



ÓBUDAI EGYETEM

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

KORSZERŰ FÚRÓSZERSZÁMOK KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA NEHEZEN FORGÁCSOLHATÓ ANYAGOKON

Szerző: Zabari Tibor
gépészmérnök BSc. szak, III. évf.

Konzulensek: dr. Sipos Sándor
mestertanár

Szalóki István
műszaki ügyintéző

2014.

Tartalomjegyzék

	oldalszám
1 Bevezetés	1
2 Fúrószerszám innovációk alkalmazása a nehezen forgácsolható anyagok megmunkálhatóságának javítása céljából	2
2.1.1 Korszerű forgácsolószerszám élananyagok	2
2.1.2 Korszerű fúrószerszám élgeometriák	4
2.1.3 Szerszámkonstrukciós fejlesztések	7
2.2 Nehezen forgácsolható anyagok körének áttekintése	10
2.2.1 Az acélok tulajdonságai, forgácsolhatósága	10
2.2.2 Korrozíóálló acélok tulajdonságai, forgácsolhatósága	11
2.2.3 Egyéb nehezen forgácsolható anyagok	13
3 Vizsgálati rész	14
3.1 Vizsgálatoknál alkalmazott eszközök	14
3.1.1 Fúrószerszám	14
3.1.2 Szerszám gép	15
3.1.3 Mérőberendezés az előtolóerő és a nyomaték meghatározásához	15
3.1.4 Kamera	15
3.1.5 Sztereomikroszkóp	16
3.1.6 Próbatestek	16
3.1.7 Mérőgép a furatpontosság meghatározásához	16
3.2 Eredmények feldolgozása	17
3.2.1 Előtolóerők elemzése, modellalkotás az előtolóerők leírására	17
3.2.2 Nyomatékok elemzése, modellek a nyomatékok leírására	25
3.3 Furatok méretpontosságának elemzése	31
3.4 Forgácselemzés, forgácstabló	32
3.5 Élkopás elemzése	33

4 Összefoglalás, további célkitűzések	34
5 Irodalomjegyzék	37
6 Melléklet	40

1 Bevezetés

A nehezen forgácsolható anyagok megmunkálási nehézségeire a szerszámgyártó ipar különféle innovációkat dolgozott ki, melyekkel könnyebben forgácsolhatóvá váltak ezen anyagok. Az élgeometria fejlesztése az egyik ilyen irány, amivel javulást érhetünk el. Különböző anyagminőségek számára különböző élgeometriákat fejlesztettek ki a gyártók. A másik irány a szerszám anyagának fejlesztése, melynek révén nagyobb szilárdságú, esetleg ha szükséges rugalmasabb szerszámtestet nyerhetünk. A szerszám élének vékonyréteg bevonatolásával is jelentősen növelhetjük a szerszám forgácsolókéességét. A különböző konstrukció kialakítása is ide tartozik. Lehetnek a szerszámok monolit kivitelűek vagy lehetnek lapkásak. Továbbá lehetnek cserélhető betétfejesek vagy a szerszám merevségét növelhetjük a befogórész fejlesztésével. Napjainkban egyre nagyobb az igény a nehezen forgácsolható anyagok megmunkálására. A titánt a rossz hővezető képessége miatt nehéz megmunkálni, viszont előnyös tulajdonságai révén, mint például a nagy szilárdság és remek korrózióálló képessége miatt a repülőgépipar előszeretettel használja. Az edzett anyagok igen nagy keménységgel rendelkeznek, ezért ezen anyagok megmunkálása is nehézkes, de az ipari alkalmazása jelentős, a jó szilárdsági és kopásállósági tulajdonságai miatt. A HRSA anyagok forgácsolása is nagy nehézségekkel jár, de a jó korrózióállósága és nagy szilárdsága miatt - melyet magasabb hőmérsékleten is megtart - az olajipari és a repülőgép ipari felhasználása jelentős. A korrózióálló anyagok igen szívós tulajdonságuk miatt válnak nehezen forgácsolhatóvá, azonban az ipar számára egy fontos alapanyag. A kompozitok, melyekkel kombinálható több anyag előnyös tulajdonsága, napjainkra egyre inkább alkalmazott anyag. Megmunkálásuk új kihívást jelent a gyártók számára.

A dolgozat célja, hogy különböző technológiai paraméterek beállításával megvizsgáljuk a rendelkezésünkre bocsátott fúrófejeket különféle nehezen forgácsolható anyagokon. A mérési eredmények feldolgozásával kideríteni, melyik fúrófej mekkora előtolóerőt és nyomatékot igényel a megmunkálás során. Célunk továbbá a készített furatok pontosságának vizsgálata is. Az előtolóerőket és nyomatékokat különböző modellekkel próbáljuk leírni.

