérletem előtolás irányú erőinek (F_y) alakulását ábrázoltam a radiális fogásvétel (a_e) és a fogankénti előtolás (f_z) függvényében.

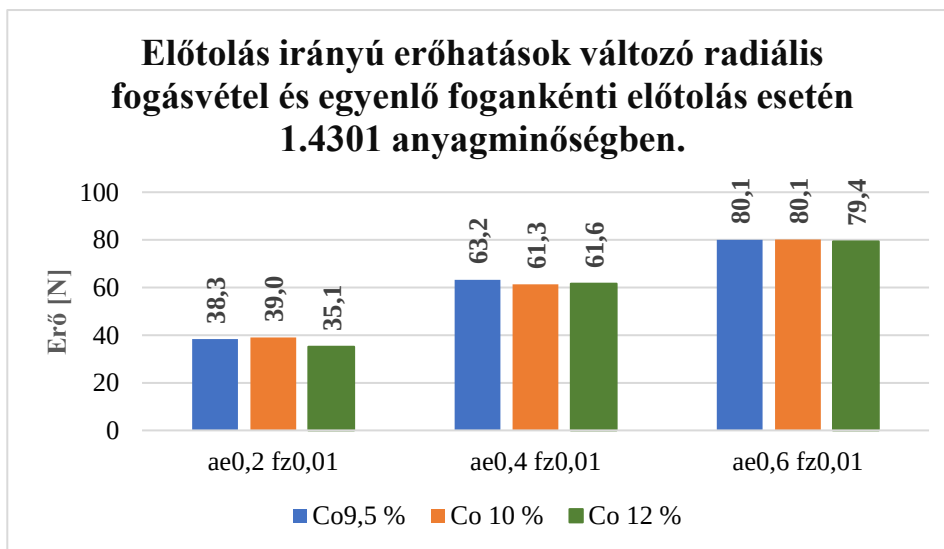
A diagrammot elemezve a következő megállapításokat fedeztem fel:

- Minél nagyobb lett a radiális fogásvétel (a_e) és a fogankénti előtolás (f_z) annál nagyobb erők ébredtek a forgácsolás közben. Ez a hatás a mindig egységesen radiális fogásvétel növelésének és fogankénti növelésének előtolásnak tudható be ($a_e = 0,2/0,4/0,6$; $f_z = 0,01/0,02/0,03$). A forgácsolási erők megnövekedése hatással lehet a pontosságra és a felületi érdességre is.
- A különböző anyagminőségekben elvégzett kísérletek során alig volt különbség forgácsoló erők nagysága között, ami jól mutatja, hogy a munkadarab anyagminőségének minimális hatása van a forgácsoló erők nagyságához.
- A kobalttartalom növekedésének függvényében a C45 anyagminőségben nőnek az erők. Kimutatható, hogy a kisebb kobalttartalmú szerszámok esetén kisebb az erő, míg nagyobb kobalttartalom esetén nő az előtolás irányú forgácsolóerő. A keményfémekben a kobalttartalom növekedésével nő a szerszám szívóssága, [6] emiatt nőnek a forgácsoló erők. A C45 anyagminőségben végzett kísérletem során jobban megmutatkozik, hogy a kisebb kobalt eltérésű szerszámok között kisebb az erők közötti eltérés, míg a nagyobb kobalt tartalmú szerszámok között nagyobb az eltérés, melyet a 26. ábra mutat.
- Ezzel szemben az 1.4301 anyagminőségben végzett kísérletem során, melyet a 27. ábra mutat, megfigyelhető, hogy nincsenek nagy erőtani eltérések a különböző kobalttartalmú szerszámoka között. Sőt az is kimutatható némelyik technológia alkalmazásával, hogy a korrózióálló acél forgácsolása közben a kobalt tartalom növelésével csökkentek az erők minimális mértékben. Ez a viselkedés azonban inkább a mérés hibájának tudható be.

- A 28. és a 29. ábrán megfigyelhető, hogy az egységes fogankénti előtolás (pl.: $f_z = 0,01\text{mm}$) és a minél nagyobb radiális fogásvétel következtében egységesen növekednek az erők, amik nagyából 15-25 N erőtöbbletet mutatnak fogásvételenként.

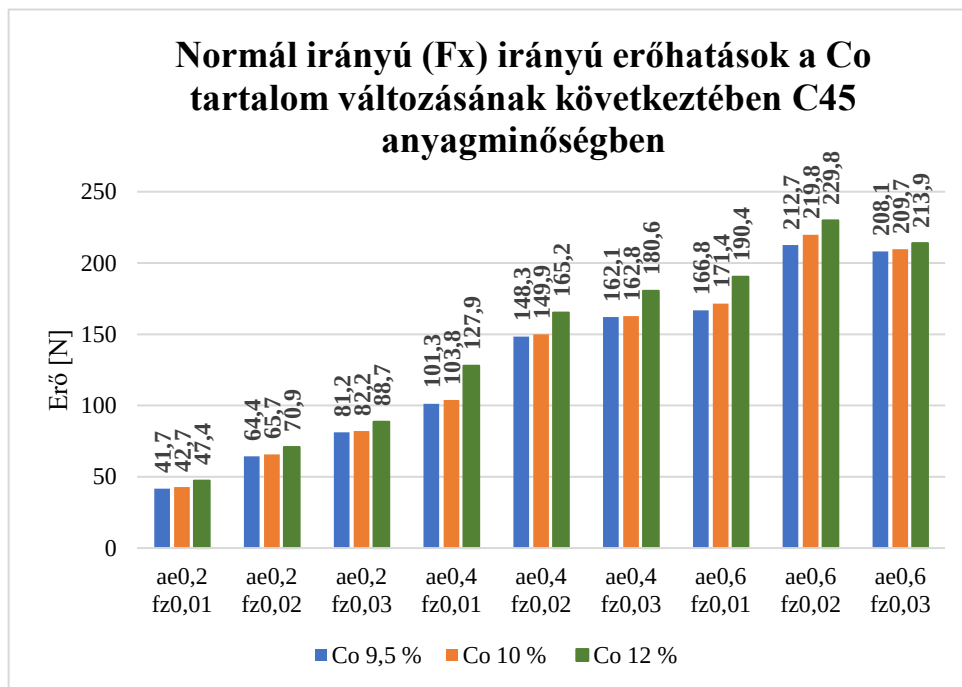


28. ábra. Előtolás irányú erőhatások változó radiális fogásvétel és egységes fogankénti előtolás esetén C45 anyagminőségben

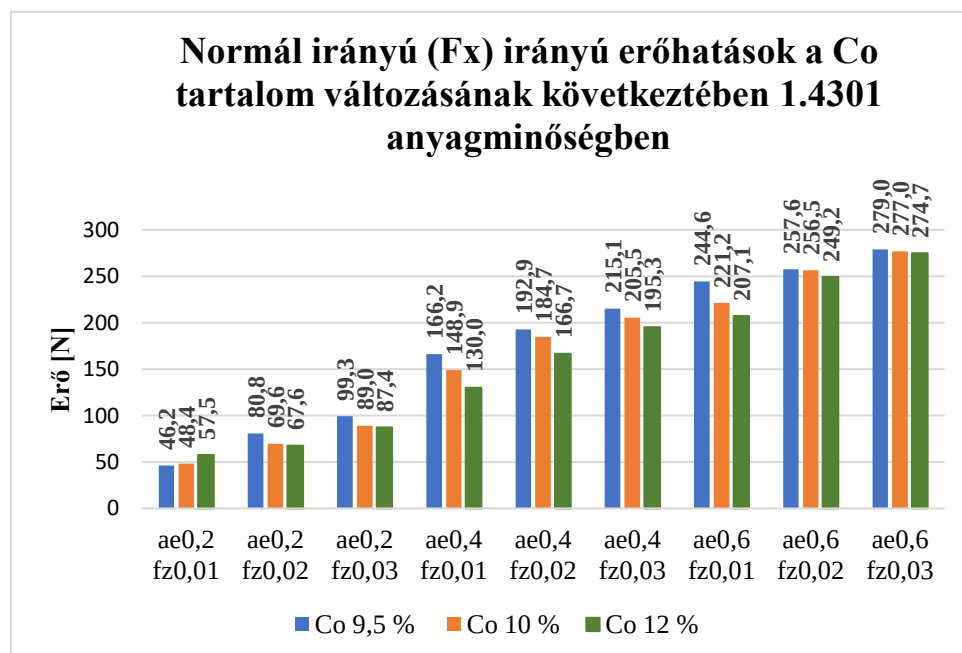


29. ábra. Előtolás irányú erőhatások változó radiális fogásvétel és egységes fogankénti előtolás esetén 1.4301 anyagminőségben

6.2.2 Normál irányú erőhatások



30. ábra. Normál irányú erőhatások a Co tartalom változásának következtében C45 anyagminőségben



31. ábra. Normál irányú erőhatások a Co tartalom változásának következtében 1.4301 anyagminőségben

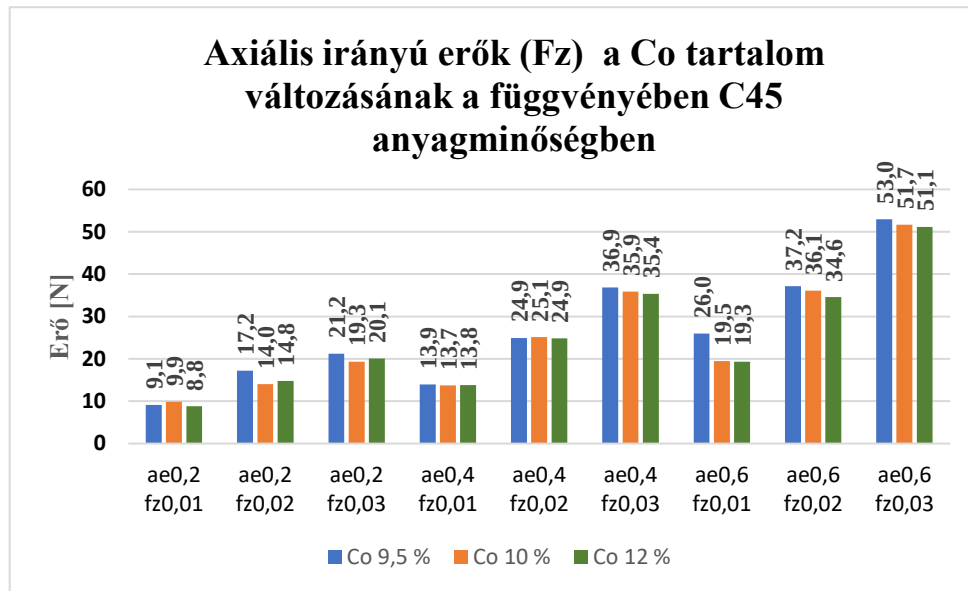
A 30. és 31. ábrán a normál irányú erőhatások változása látható a szerszámokban megváltoztatott kobalt tartalom függvényében. A kísérletet C45 és 1.4301 anyagminőségben végeztem el. Ezek az erőhatások a munkadarab vízszintes síkjában fejtik ki hatásukat.

- Jól megfigyelhető a 30. ábrán, hogy a C45 anyagminőségben végzett forgácsolási kísérletek során a különböző kobalttartalmú szerszámok között kisebb- nagyobb erőtani különbségek vannak. A kék színnel jelzett oszlopok a legkisebb (9,5%) kobalt tartalmú szerszám értékeit mutatják be, mely alapján megfigyelhető, hogy minimális kobalttartalom eltérés esetén is eltérő erők jelentkeznek.
- Amíg a 30. ábra első és a második (kék – 9,5%Co és narancssárga – 10%Co) oszlopa minimális erőtani eltérést mutat, hiszen a kobalt tartalom sem változik olyan nagy mértékben, addig az utolsó oszlopon (zöld – 12%Co) nagyobb erőket lehet észlelni. A keményfém szerszámoknak szívóssága növekszik a kobalt tartalom növelésével, ennek hatására lehet nagyobb erőeltéréseket észlelni. A nagyobb kobalttartalom változásának következtében körülbelül 10-20 N nagysággal nőnek az erők. Észrevehető, hogy a kísérletnek abban a szakaszában, ahol a radiális fogásvétel a legkisebb volt kisebb erőtani eltérések léptek fel. A második és a harmadik radiális fogásvétel változtatásánál nagyobb erők keletkeztek, mely a nagyobb anyagleválasztás következtében jelentkezett.
- Észrevehető a 30. ábra diagrammján továbbá az is, hogy a legnagyobb fogankénti előtolásnál és a legnagyobb axiális fogásvételnél kisebb erők keletkeztek. Ezt az eredményt a forgács eltávolításának hatásának tudom be, hiszen a forgács szabadon tudott távozni a megmunkálási zónától, mivel nem volt akadályozó tényező mellette, szemben a többi megmunkálással, ahol a kísérleti munkadarabon látható hornyok minimálisan akadályozták a forgács gyors eltávozását.
- A diagramokat elemezve elsőre egy nagyon nagy eltérést véltem felfedezni, miszerint a C45 anyagminőségben végzett kísérletemnél a

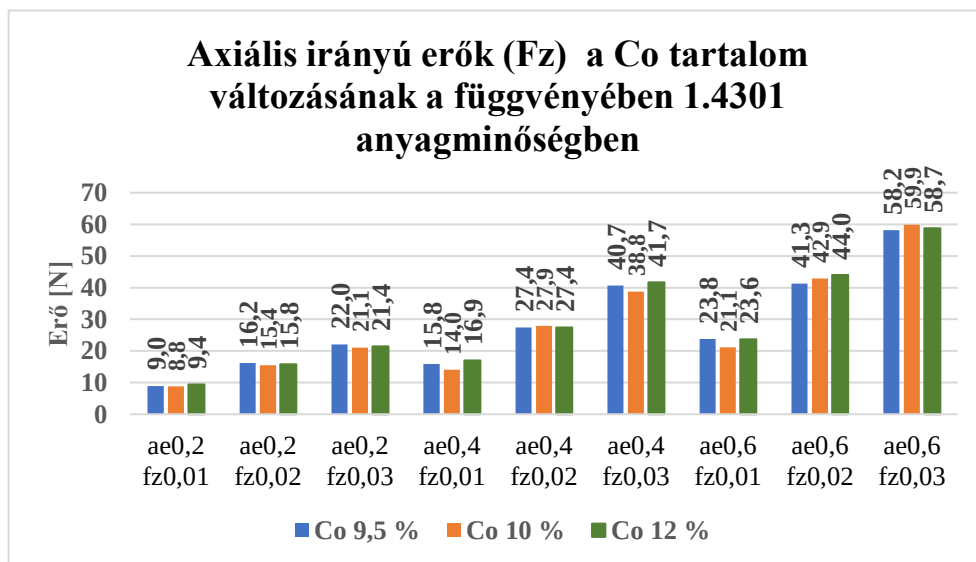
legnagyobb kobalt tartalmú szerszám fejtette ki a legnagyobb erőket, addig a korrózióálló acélnál a legkevesebb kobalt tartalmú szerszám forgácsolása közben mértem a legnagyobb erőket.

- A 31. diagrammon feltüntetett mérési adatok alapján a 9,5% kobalt tartalmú szerszám használata közben jelentkeztek a legnagyobb erők, míg a több kobaltot tartalmazó szerszámok használata közben jóval kisebb erők ébredtek, mely értékeket a keményfémek szerkezeti összetételének és az abból adódó mechanikai tulajdonságainak tudok be, miszerint a keményfémeknek nő a szívóssága a kobalt tartalom növelésével, de a hőállóság kopásállóság és keménysége csökken, ami az ausztenites korrózióálló acélok megmunkálása során nagyon fontos.

6.2.3 Axiális irányú erőhatások



32. ábra. Axiális irányú erők (Fz) a Co tartalom változásának a függvényében C45 anyagminőségben



33. ábra. Axiális irányú erők (Fz) a Co tartalom változásának a függvényében 1.4301 anyagminőségben

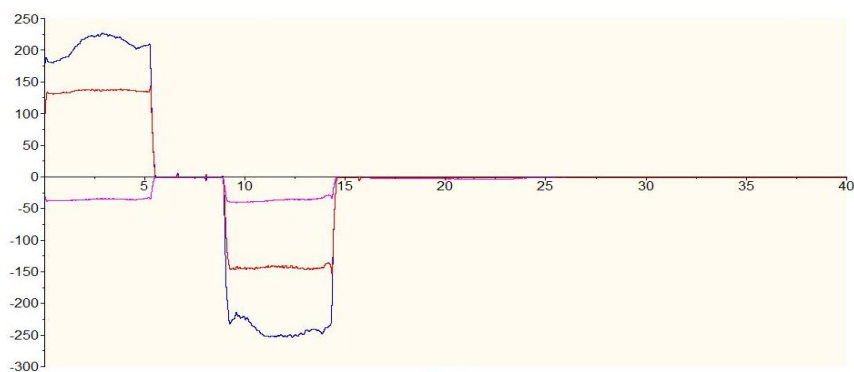
A 32. és 33. ábrán az axiális (F_z) irányú erők alakulásai láthatóak a szerszámokban megváltoztatott kobalt tartalom és a technológiai paraméterek hatására. A kísérletet C45 és 1.4301 anyagminőségben végeztem el. Az erők a munkadarabra merőlegesen fejtették ki a hatásukat.

A diagrammokat elemezve a következő észrevételeket fedeztem fel.

- Mind a kettő anyagminőség forgácsolásakor megfigyelhető, hogy az erők nem változtak nagy mértékben a különböző szerszámok használata közben. A technológiai változtatások következtében sem változtak meg a forgácsolási erők jelentősen a különböző marószerszámok használata során.
- Minél nagyobb technológiai paramétereket használtam a forgácsolás közben annál nagyobb erők ébredtek a megmunkálás során. Forgácsolás során fontos a megfelelő technológia kiválasztása, mivel hatással van a felületi érdességre és a szerszám élettartamára is.

A DynoWare softver segítségével nemcsak az erők nagyságát, hanem az irányát is mérni tudtam. (34. ábra) Ha az erők negatívan hatnak akkor az azt jelenti, hogy a szerszám magára akarja húzni a munkadarabot, míg, ha az erők előjele pozitív, akkor a szerszám nyomó igénybevételt fejt ki a munkadarabra. Az erőképet elemezve a következőt lehet megállapítani:

A változó marási paraméterek miatt a kísérlet során történő megmunkálás részletet az egyes hornyok mindkét oldalán végre hajtottam. Az erőkép kimutatta, hogy a hornyok kétoldali megmunkálása során megváltozik az erők iránya. Az erők megegyező nagyságúak voltak mind a kettő tartományban.