2 Fúrószerszám innovációk alkalmazása a nehezen forgácsolható anyagok megmunkálhatóságának javítása céljából

Szerszáminnováción a gyártók által végzett és bevezetett fejlesztéseket értjük, melyek a szerszámok élananyagára, élgeometriájára, konstrukciójára terjednek ki [1]. A szerszáminnovációk alkalmazásával javíthatjuk a nehezen forgácsolható anyagok megmunkálhatóságát. Nehezen forgácsolhatónak azt az anyagot tekintjük, melyek forgácsolása közben nagy forgácsolási erők és/vagy nyomatékok keletkeznek, a szerszám kopási folyamata gyors és a keletkező forgács alakja kedvezőtlen, a forgácsolással előállított felület minősége pedig nem megfelelő [12][29]. A továbbiakban ezen újítások részletesebb tárgyalása található.

2.1.1 Korszerű forgácsolószerszám élananyagok

A mai korszerű forgácsolószerszámok kemény és szuperkemény szerszámanyagokból készülnek, vagy az ezekből készült lapkákat, betéteket tartalmazzák. A kemény szerszámanyagokhoz tartoznak a keményfémek, a kerámiák és a cermetek.

A megfelelő kobalt/karbid arány beállításával határozhatjuk meg a keményfém szerszám tulajdonságait. Ha nagyobb szívóssággal rendelkező szerszámot szeretnénk, például nagyolási műveletekhez, akkor a kobalttartalmat kell növelnünk. Viszont ha azt szeretnénk, hogy a szerszám nagyobb keménységgel rendelkezzen, akkor a karbidtartalmat kell megnövelni. Szemcseméret csökkentésével a keménységet és a szívósságot is növelhetjük egyidejűleg. A keményfémek lehetnek bevonat nélküliek és bevonatoltak [2][3][4].

A bevonat nélküli porkohászati keményfémeket főként titánötvözetek, hőálló szuperötvözetek (HRSA) és edzett anyagok kis forgácsolósebességen történő megmunkálására alkalmazzák. Hátránya, hogy mivel nem rendelkezik bevonattal, ezért kopása intenzívebb [5].

A bevonatolás céljai: súrlódáscsökkentés, szerszám elszigetelése a hőtől és/vagy a munkadarabtól, kémiai reakciók elkerülése, adhézios hegedés csökkentése, kopási folyamat mérséklése, korróziós ellenállás növelése és a megjelenés javítása [2][3]. A korszerű fúrószerszámokat különféle bevonatokkal látják el. A vékonyréteg felvitele a szerszámra történhet fizikai rétegfelvitellel (PVD), kémiai rétegfelvitellel (CVD) vagy

kevert rétegfelvitellel (PCVD) [1]. A forgácsoló szerszámlapok 80-90%-a bevonatolt porkohászati keménymetálból van. Sikere azzal magyarázható, hogy egyidejűleg lehet szívós és kopásálló is, továbbá bonyolult geometriák is készíthetők belőle. A CVD (Chemical Vapor Deposition) bevonatot kémiai reakciók hozzák létre 700-1050 °C hőmérsékleten. Előnyei közé tartozik, hogy a bevonat jól tapad a porkohászati keménymetálhoz és jó a kopásállósága. Az első CVD bevonat a titán-karbid (TiC) volt, később fejlesztették ki az alumínium-oxid (Al_2O_3) és a titán-nitrid (TiN) bevonatokat. Legújabb fejlesztés a titán-karbonitrid (TiCN) bevonat. A modern CVD bevonatok már kombinálják az előbb említett bevonatokat. A PVD (Physical Vapor Deposition) bevonatot alacsony hőmérsékleten (<500 °C) hozzák létre. A folyamat lényege, hogy a fém elpárolog, majd reakcióba lép valamilyen gázzal (pl. nitrogén, argon) és így kemény nitrid bevonat jön létre a szerszám felületén. Nagy előnye, hogy erős kopásállóságot kölcsönöz a szerszámnak [6]. A korszerű bevonatokat ezek kombinálásával készítik, többrétegű bevonatot képezve a forgácsolóélen. Alkalmazásukkal akár háromszoros, ötszörös élettartamnövekedést érhetünk el.

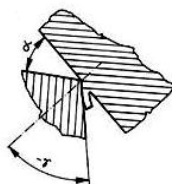
Terjedelmi okok miatt a többi élményt csak néhány mondat erejéig ismertetjük, de a megjelölt forrásokban további információk találhatóak róluk. A kerámia forgácsoló élmények három alcsoportra oszthatók: oxidkerámikák, nitridkerámikák és SIALON kerámikák [2][3][4]. A Cermet a Ceramic és Metal szavak kombinálásából jött létre [3][4]. Ez egy olyan anyag, ami porkohászati keménymetálból és titánalapú kemény részecskékből áll [2][8].

A szuperkemény forgácsolóanyagok körébe a gyémánt tartozik. Három változata van: a természetes gyémánt, a mesterséges gyémánt és a mesterséges köbös bórnitrid [3]. A természetes gyémánt ipari felhasználása rendkívül csekély, csupán ultraprecíziós megmunkálásoknál alkalmazzák. Ipari alkalmazásra fejlesztették ki mesterséges változatait, ezek keménysége megközelíti a természetes gyémántét, de jóval kevesebbe kerülnek [2]. A köbös tétrácsú bórnitrid (PCBN) gyakorlati jelentősége azért nagy, mert míg a természetes és mesterséges gyémánttal nem lehet fémet megmunkálni, a köbös bórnitriddel ez lehetővé vált [2][10].

Az említett anyagokból különböző geometriájú lapokat sajtolnak, melyeket különböző fúrószerszámokba fognak be.

2.1.2 Korszerű fúroszerszám élgeometriák

A fúroszerszám keresztéle forgácsolás szempontjából rendkívül hátrányos. Egyrészt, mivel a szerszám középpontja felé a forgácsolósebesség egyre csökken, másrészt a keresztél nem rendelkezik megfelelő kialakítással, mellyel kedvező forgácsolási körülmények között dolgozhatna, mivel nagy negatív homlokszöge van (2.1. ábra). A hagyományos élgeometriájú fúró keresztéle csak túrja, morzsolja a forgácsot. Az erőtan szempontjából is káros a keresztél, hiszen akár a forgácsolóerő 90%-át is elérheti az előtolóerő értéke a hagyományos élgeometriájú fúróknál [3][12].



2.1. ábra. Hagományos élgeometriájú csigafúró keresztélének metszeti képe [12]

A korszerű fúroszerszámoknak a gyártók igyekeznek a keresztél hosszát szinte a nullára csökkenteni (2.2. ábra). Az ilyen geometriájú fúrókat már többnyire hűtőfurattal látják el, és bevonatolják is őket [7].



2.2. ábra. Hagományos és korszerű fúró élgeometria [2][13]

A szerszámgyártó cégek különböző anyagminőségekhez különféle élgeometriákat fejlesztettek ki. Az Iscar által rendelkezésünkre bocsátott fúrófejek (melyekkel a vizsgálatokat végeztük) is különböző élgeometriával rendelkeznek. A képen látható geometria egy általános felhasználásra alkalmas geometria, mert többféle anyagminőség megmunkálására alkalmas (2.3. ábra). Készítenek belőle acél (ICP), öntöttvas (ICK), korrózióálló acél (ICM) és alumínium (ICN) forgácsolására alkalmas fúrófejeket is. Az acél és az öntöttvas megmunkálására fejlesztették ki a 2M (2 margin) geometriát. Ez a fúrófej rendelkezik plusz két forgácsolóéllal az oldalán, mellyel a furat dörzsarázását

végzi. Ezzel jobb furatpontosságot és magasabb felületminőséget érhetünk el (1.6 Ra). Az FCP fúrófej geometriáját ötvöztött acél vagy öntöttvas megmunkálásánál alkalmazhatjuk. E geometria különlegessége, hogy segítségével lapos fenekű furatokat készíthetünk, vagy akár egy süllyesztést is végrehajthatunk vele egy csavarfej számára. A HCP-IQ fúrófej ötvöztött acél vagy öntöttvas forgácsolására alkalmas. A fúrófej különlegessége, hogy ívelt forgácsolóéllel rendelkezik. Ennek köszönhetően jól megvezeti a fúrót, így akár központfurat készítése nélkül is elkezdhetjük a megmunkálást és a furat pontossága is jobb lesz. Ezzel időt takaríthatunk meg. Az ICF-2M-CFRP típusú fúrófej olyan élgeometriával rendelkezik, mellyel a titán megmunkálására alkalmassá válik [14].



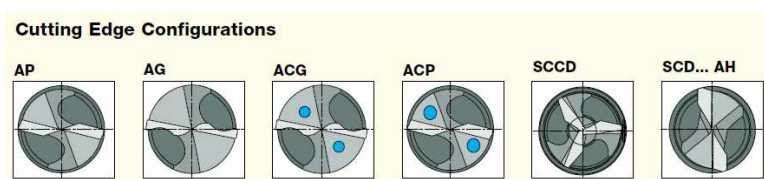
2.3. ábra. Különböző élgeometriával rendelkező fúrófejek [15]