34. ábra. $a_2=0,6$ $f_z= 0,02$

6.3 Szerszámkihajlás

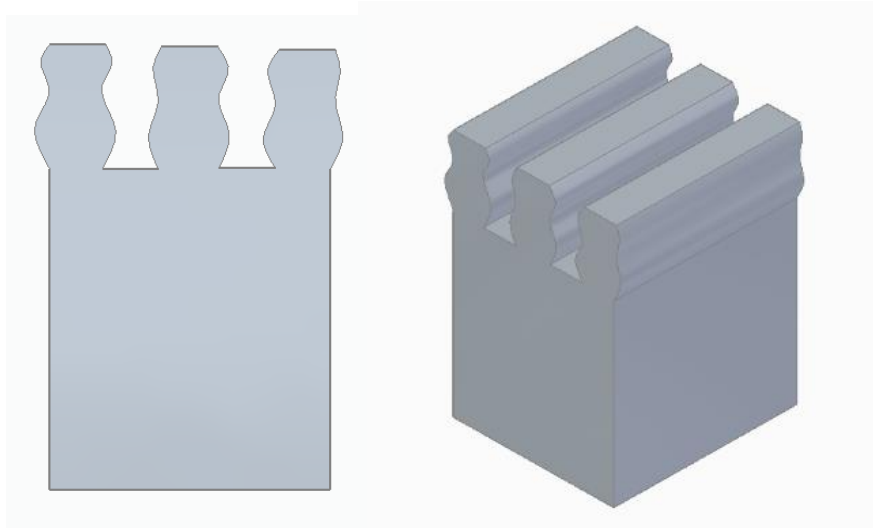
Szakdolgozatom fő témája, a marószerszámok kihajlása különböző szerszámösszetétel esetén változó forgácsolási paraméterek közben. Mérési eredményeim pontossága érdekében a forgácsolt munkadarabom felületei koordináta mérőgéppel lettek bemérve. Az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar méréstechnológiai tanszékén található Mitutoyo Cristal Plus 544 koordináta mérőgépen történt a munkadarab felületeinek a megmérése, melyet a 35. ábrán szemléltetnek. A mérőgép X tengely irányába 500 mm; Y tengely irányába 400 mm; Z tengely irányába 400 mm elmozdulásra képes, felbontása 0,0005 mm ($1/2 \mu\text{m}$). [16] Minden munkadarabon a mérőgép 324 pontot vett fel a minél pontosabb kiértékelés reményében. A kihajlás nagyságának és alakjának meghatározásához a mérőgéppel 6 ponton történt a Z irányú adatfelvétel. (Z-3, Z-5, Z-7, Z-9, Z-11, Z-13)



35. ábra. Mitutoyo Cristal Plus 544 [16]

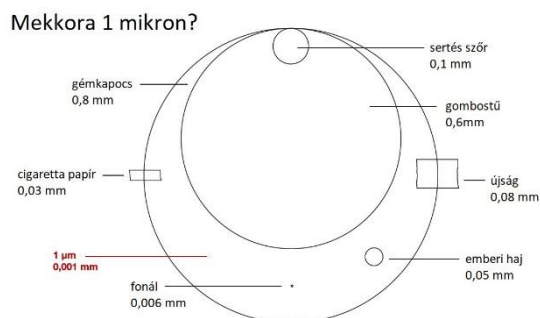
A szerszám kihajlását a munkadarab felületének a kihajlásából határozom meg, mivel az pontosan a tükörképé a szerszám kihajlásának. Az eredmények ismertetéséhez egy magyarázó modellt készítettem, melyet a 36. ábrán szemléltetnek. A munkadarabon végrehajtott kísérlet során a szigetek jobb és bal oldalán ugyan azzal a technológiával

dolgozott a szerszám. Eredményeim ismertetésekor külön fogom elemezni a két oldalon történő forgácsolást.



36. ábra. Magyarázó ábra

A mérőgéppel történő bemérés után az eredmények alapján kettő alkalommal hajlik ki a szerszám. A forgácsolást végrehajtott felület felső harmadában egy kisebb hordósodás lép fel mely után domború lesz a felület. A profil aljához közeledve egy nagyobb hordósodás jelenik meg a felületen. Összeségében kisebb nagyobb hullámok jelennek meg a felületen váltakozva. Az értékek mikron (μm) nagyságúak, melynek a méretét a következő ábrán lehet megfigyelni. [17]

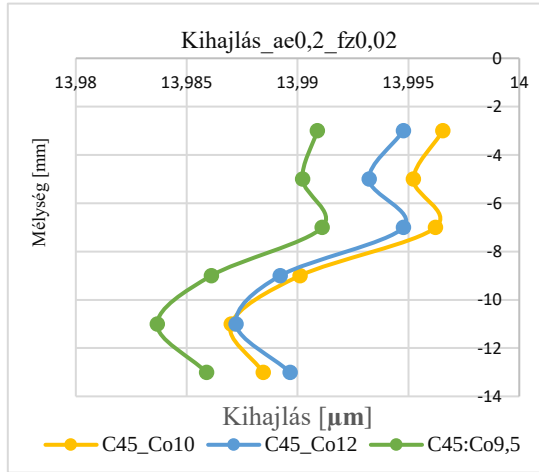


37. ábra. Mikron mérete [17]

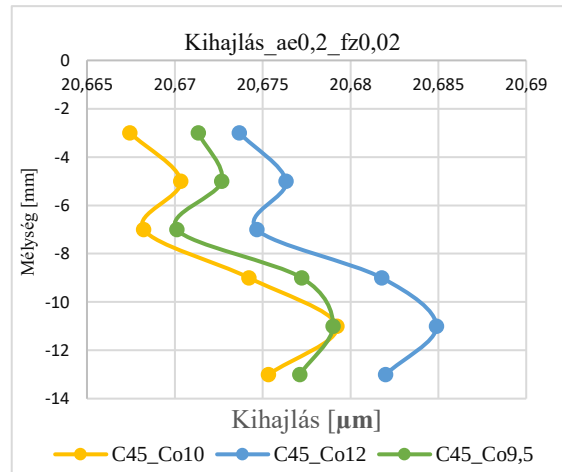
6.3.1 Szerszámkihajlás C45 anagminőség forgácsolásakor

Sziget bal oldal

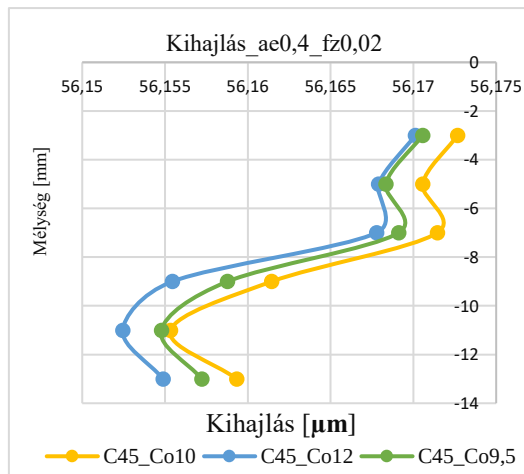
Sziget jobb oldal



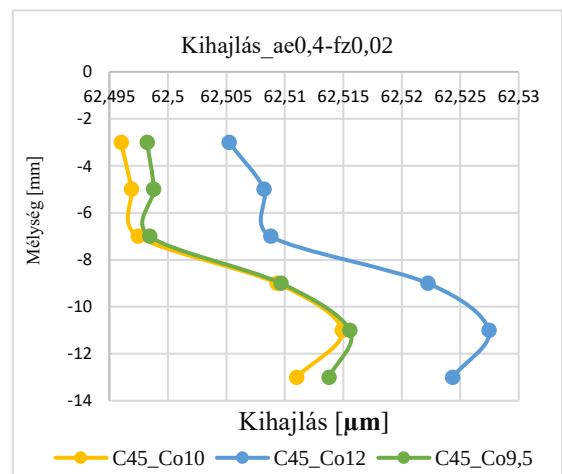
39. ábra. Kihajlás



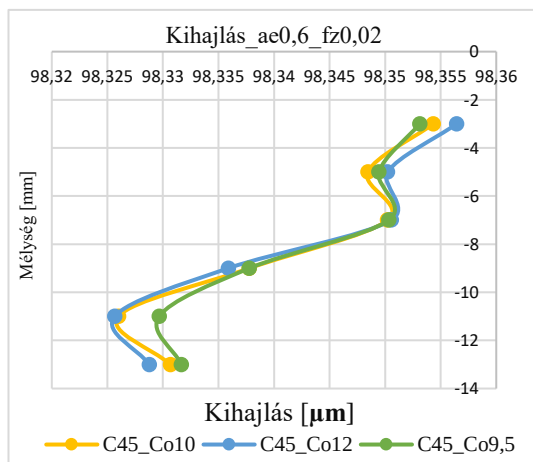
40. ábra. Kihajlás



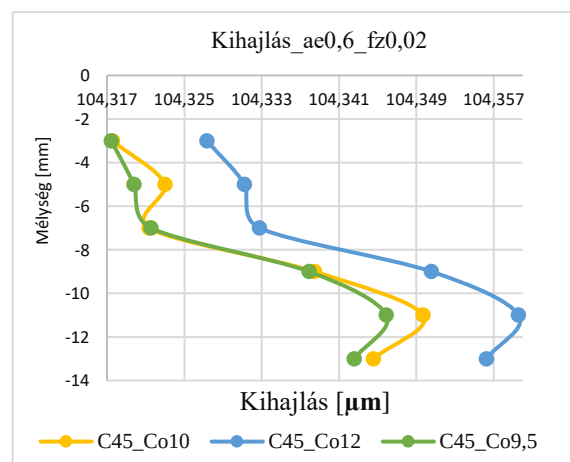
41. ábra. Kihajlás



42. ábra. Kihajlás



43. ábra. Kihajlás



44. ábra. Kihajlás

A kiértékelés során mindegyik sziget megmunkálását külön diagramban jelenítettem meg és elemeztem. A szakdolgozatom terjedelmének tudatában nem jelenítem meg az összes felületre elkészített diagrammot, melyek összességét a 2. és 3. mellékletben lehet majd megtalálni.