Vannak olyan fúrószárok is, melyekbe fúrólapkák foghatók be. A következő gyártó által tervezett, gyártott lapkáknál is megfigyelhető a sokféle geometriai kialakítás (2.4. ábra). Terjedelmi okok miatt csak néhányat említünk. Általános célokra alkalmas a „T-A Original” típusú lapka élgeometriája. Nagy előtolásokhoz ajánlják, acél, öntvény, hőálló ötvözetek és alumínium ötvözetek megmunkálására használható. A „CR” lapka sarokrádiusszal rendelkezik. Ezzel a geometriával csökken a szerszámvégbeégés lehetősége, nő az éltartam. A lapka sarkainál jó hőelosztást, kiváló felületi érdességet ígér a gyártó. Szívós anyagok megmunkálásához ajánlják. Az „FB” lapka olyan élgeometriával rendelkezik, mellyel laposfenekű furatok kialakítása válik lehetővé. Az „AN” jelzésű lapka alumínium megmunkálására alkalmas élgeometriával rendelkezik [16].



2.4. ábra. Különböző élgeometriával rendelkező fúrólapkák [16]

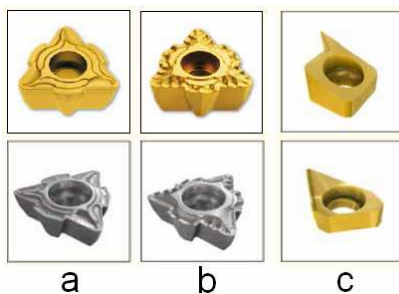
Monolit fúróknál is számtalan élgeometriát fejlesztettek ki, melyekkel különféle anyagminőség forgácsolható (2.5. ábra).



2.5. ábra. Különböző monolit fúró élgeometriák [17]

Kifejlesztettek olyan élgeometriákat is, melyekkel a még újdonságnak számító, kompozit anyagok megmunkálása is lehetővé válik. Ezekkel a szerszámokkal megelőzhető a szálkásodás, rojtosodás és a delamináció is csökkenthető. A jobbos-balos spirálszöggel rendelkező szerszámok kiegyensúlyozzák az axiális erőket, melynek köszönhetően javul a furat minősége. Továbbá léteznek műszaki műanyagok és kevlar fúrására kifejlesztett fúrók is [39].

A váltólapkás fúróba fogható lapkák is igen széleskörű élgeometriával rendelkeznek. Megfigyelhető, hogy a 2.6. b) ábrán a lapka hullámos forgácsolóéllal rendelkezik. Másik érdekesség a 2.6. c) ábrán látható, hogy élgeometriájuk a munkadarab alakjához lett kialakítva. Alkalmazásukkal a fúrással egyidőben az élettörés is elvégezhető. Készülnek 30-45-60°-os élettörés elkészítésére alkalmas változatok is [17].



2.6. ábra. Különböző élgeometriával rendelkező lapkák, váltólapkás fúrókhoz [17]

a) nagy előtolásokhoz, b) kis előtolásokhoz, c) élettöréshez

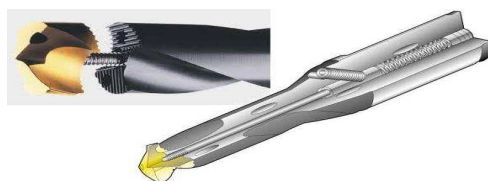
2.1.3 Szerszámkonstrukciós fejlesztések

A szerszámgyártók számtalan különféle fejlesztést hajtottak végre az elmúlt években. Ilyen például, hogy az egész szerszámot (monolit) azonos anyagból készítik (keményfém, kerámia). Másik konstrukciós lehetőség a cserebetétes fúró, mellyel a kísérleti vizsgálatokat hajtottuk végre. Eme konstrukciónak számtalan előnye van. Különböző anyagminőségekhez a megfelelő fúrófejet választhatjuk, olyan fejet, mely az éanyagában és az élgeometriájában is megfelelő az adott feladathoz. Elegendő egyetlen szár, melybe a különféle fúrófejeket befoghatjuk. A kopott fúrófej cseréje egyszerű és gyors, mivel a szerszámot nem kell kivenni a főorsóból, elegendő csak a fúrófejet kicserélnünk. A fúrófej alakkal záró, tehát nem kell csavarozni, ami nemcsak időmegtakarítás, de így nem áll fenn a veszélye annak, hogy csere közben a csavar elveszik a munkatérben. A csere a következő: a fúrófejet behelyezzük a szárba, majd a célszerszámot behelyezzük a fúrófejen található hornyokba és a célszerszámmal a fejet 90°-kal elfordítjuk (2.7. ábra) [14][17].



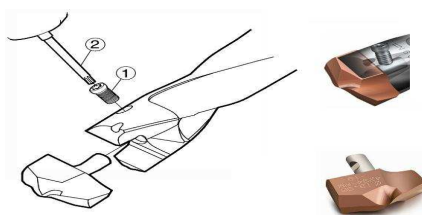
2.7. ábra. Cserebetétes fúró, fúrófejek, fúrófej csere [17]

Egy másik szerszámgyártó más megoldást fejlesztett ki fúrófejeinek befogására (2.8. ábra). A fúrófej közepén egy menetes furat található, a csatlakozórésze pedig barázdált. A fúrószárban egy menetes szár található, melyet egy csavar segítségével tengelyirányban mozgathatunk. A fúrófej központosítását a fúrószáron, a barázdált felület hozza létre. Ehhez a szerszámhoz is különféle élananyagú és élgeometriájú fejek kaphatók. A fúrófej cseréje összetettebb, mint az előbb bemutatott konstrukcióé [18].



2.8. ábra. Cserebetétes fúró kialakítása [19]

A következő konstrukció szintén más oldalról közelíti meg a fúróhegy rögzítését (2.9. ábra). A fúróhegyen egy csap található, a csapon pedig egy lapolás. A fúrószárban itt is található egy csavar, de itt más a szerepe. A fúróhegyet úgy cserélhetjük ki, hogy a hegyet behelyezzük a fúrószárba, a hegyet befelé toljuk, miközben a csavarral rögzítjük a fúróhegyet a fúrószárban. A fúróhegy központosítását a csap teszi lehetővé, pontos axiális elhelyezkedését pedig a csavar biztosítja [20].



2.9. ábra. Cserebetétes fúró kialakítása, fúróhegy csere [21][22][23]

A következő konstrukció a legegyszerűbb az eddig bemutatott kialakítások közül (2.10. ábra). A cserénél a fúróhegyet behelyezzük a fúrószárba és a csavarokat betekerjük. A fúróhegy pontos elhelyezkedését a fúrószárban a hegy alján található felület geometriája hozza létre. Ennek a kialakításnak az a nagy hátránya, hogy a két csavart teljesen ki kell tekerni a fúróhegy cseréjénél [24].



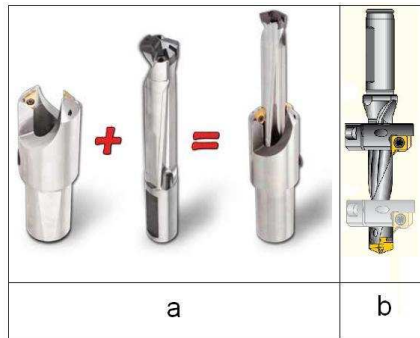
2.10. ábra. Cserebetétes fúró, betét csere [25][26]

A lapkás rövidfúró számos előnnyel rendelkező szerszámkonstrukció (2.11. ábra). Nagyon sokféle élgeometriájú, élananyagú és bevonatú lapka rögzíthető beléjük. A központi és a kerületi lapka geometriája, anyaga, bevonata eltérő lehet. Merev felépítésű, ferde síkon végzett fúrást is elvisel, sülyesztőmarás is végezhető velük. Álló fúróval akár még kontúresztergálást is végrehajthatunk. Az előzőekben bemutatott fúrókialakításokhoz képest a lapkás rövidfúró másik előnye, hogy a lapkák több forgácsolóéllel rendelkeznek. Nem kell eldobni a kopott élű lapkát, mert több éllel rendelkeznek. Hátránya lehet a csavaros lapkaszorítás, mely megnehezíti a lapkacserét [7][27].



2.11. ábra. Lapkás rövidfúró [27]

A következő konstrukciók segítségével, egy szerszámmal hajthatjuk végre a fúrást és a furat élettörését is (2.12. ábra). A 2.12. a) ábrán láthatjuk a hüvelyszerű szerszámot, melybe belecsúsztatható a fúrószerszám. A 2.12 b) ábrán egy gyűrű alakú élettörő szerszám helyezhető a fúrószárra. Létezik olyan fúrószerszám is, mely a fúrófejet és a fúrólapkákat kombinálja (M.6.1. ábra.) [17]. A számtalan szerszám innovációnak köszönhetően a fúrás akár befejező művelet is lehet, de sokszor mégsem elegendő a megfelelő szerszám élgeometria, bevonat, konstrukció alkalmazása a kedvező forgácsolási körülmények megteremtéséhez [28].



2.12. ábra. Különböző fúrókialakítások furat életörés elkészítéséhez:

a) hüvelyes, b) gyűrűs [17]

2.2 Nehezen forgácsolható anyagok körének áttekintése

A továbbiakban a kísérleteknél alkalmazott anyagok tulajdonságairól és megmunkálhatóságukról lesz szó (kivéve a korrózióálló acélt, melyet a szakdolgozat keretein belül vizsgálunk).