A 39-44. ábrák kihajlási diagramjait elemezve a következő megállapításokat fedeztem fel:

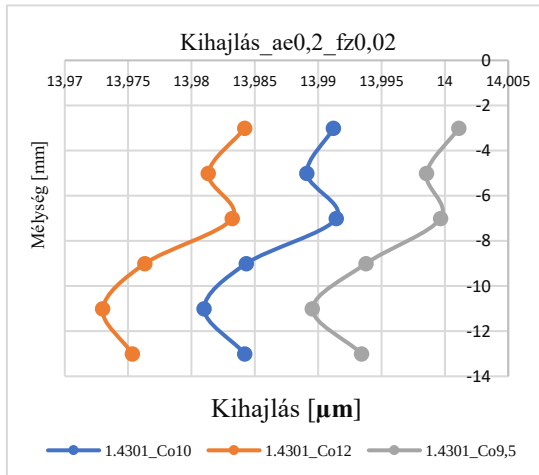
- A szerszám a felület megmunkálása során két lokális szélsőértéket produkált a felületen. A felület felső síkjától -5mm-re egy kisebb kiugrást lehet észlelni majd a felület felső síkjától -11 mm-re egy jóval nagyobb mértékű kiugrás látható. Mindegyik felület vizsgálata során fellép a felület hullámossága kisebb-nagyobb hullámok váltakozásával. A szerszámkészítővel történő egyeztetés során nagy valószínűséggel a hullámosság a forgácshorony miatt lép fel, míg a hullámosságban tapasztalt eltérések a szerszám éleinek egyenlőtlen kiosztása miatt következett be.
- A diagramon látható, hogy drasztikusan beesik a görbe -13 mm mélyen. A szerszám fogának anyagba érésekor a munkadarab magára próbálja húzni a szerszámot, amit a befogó nem enged. A befogó álltál történő ellenállás hatására a szerszám ismét nagyobb fogásvételt vesz, ami szintén a szerszám kihajlásához vezet kis mértékben.
- A marószerszám tengely irányú fogásvétele 18 mm volt. A görbéket elemezve megállapítható, hogy mindegyik nagyobb kihajlás a felület alsó harmadában történt.
- A különböző kobalt tartalmú szerszámok kihajlását elemezve arra a megállapításra jutottam, hogy a legnagyobb kihajlást a 12 % kobalt tartalmú szerszám produkálta, mivel a kobalt tartalom növekedésével csökken a szerszám keménysége és ezzel a szilárdsága is. A 39-44. ábrákat elnézve mindegyik felületen a 12 % kobalt tartalmú szerszám produkálta a legnagyobb kihajlást. A kihajlásokat tovább elemezve megállapítottam, hogy a 10 % kobalt tartalmú és a 9,5 % kobalt tartalmú szerszám hasonló

eredményeket produkált, főleg a nagyobb radiális fogásvétel és fogankénti előtolás alkalmazásakor.

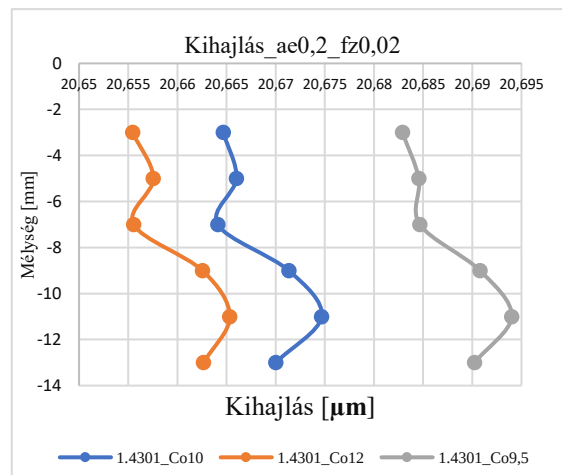
6.3.2 Szerszámkihajlás 1.4301 anyagminőség forgácsolásakor

Sziget bal oldal

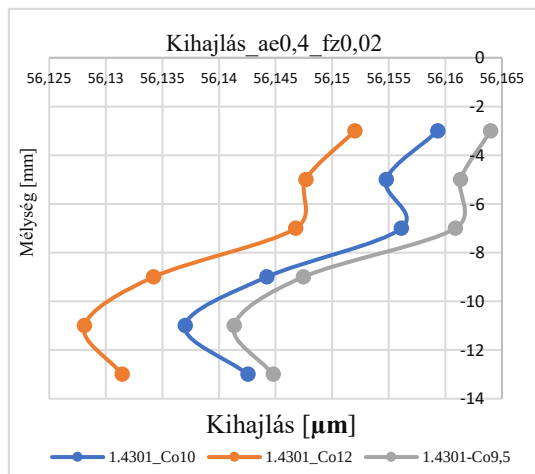
Sziget jobb oldal



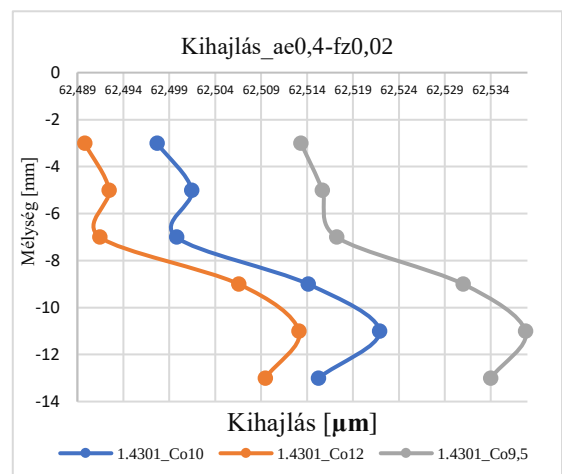
45. ábra. Kihajlás



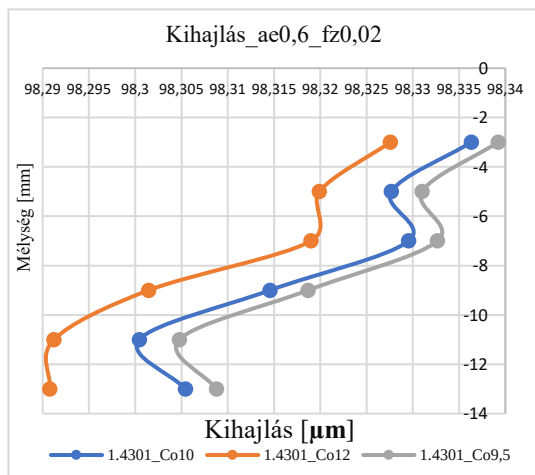
46. ábra. Kihajlás



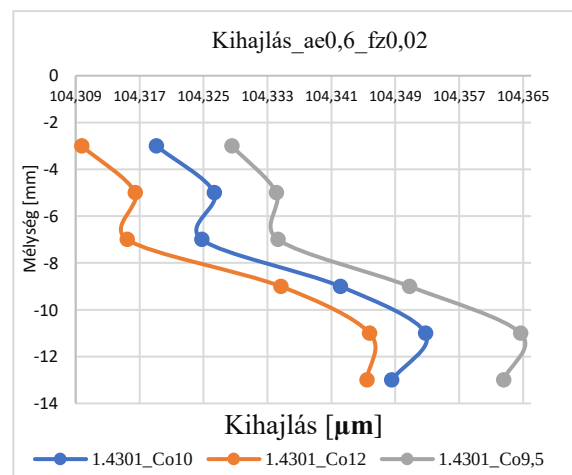
47. ábra. Kihajlás



48. ábra. Kihajlás



49. ábra. Kihajlás



50. ábra. Kihajlás

A 45-50. ábrák kihajlási diagrammait elemezve a következő megállapításokat fedeztem fel:

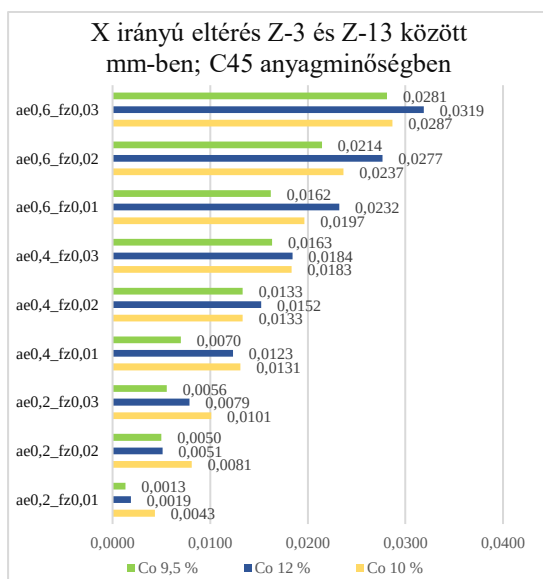
- A diagrammon első ránézésre egy hatalmas eltérést lehet megfigyelni a jobb és bal oldali szigetek megmunkálása során. A szigetek bal oldalának megmunkálása során jól megfigyelhető, hogy a 9,5 % kobalt tartalmú szerszámmal végzett forgácsolás során sikerült a legkisebb kihajlási értékeket produkálni, míg a sziget jobb oldalán történő megmunkálás során a 12 % kobalt tartalmú keményfém maró forgácsolása közben kaptam a legkisebb kihajlási értékeket. Minden sziget megmunkálása során megfigyelhető ez az eltérés. A kettő szerszám pontossága felcserélődik a szigetek oldalainak megmunkálása során. A diagrammon található értékek alapján a megmunkált anyag rossz hővezetőképességére alapozom ezeket a mérési eredményeket. A diagrammokon található eltéréseket okozhatta továbbá a munkadarab elmozdulása a satuban, illetve a gép pozicionálása is.
- A hullámosság a korrózióálló acél megmunkálása során is megmutatkozik a felületeken. Itt is jelen van az, hogy a felület alján egy nagyobb hordósodás jelenik meg, míg a felület tetején egy minimális domborúság látható.
- Szintén jól megfigyelhető, hogy -13 mm mélységben beesik a görbe, mely alapján még határozottabban tudom állítani, hogy a szerszám fogának történő anyagba érésakor a munkadarab magára próbálja húzni a szerszámot, amit a befogó nem enged.

6.3.3 X irányú eltérés Z-3 mm és Z-13 mm között

Szakdolgozatom kihajlási eredményeinek kiértékelése során több lehetséges vizsgálati módot alkalmaztam, hogy minél átfogóbb eredményt kapjak a vizsgálatom során.

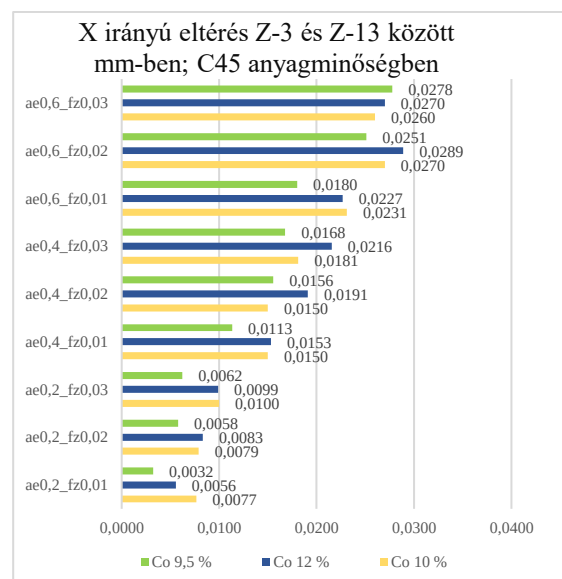
A következő diagrammsorozaton a koordináta mérőgéppel felvett függőleges irányú pontok X irányú különbségét fogom elemezni.

Sziget bal oldal

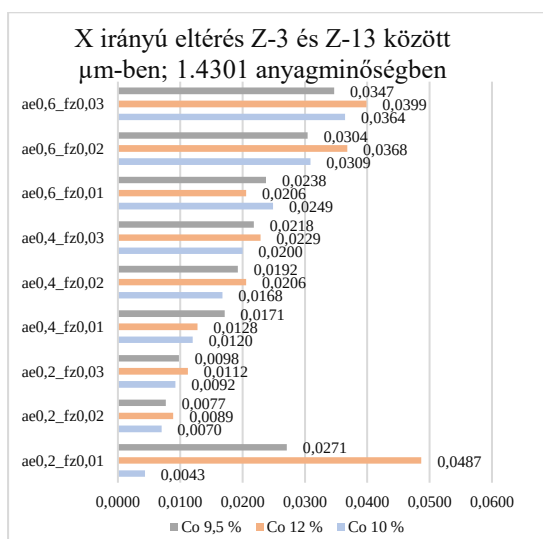


51. ábra

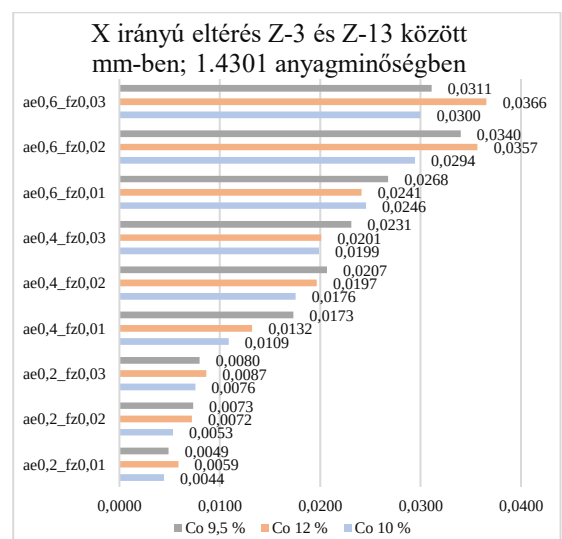
Sziget jobb oldal



52. ábra



53. ábra



54. ábra

A 51-54. ábrák diagrammjai a függőleges (Z) irányban felvett legalsó és legfelső pontok X irányú elmozdulásainak a különbségét mutatják. A C45 anyagminőségben végzett kísérletem diagrammjait elemezve a következő megállapításokra jutottam:

- A 50. és 51. diagrammokon jól megfigyelhető, hogy a legkisebb eltérést a 9,5 % kobalt tartalmú szerszámmal végzett megmunkálás eredményezi, mivel minél kevesebb a kobalt tartalom annál keményebb a szerszám. A diagrammokon jól látható továbbá, hogy a kobalt tartalom növelésével egyre jobban növekednek az eltérések is a vizsgált pontok között.
- A technológiai paraméterek növelésével megfigyelhető, hogy a mérési pontok között is növekednek a kihajlási eltérések. Az egységesen növelt technológia következtében az eltérések is szinte egységesen növekedtek.

A kísérletem diagramjainak elemzése után a következő megállapításokra jutottam az 1.4301 anyagminőségben végzett kísérlettel kapcsolatban:

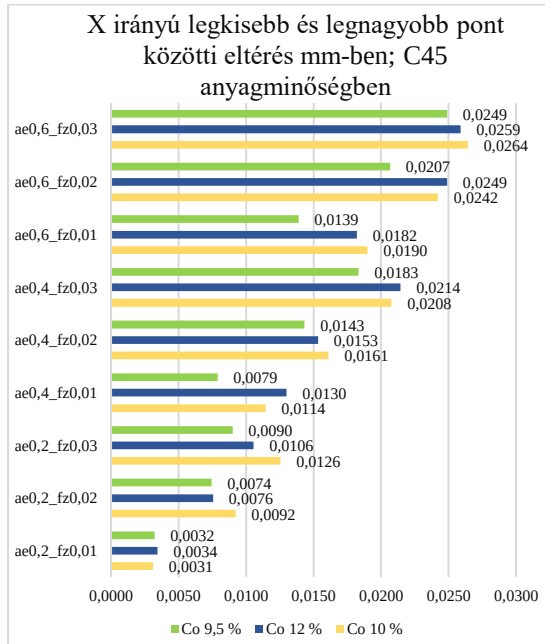
- Az 53. diagramon megfigyelhető, hogy itt is, mint a C45 anyagminőségben végzett forgácsolási kísérlet alatt a 9,5 % kobalt tartalmú szerszám produkálta a legkisebb eltérést.
Hasonló eltéréseket fedeztem fel a 52. ábrán, mint az előző fejezet értékelése során, hiszen a diagrammot jól megfigyelve észrevehető, hogy a legkevesebb kobaltot tartalmazó szerszám produkálta a legnagyobb eltéréseket szinte minden sziget jobb oldalának megmunkálása során.
- Itt is jól megfigyelhető, hogy a technológia növelésével növekednek az eltérések is a pontok között.

Ebben a fejezetben elemezett diagrammokat összegezve a következő eredményeket állapítottam meg:

- Összeségében a 9,5 % kobaltot tartalmazó keményfém maró produkálta a legkisebb változásokat a forgácsolás során. A technológiai paraméterek növelésével az eltérések is növekedtek. Kis méretű és nagyon pontos munkadarabok előállítása során, ahol törekedni kell a legnagyobb pontosságra, felületre és a tűrések betartására, ott nagy szerepet játszik a keményfém szerszámok kobalt tartalma.

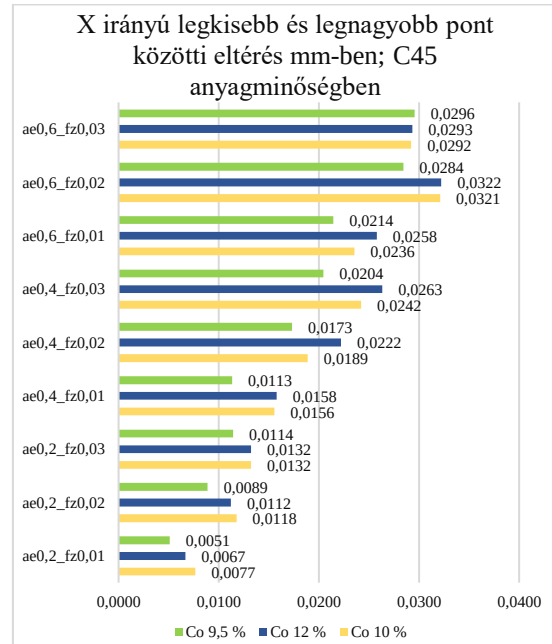
6.3.4 X irányú eltérés a legtávolabbi pontok között