2.2.1 Az acélok tulajdonságai, forgácsolhatósága

Az acélok forgácsolhatóságát az anyag széntartalma döntően meghatározza. Ha magas az anyag széntartalma, akkor növekszik a szilárdság és a keménység (mellyel jobb felületminőséget állíthatunk elő), de romlik az anyag forgácsolhatósága, mivel így intenzívebb a szerszám élének kopása. Ha kicsi az anyag széntartalma, akkor az elkezd kenődni, és így nem lehet jó felületi minőséget előállítani [12][29].

Az alacsony széntartalmú ötvöztelen acélok forgácsolása azért nehézkes, mert ezek az anyagok könnyen kenődnek és élrátét keletkezhet. Megmunkálásuk mégis szükséges, hiszen például a hegesztéshez használt acélok alacsony széntartalmúak [29]. Továbbá számtalan más felhasználási területe van. A kenődést csökkenthetjük éles élek, emelt forgácsoló sebességek és pozitív homlokfelület alkalmazásával. A megfelelő vékonyréteg bevonatolással is csökkenthető a tapadás [30].

Az acélok forgácsolhatóságát a széntartalmon kívül különböző ötvözőelemekkel is befolyásolhatjuk. Például az ötvözők hatása a forgácsolhatóságra a következő:

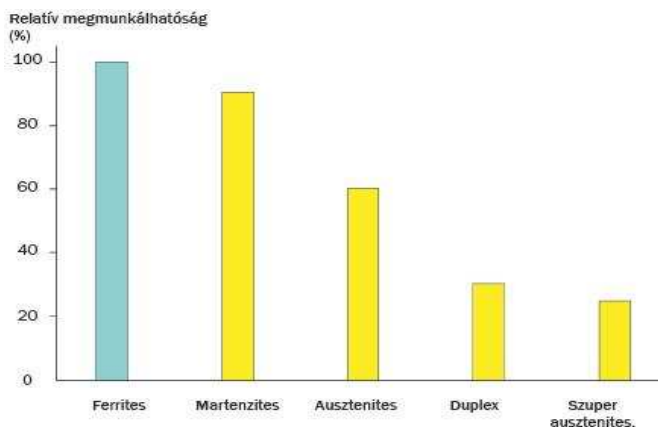
- szén - nagy mennyiségben növeli a forgácsolóerőt és az élkopást,
- vanádium, nikkel, titán, alumínium - rontja a forgácsolhatóságot, növeli az élkopást,
- szilícium - növeli a forgácsolóerőt és az élkopást, rontja a forgácsolhatóságot,

- molibdén, volfrám - rontja a forgácsolhatóságot,
- mangán - rontja az átlagos felületi érdesség értékét és a forgácsolhatóságot 1% felett, 1% alatt viszont javítja azokat,
- nitrogén, oxigén - növeli az élkopást és rontja a forgácsolhatóságot,
- foszfor és a kén - csökkenti a forgácsolóerőt, javítja az átlagos felületi érdességet és a forgácsolhatóságot,
- króm, kobalt, réz - növeli a kopást, rontja az átlagos felületi érdességet és a forgácsolhatóságot,
- ólom, tellúr, szelén, bizmut, antimon, kalcium - csökkenti a forgácsolóerőt és a kopást, javítja az átlagos felületi érdességet és a forgácsolhatóságot [7].

Az erősen ötvözött acélok forgácsolhatóságát meghatározza az anyagban lévő ötvözők mennyisége és az anyag keménysége. Az ötvöző tartalom és a keménység növelése rontja a forgácsolóképességet. Ilyenkor a szerszám élének el kell viselnie a magas hőmérsékletet és a képlékeny alakváltozást is [30].

2.2.2 Korrózióálló acélok tulajdonságai, forgácsolhatósága

Ezek az acélok krómmal és nikkellel erősen ötvözöttek. Forgácsolhatóságuk a bennük lévő ferrit, martenzit és ausztenit mennyiségének függvénye. A különböző változatok relatív megmunkálhatóságát a 2.13. ábra mutatja. Az ausztenites acélok nagy szívósságú és nagy nyúlású anyagok. Gyakori probléma a szerszám élére történő anyag feltapadása. Az anyag hővezető képessége kicsi, ezért nagy hőterhelés éri a szerszám élet, minek következtében csökken az éltartam. A forgácskezelés is az ausztenites acélnál a legnehezebb [12][29][31][32].



2.13. ábra. Korrózióálló anyagok relatív megmunkálhatósága [31]

A legtöbb korrózióálló acél felkeményedik forgácsolás közben, s így az eredeti anyag keménységének a kétszeresét is elérheti a felkeményedett felületi réteg keménysége, ha nem a megfelelő forgácsoló szerszámot alkalmazzuk. Éles szerszám használatával javíthatjuk a forgácsolhatóságot. Fúrásnál belső hűtés alkalmazása ajánlott, hogy csökkentsük a felkeményedés lehetőségét. A szerszám élének bevonatolásával csökkenthetjük az élrátét keletkezésének lehetőségét. Növelt előtolás mellett kedvezőbb a forgácsképződés és a nagyobb mennyiségű forgáccsal több hő tud eltávozni. Fontos, hogy egy munkadarab sorozatot csökkentett forgácsoló sebességgel kezdjünk el, mert egy sorozaton belül a forgácsolhatóság nagymértékben szóródhat [33].