Sziget bal oldal

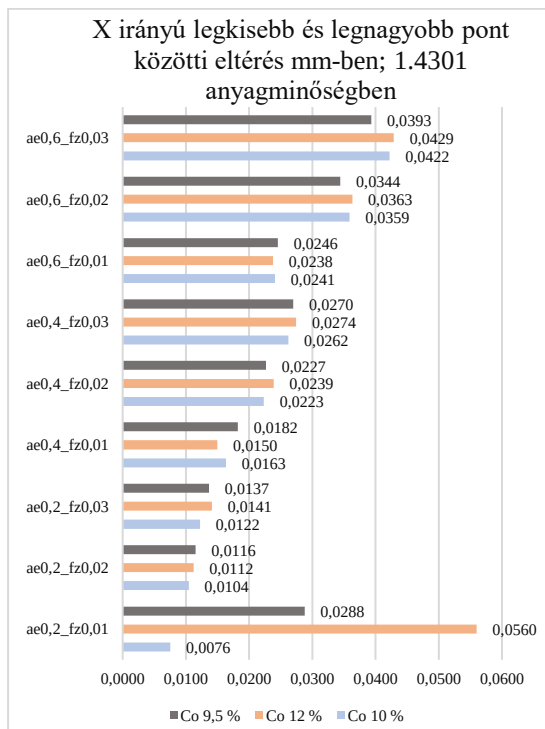


55. ábra

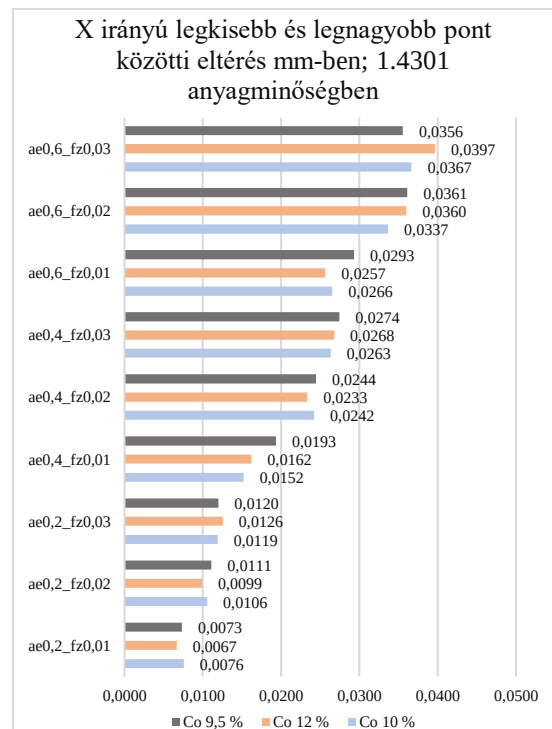
Sziget jobb oldal



56. ábra



57. ábra



58. ábra

Az 55-58. ábrák diagramjai a függőleges (Z) irányban felvett legnagyobb eltérésű pontok X irányú elmozdulásainak a különbségét mutatják. A C45 anyagminőségben végzett kísérletem diagramjait elemezve a következő megállapításokra jutottam:

- A 55. és 56. diagramon is megfigyelhető, mint az előző fejezetben, hogy a legkisebb kobalt tartalmú keményfém szerszámnak van a legkisebb eltérése a legtávolabbi pontok vizsgálata során. Kihajlási szempontot figyelembe véve ez a szerszám érte el a legjobb eredményt.
- A paraméterek változásának következtében, a legkisebb paramétértől a legnagyobbig 3 és 30 μm eltérést mutat a diagramm a 9,5 % kobalt tartalmú szerszám használata után. A köztük lévő paraméterek növekedése során egységesen növekszik az eltérés is.
- A kísérletem során használt legnagyobb technológia hatására azt lehet észrevenni, hogy az eltérések közel egyformák lesznek.

A diagrammok elemzése után a következő észrevételeket vontam le az 1.4301 anyagminőségű kísérletről:

- 57. és 58. diagramm elemzése során észrevettem, hogy a korrózióálló anyag megmunkálása során a különböző szerszámok által mart felületen kismértékű eltérések látszódnak. Az eltérések a különböző kobalt tartalmú szerszámoknál pár μm .
- A paraméterek változtatásának hatására itt is megfigyelhető, hogy növekednek az eltérések. Összehasonlítás végett itt is a 9,5 % kobalt tartalmú szerszámot emelném ki, ahol a legkisebb és a legnagyobb technológia között 7 és 40 μm eltérést jelenik meg.

Ebben a fejezetben elemzett diagrammok összegzése a következő eredményeket hozta:

- A kettő anyagminőség értékelése során megfigyelhető volt, hogy a C45 anyagminőség megmunkálása során nagyobb eltérések vannak az egyes szerszámok kihajlásai között.

- Az eltérések tekintetében a korrózióálló anyagnál léptek fel nagyobb értékek. Míg C45 anyag megmunkálásakor a legnagyobb eltérés $30\text{ }\mu\text{m}$ volt, addig az 1.4301 anyagnál $43\text{ }\mu\text{m}$ nagyságig emelkedett ez az érték.

7. Gazdasági elemzés

Szakdolgozatom forgácsoló kísérletei során a kihajlás vizsgálat mellett, megvizsgáltam a szerszámokat gazdasági szempontból is. A forgácsoló kísérletem során használt szármaró szerszámok előgyártmány árainak az alakulását a 4. táblázatban tüntettem fel.

4. táblázat: Árak alakulása

		Szerszám 1	Szerszám 2	Szerszám 3
Co	%	10	12	9,5
Árszint	%	100%	112%	107%

Gazdasági elemzésemet egy példán keresztül szeretném bemutatni 1000 db szerszám vásárlása esetén. A szerszámok előgyártmányainak az árait a szerszámkészítő nem adta a tudomásomra, az árszint alakulását osztotta meg velem, amin az látszik, hogy a 10 % kobalt tartalmú keményfém a legolcsóbb, és ahhoz képest a 9,5 % kobalt tartalmú szerszám 7%-kal drágább a 12 % kobalt tartalmú pedig 12 %-kal drágább. A példám során meghatároztam a szerszám költségét:

- 10 % kobalt tartalmú szerszám: 30 Euro/db- 1000 db esetén: 30000 Euró
- 12 % kobalt tartalmú szerszám: 33,6 Euro/db- 1000 db esetén: 33600 Euró
- 9,5 % kobalt tartalmú szerszám: 32,1 Euró/db- 1000 db esetén: 32100 Euró

Számításaimat figyelembe véve, 1000 darab marószerszám vásárlása esetén jelentősen megnőnek a végfelhasználónak a költségei.

Ez az ár összehasonlítás a szerszámok várható élettartama miatt nem teljesen igaz. A legolcsóbb megoldás valószínűleg nem a 10 % kobalt tartalmú szerszám, mivel a 9,5 % kobalt tartalmú szerszámokkal nagyobb keménységük miatt várhatóan több munkadarabot lehet megmunkálni, hiszen minél kevesebb a keményfém szerszámban a kobalt annál keményem és kopásállóbb lesz. A gazdaságosság pontos meghatározásához további éltartam kísérletek lennének szerencsések nagyobb mennyiségű szerszámmal. A

marószerszámok éltartama alapján produktivitást lehet számolni, mely alapján meg lehet határozni, hogy a szériatermelésben melyik ár-értékű szerszámot éri használni. A produktivitas a forgácsoló szerszámok egy komplex jellemzője, amely magába foglalja a felhasznált szerszám teljesítőképességére és gazdaságos alkalmazására vonatkozó tényezőket. A produktivitas célfüggvénye együttesen foglalja magába az idő- és költségbázisú célkitűzéseket.

A produktivitas számítóképlete:

$$V_p = \frac{ae * ap * vf}{t_{cs} + \frac{K_s}{Kg}} \left[\frac{cm^3}{min} \right]$$

ahol:

V_p = produktivitas

ae = radiális fogásvétel [mm]

ap =axiális fogásvétel

vf = előtoló sebesség [m/min]

t_{cs} = szerszámcsere idő [min]

K_s = szerszám élköltség [min]

K_g = gépüzemeltetési költség [EUR/min]

T = éltartam [min]

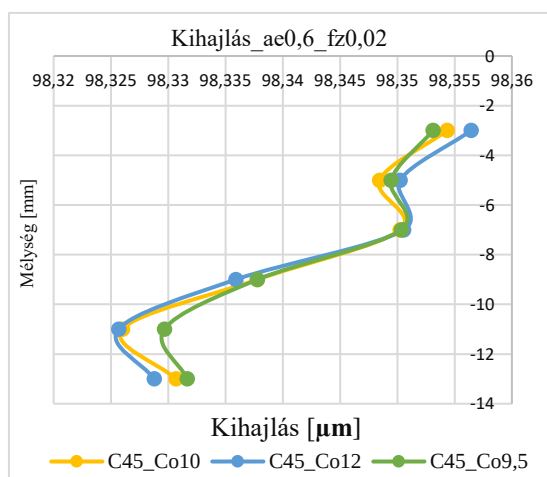
A produktivitas részletes számítását a későbbi kutatások irányának határozom meg, hiszen a szakdolgozatom nem a szerszám éltartam vizsgálatára terjed ki, ami a produktivitas számításához elengedhetetlen. Az elméleti feltevés azonban arra ad következtetést, hogy az általam használt legkevesebb kobalt tartalmú (Co 9,5 %) de árban drágább szerszámmal több munkadarabot lehet megmunkálni.

8. Összefoglalás

A forgácsolási kísérleteim célja a különböző kobalt tartalmú maró szerszámok vizsgálata volt. A szerszámok anyagának változtatása milyen hatással lesz a szerszámok kihajlására és a forgácsolás közben fellépő erőkre. A három különböző szerszám összetételű maróval (Co 9,5%, Co 10 %, Co 12 %) végzett vizsgálatot kettő különböző anyagban (C45, 1.4301) hajtottam végre. A kísérletemet forgácsolás technológiai paraméterek változtatása mellett végeztem el.

A forgácsolás közben mért erőhatásokat összegezve, azt a megállapítást tettem, hogy az ötvözetlen szerkezeti acélok megmunkálása során a legkisebb kobalt tartalmú (Co 9,5 %) szerszám fejtette ki a legkisebb erőket, míg a korrózióálló acél forgácsolása során a legtöbb (Co12 %) kobaltot tartalmazó szerszám fejtette ki a legkisebb erőt. Ez a kimutatás mind a normál irányú (F_x) mind az előtolás irányú (F_y) erőkre igaz.

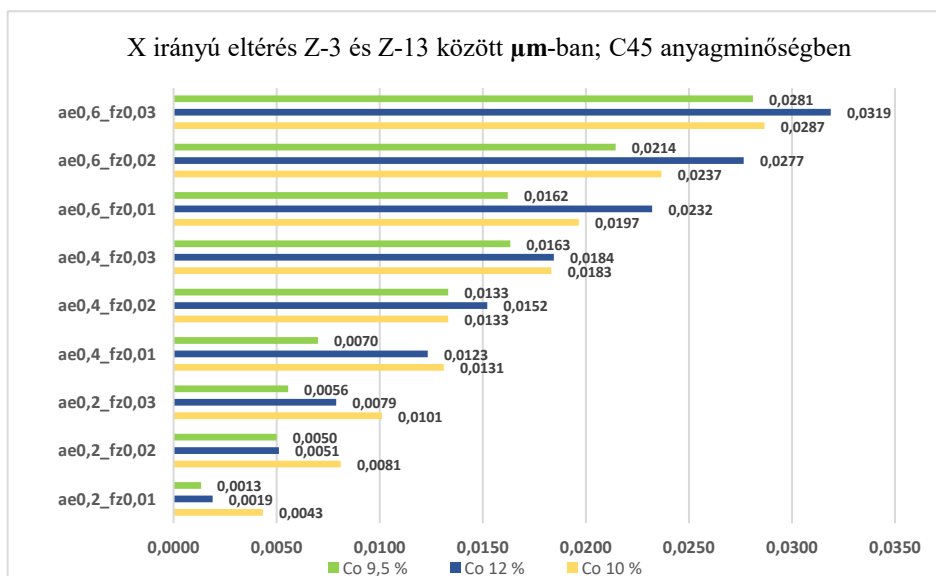
A szakdolgozatom legfőbb témáját, a szerszám kihajlást összegezve azt lehetett megállapítani, hogy a vizsgált paraméterek következtében a szerszám a megmunkálás során két helyen produkál lokális szélsőértéket a felületen. A szerszám kihajlását a munkadarab felületén tudtam mérni, hiszen a megmunkált felület tükörképe a szerszám megmunkálás közbeni alakjának. A munkadarab felületének a megmérése koordináta mérőgéppel történt, mely fél mikron (μm) pontossággal tudta megmérni a felületeket. A mart felület aljánál (Z-13 mm) egy nagyobb hullámot lehet megfigyelni, majd a felület tetejéhez (Z-5 mm) közeledve egy kisebb hullám látható. Mindegyik felületnél ezt a hullámosságot lehetett megfigyelni, amit az 59. ábra szemléltet. A kihajlási eredményeimet az 5.3.1 és az 5.3.2 bekezdésben részletesebben kielemeztem.



59. ábra. X irányú eltérés

Szaktervezésemben történő kihajlási eredményeim vizsgálatakor több lehetséges vizsgálati módot alkalmaztam, melyeket a következőkben szeretnék összegezni.

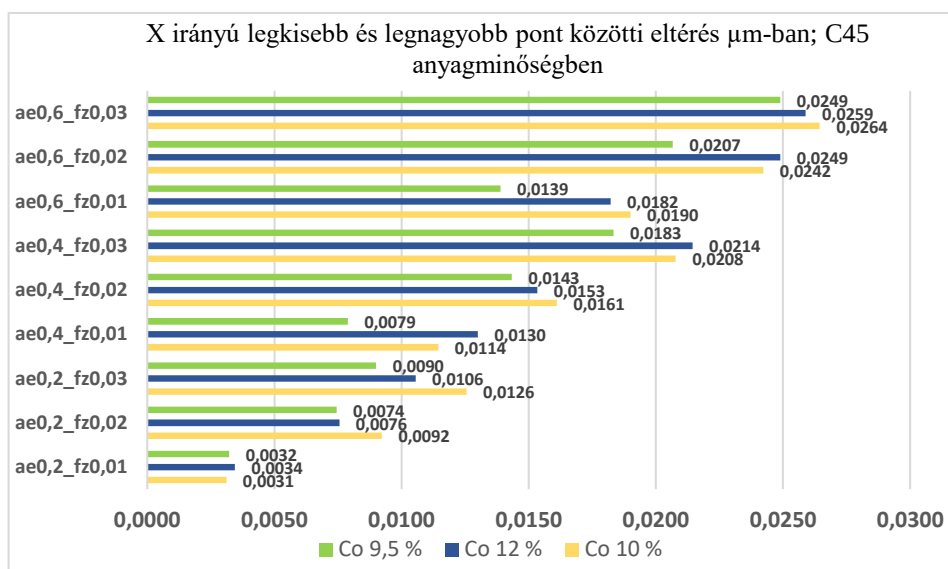
Az 60. ábrán látható diagramm a függőleges irányú pontok X irányú különbségét mutatja be.



60. ábra. X irányú eltérés

A diagrammon jól megfigyelhető, hogy a 9,5 % kobalt tartalmú szerszám forgácsolása közben lépett fel a legkisebb eltérés, ami jól bizonyítja, hogy a keménység függ a bennük megtalálható kobalt mennyiségétől. A szerszámokban lévő kobalt mennyiség mellett nagy jelentősége van a forgácsolás közben alkalmazott technológiának is. A kimutatásban látható, hogy a technológiai paraméterek növelésével növekszik a mért pontok közötti eltérés.

A következő diagramon (61. ábra) az X irányú legnagyobb és legkisebb pontok közötti eltéréseket vizsgáltam.



61. ábra. X irányú eltérés

A diagramon a vizsgált paraméterek hatására is a 9,5 % kobalt tartalmú szerszám bizonyult a legjobbnak, hiszen az eltérések itt voltak a legkisebbek. Szintén megmutatkozik ezen a diagramon is, hogy nemcsak a szerkezeti összetételnek, de a technológiai paramétereknek is nagy jelentősége van a forgácsolásban.

Szakdolgozatom végén egy kisebb gazdasági elemzés is helyet kapott, ahol a szerszám előgyártmány árbeli különbségének változását vizsgáltam. A szerszámgyártó százalékosan osztotta meg velem az előgyártmány árbeli különbségeit, melynél az jött ki, hogy a 10 % kobalt tartalmú szerszám a legolcsóbb és ahhoz képest változnak a többi kobalt tartalmú szerszám árai.

Összeségében azt a megállapítást teszem, hogy minél nagyobb a kobalttartalom annál nagyobb a szerszám kihajlása. Kis kobalt tartalmú szerszámokat simító műveletek végrehajtásához ajánlom alkalmazni, míg nagy kobalt tartalmú szerszámokat, melyeknek nagyobb a szívóssága nagyoló műveletekhez ajánlom, hiszen nagyolásnál nem olyan fontos a pontosság, annál inkább, hogy az ütő igénybevételeknek jobban ellenálljon.

A későbbi kutatások irányaként a kísérletek megismétlését és kibővítését jelölöm ki. A mérési eredmények bővítését más kobalttartalmú szerszám vizsgálatával és széleskörűbb anyagok megmunkálásával. Itt egy olyan optimális vizsgálat lenne a cél,

ahol minél nagyobb kobalt tartalmú szerszámok vizsgálatát lehetne végrehajtani, különböző szerszámgeometriák esetén, melyben a technológiai paraméterek további változtatását eszközölném. Ezen kívül még a rádiuszos szerszámok vizsgálatára lennék kíváncsi, hogy az milyen mértékben befolyásolja a szerszámok kihajlását. További cél lenne a különböző anyagminőségű munkadarabok vizsgálata. Dolgozatom tapasztalataiból, arra következtetek, hogy kisebb-nagyobb eltéréseket lehetne felfedezni különböző munkadarabok megmunkálása során, továbbá a különböző kobalttartalmú szerszámok esetén eltérő lesz a kopásintenzitás.

A szakdolgozatom során elvégzett munkálatokról videókat készítettem melyek összegzését a következő linken lehet megtekinteni:

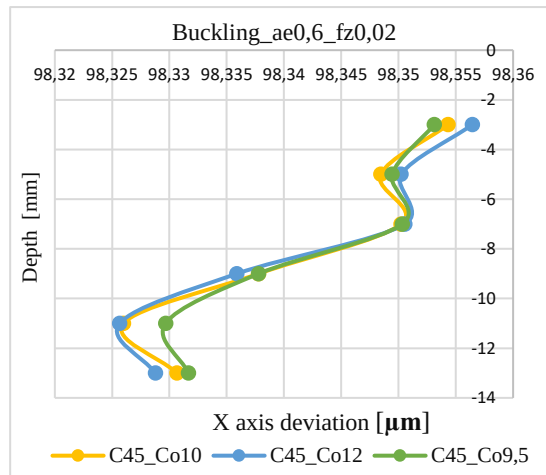
- https://youtu.be/d5WpvA_utd0

8.1 Summary

The purpose of my milling experiment was to study the effect of cobalt content on milling tools. What effect a single change in the tool's material has on the deflection of the tools and the powers arising during milling. I performed the experiments with three different tools with different cobalt content (Co 9,5%, Co 10 %, Co 12 %) on two different materials. (C45, 1.4301) The experiment was conducted with changing the technological parameters multiple times.

Summarizing the forces measured during milling, I found, that during processing of unalloyed structured steels, the tool with the least cobalt content has exerted the least forces, whilst milling corrosion resistant steels the tool containing the most cobalt has exerted the least force. This statement is true for normal direction forces (F_x) as well as axial cutting forces (F_y).