Az ausztenites korrózióálló acél általános összetétele: 18% króm és 8% nikkel [29]. Nagyobb korrózióállóság érhető el 2-3% molibdén hozzáadásával [32]. A szuper-ausztenites korrózióálló acélok 20% feletti nikkel tartalommal rendelkeznek. Jó korrózióálló képessége miatt főként a gyógyszeriparban, a vegyiparban és repülőgépiparban alkalmazzák. Megmunkálásuknál kemény felületű rétegek és forgácsok keletkeznek. Ez berepedéses kopást okozhat a szerszámon. Éles, pozitív homloklapú szerszám alkalmazása előnyös. A felkeményedés az élen lévő bevonat leválását okozhatja. Adhézió és élrátét alakulhat ki. Nehezen törhető, hosszú, szívós forgács keletkezik. Kén hozzáadásával javíthatjuk a forgácsolhatóságot, de ezzel csökkentjük az anyag korrózióállóságát.

Ha a korrózióálló acél ferritet és ausztenitet is tartalmaz, duplex korrózióálló acélnak nevezzük. Nagy szakítószilárdsággal és jó korrózióálló képességgel rendelkeznek. Jobb korrózióállósággal és nagyobb ötvözőanyag tartalommal rendelkeznek az úgynevezett hiper-duplex és szuper-duplex anyagok. Ipari felhasználása nagyon széleskörű. Ott alkalmazzák elsősorban, ahol erős savaknak és klórnak kell ellenállni. Mint az ábrán is látható, a relatív megmunkálhatósága igen alacsony (2.13. ábra). Fontos a munkadarab és a szerszám merev befogása, mivel szívós, erős forgács keletkezik a megmunkálás közben, nagy forgácsolóerők ébrednek. Nagy hő keletkezik forgácsolás közben, ami rossz hatással van a szerszám élére. A szívós forgács kráteres kopást okoz [31][32].

2.2.3 Egyéb nehezen forgácsolható anyagok

A kísérletben alkalmazott anyagokon kívül még számos olyan anyagminőség létezik, melyek forgácsolása nehézkes. Terjedelmi okokból azonban csak néhány mondat erejéig említjük meg őket, de a megjelölt forrásokban további információk találhatóak róluk. Az öntöttvas az ötvözetlen acélnál nehezebben munkálható meg. Ez a következőkkel magyarázható: jelentős mennyiségben előforduló abrazív cementit, karbid, homokzárványok és a rossz hővezető képesség. A tiszta alumínium forgácsolása nehéz feladat. Mindez a nagy képlékenységi tulajdonságának és bizonyos ötvözők (Ti, Ni) jelenlétének köszönhető. Ezen ötvözők rossz hővezetési és felkeményedési jellemzőiknek köszönhetően koptatják a szerszám életét. A hőálló szuperötvözetek jellemzője, hogy szilárdságukat és keménységüket magasabb hőmérsékleten is képesek megtartani és a korrózióálló képességük is jó. Az edzett anyagok is ide tartoznak, melyek keménysége 45-68 HRc közé tehető. A kompozit anyagok, melyeket minimum kettő önmagában egyneműnek tekinthető anyag egyesítésével hozunk létre, annak céljából, hogy előnyös tulajdonságaikat kombináljuk [7][12][29][32][34][35][36][37][38][39]. Részletesebb információk az imént felsorolt forrásokban találhatók.

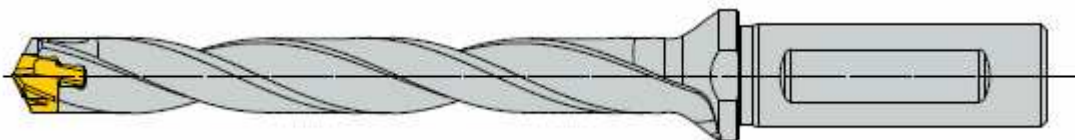
3 Vizsgálati rész

Vizsgálatunk célja, hogy a rendelkezésünkre bocsátott szerszámokat különféle szempontok alapján összehasonlítsuk. A vizsgálat során mérőberendezés segítségével mértük az előtolóerőt és a nyomatékot. Mindegyik furat elkészítése után forgácsot gyűjtöttünk, melyből forgácstablót készítettünk. A szerszám élgeometriájáról képeket készítettünk, hogy az esetleges kopási, sérülési jelenségeket nyomon követhessük. A fúrások folyamatáról kamerafelvételeket készítettünk. Megmértük a furatok méretpontosságát.