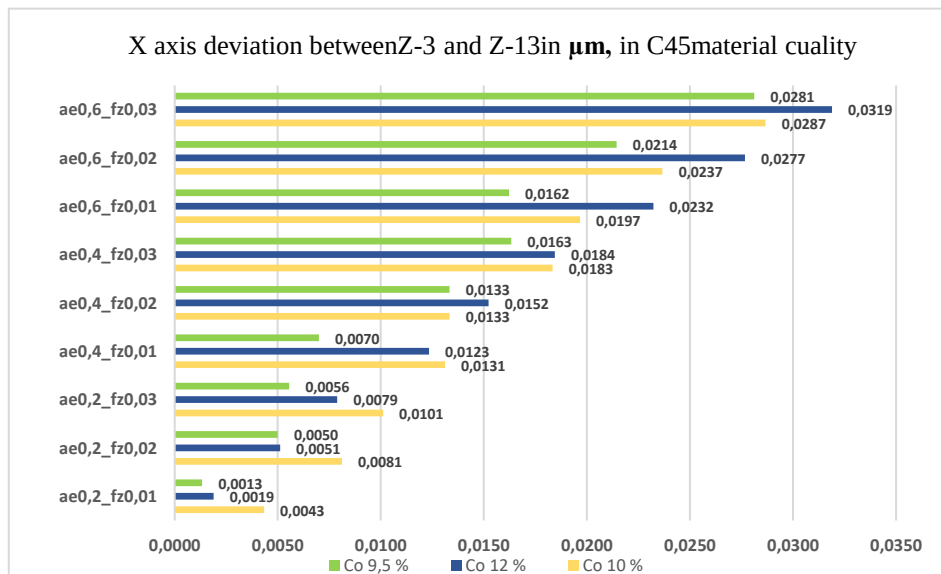
The main topic of my thesis was the investigation of the deflection of the tools, I was able to conclude that as a result of the experiment there were two local extreme values on the surface. I was able to measure the deflection of the tool on the surface of the specimen, as the worked surface is the mirror image of the shape of the tool. The measuring of the specimen's surface happened with a coordinate-measuring machine, that was able to measure the surface with a punctuality of half micron (μm). At the bottom of the milled surface we observe bigger deflection but nearing the top of the surface we see smaller deflection. We found „wavyness” on all surfaces, which is shown by illustration 62. I analyze the deformation results in sections 5.3.1 and 5.3.2 in detail.



62. ábra. X axis deviation

I applied multiple possible experiment methods to analyze the deflection results in my thesis, which I am summarizing in the followings.

The diagram in illustration 63. shows the X axis deviation of vertical directional points.

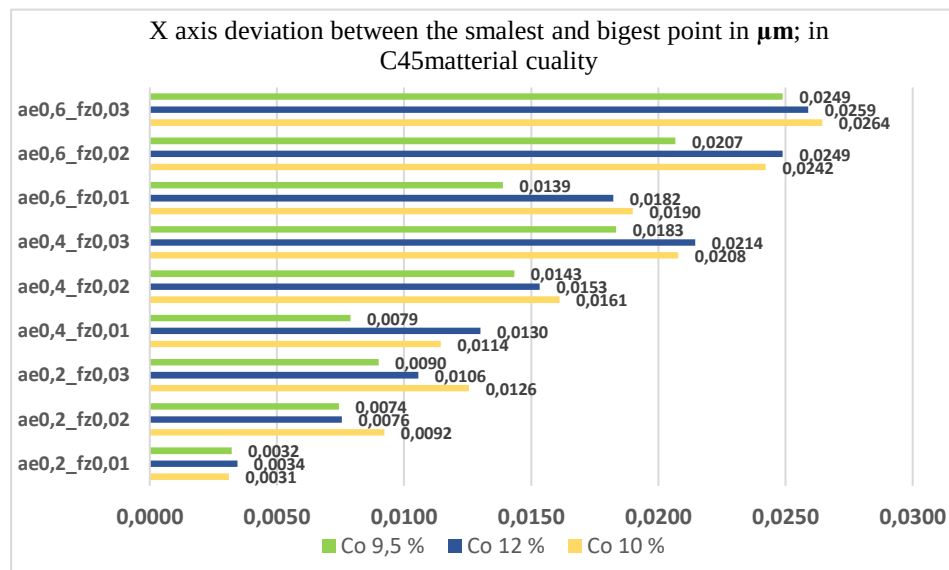


63. ábra. X axis deviation

It is visible on the diagram that the smallest deviation occurred during milling of the tool containing 9.5% cobalt. This demonstrates that the hardness of carbide tools depends on their cobalt content. Besides the cobalt content, the technology applied has

significant impact as well. The demonstration shows, that with increasing the technology parameters, the deviation between the points increases too.

The next diagram (illustration 64.) analyses the deviations between the biggest and smallest points.



64. ábra. X axis deviation

The tool containing 9.5% cobalt has proven to be the best, when using to parameters analyzed in the diagram, as the deviations have been the smallest with it. It is also visible on this diagram, that not only the structural composition but also the technology changes have a significant impact in milling.

At the end of my thesis I included a short business analysis to examine the price differences of stock tools. Based on the information the tool manufacturer has shared with me, I concluded that tools with 10% cobalt content are the cheapest and the prices of cobalt tools change compared to this.

My thesis has revealed that further insights could be drawn from repeating the experiments, extending the measurement results with the analysis of tools with different cobalt contents and the machining of a wider range of materials. The goal would be an optimal experiment to analyze tools with the highest difference in cobalt content, in the case of different tool geometries with further changes in the technology parameters. My primary interest would be to analyze corner radius tools and how they impact the deflection of the tool. Another goal could be to analyze specimens with different material

quality. I conclude from the experiences drawn from my thesis, that further smaller or bigger differences could be found by machining different specimens.

I made videos about the work done during my thesis, a summary of which can be viewed at the following link:

- https://youtu.be/d5WpvA_utd0

9. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet konzulensemnek Ráczai Viktor tanszéki mérnöknek, Nikitscher Tamás egyetemi gépműhely vezetőnek. Egyúttal köszönöm a Szerszám Technika Kft.-nek, hogy a vizsgálathoz felhasznált forgácsoló szerszámokat rendelkezésemre bocsátották, továbbá, hogy munkájukkal segítettek a dolgozatomhoz való felkészülésemre, és tapasztalataikkal, észrevételeikkel folyamatosan támogatták a dolgozatban való előmeneteletem.

10. Felhasznált irodalmak

[1] dr. Sipos Sándor, Bíró Szabolcs: Környezettudatos forgácsolás – green manufacturing 1. rész. Budapest

http://www.forgacsolaskutatas.hu/kornyezet/kornyeztudatos_forgacsolas_1

[2] Gyártási költségek eloszlása

„Minimum quantity lubrication for machining operations,” Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, 10117 Berlin Mittelstraße 51, 2010.

[3] Forgácsolóképeség

[Forgácsolóképeség - forgacsolaskutatas.hu](http://www.forgacsolaskutatas.hu)

[4] Volfram-karbid/kobalt bázisú keményfémek

<https://epitoanyag.org.hu/static/upload/10.14382epitoanyag-jsbcm.2007.1.pdf>

[5] Keményfémek szerkezete

<https://www.cnc.hu/2011/10/kemenyfemek-szerkezete-es-gazdasagossaga/>

[6] Kobalt diagrammok

[Keményfém \(perfor.hu\)](http://www.perfor.hu)

[7] Kopásmechanizmusok

<https://www.forgacsolaskutatas.hu/elmelet/kopasmechanizmus/>

[8] Szerszám alakváltozási hatása

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0890695505002142>

[9] C45 általános rendeltetésű ötvözetlen acél

<https://www.inoxservice.hu/upload/inline/adatlapok/kovacsolt-tombok/1.0503%20-%20ADATLAP.pdf>

[10] Munkadarabanyagok

<https://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/materials/pages/workpiece-materials.aspx>

[11] 1.4301 ausztenites rozsdamentes acél

<https://inoxservice.hu/upload/inline/adatlapok/kovacsolt-tombok/1.4301%20-%20ADATLAP.pdf>

[12] Szalagfűrész

<https://www.machineseeker.hu/bomar-stg+230+ganc/i-6794356>

[13] Erőmérő cella

<https://www.kistler.com/de/product/force/9257B/?C=it>

[14] Vickers keménységmérés

<http://www.sasovits.hu/anyag/kemenyseg/vickers/vickers.htm>

[15] Egyenirányú marás

<https://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/milling/pages/up-milling-vs-down-milling.aspx>

[16] Koordináta mérőgép

<https://www2.mitutoyo.co.jp/eng/support/service/catalog/01/E16013.pdf>

[17] Mikron

<https://autopro.hu/gyartosor/5-toplus-premium-patronos-tokmany/574901>

11. Melléklet

A mellékleteket egy Google drive mappába és egy CD- re tettem fel, a hosszú terjedelem végett.

A Google drive mappa a következő linken érhető el:

https://drive.google.com/drive/folders/1SPhu2JAxeRaAQYGI7XIYSAR2nJk84_j7?usp=share_link

A CD-t az utolsó oldalra fűztem be.

1. Melléklet: Kopásképek
2. Melléklet: Erőhatások lefutása
3. Melléklet: Koordináta mérőgép eredményei
4. Melléklet: Kihajlási diagrammok C45 anyagminőségben
5. Melléklet: Kihajlási diagrammok 1.4301 anyagminőségben
6. Melléklet: X irányú eltérés Z-3 mm és Z-13 mm között
7. Melléklet: X irányú eltérés a legtávolabbi pontok között