3.1 Vizsgálatoknál alkalmazott eszközök

3.1.1 Fúrószerszám

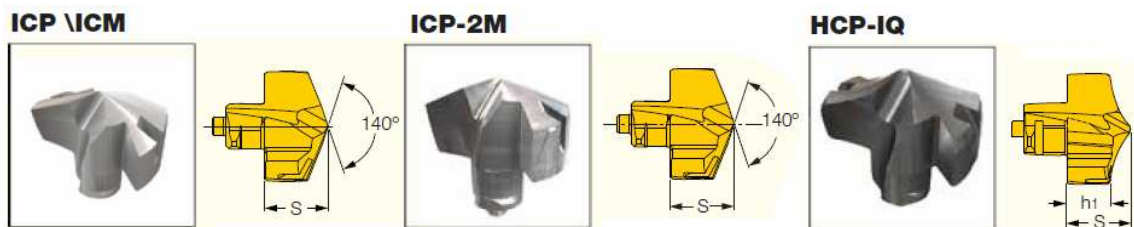
A vizsgálatokhoz a Sumocham DCN 140-112-16A-8D megnevezésű fúrót alkalmaztuk, melyet az Iscar Hungary Kft. biztosított számunkra (3.1. ábra). A fúró többféle cserélhető betétfejjel alkalmazható és belső hűtőcsatornával rendelkezik. A fúró Ø14 mm-es furatok elkészítésére alkalmas és maximum 112 mm (8D) mélységű furatok készíthetők vele. A fúró Ø16 mm-es befogórészsel készült, melyet lelapoltak.



3.1. ábra. Sumocham DCN 140-112-16A-8D jelzésű fúró

A fúrószerszám mellé négy különböző fúrófejet kaptunk (3.2. ábra). Az ICP 140 IC 908 megnevezésű fúrófej acél anyagok fúrására alkalmas. Az ICM 140 IC 908 megnevezésű fúrófej korrózióálló acél forgácsolására lett kifejlesztve. Az ICP 140-2M IC 908 típusú fúrófej szintén acél megmunkálására alkalmazható, de a „2M” jelölés arra utal, hogy a fúrófej plusz két éllel rendelkezik. Ez a két plusz él a furat dörzsárazását végzi a fúrással egyidejűleg, ezáltal jobb felületű furatokat készítve. A HCP 140-IQ IC 908 jelölésű fúrófej egy speciális élgeometriával rendelkezik. Éle ívelt, ennek köszönhetően jól megvezeti a fúrót. Ennél a típusnál elhagyható a központfúrás, amivel értékes időt

takaríthatunk meg. Mindegyik fúrófej TiAlN bevonattal van ellátva, melyet az „IC908” jelölés mutat. Két horony található minden fúrófejen, melyekbe a célszerszámot behelyezve, egy 90°-os forgatással a fejek rögzíthetők a fúrószárba.



3.2. ábra. A vizsgálatok során alkalmazott fúrófejek

3.1.2 Szerszámgép

A vizsgálatoknál a Mazak VCN 410 A típusú függőleges megmunkáló központot alkalmaztuk. Maximális fordulatszáma 12000 1/min. Gyorsjárat sebessége 36000 mm/min, előtolási sebességtartománya 1-8000 mm/min. A gép Mazatrol Matrix vezérlővel rendelkezik. Teljesítménye: 12 kW. Hűtőfolyadék szivattyú nyomása: 8 bár.

3.1.3 Mérőberendezés az előtolóerő és a nyomaték meghatározásához

Forgácsolás közben a fellépő erők és nyomatékok mérésére a Kistler 9257 A megnevezésű forgó erő- és nyomatékmérő berendezést alkalmaztuk. Az adatok gyűjtésére és kiértékelésére a Dynoware szoftvert használtuk. A mérőberendezés axiális irányban maximum 20000 N terhelést és maximum 200 Nm értékű nyomatékot képes elviselni.

3.1.4 Kamera

A képek készítésére és a fúrási folyamatok rögzítésére a SONY DCR-SR290 megnevezésű kamerát használtuk. Segítségével készítettük el a forgácstablóhoz szükséges képeket. A kamera rendelkezik beépített mikrofonnal és hangszóróval is, így a fúrás közbeni hangjelenségeket is rögzíteni tudtuk.

3.1.5 Sztereomikroszkóp

A szerszámok élének épségét, esetleges kopási jelenségek nyomait a HiTec GmbH WMS 3D típusú sztereomikroszkóppal ellenőriztük és rögzítettük. A mikroszkóp 7-45× nagyításban tudja a képeket elkészíteni.

3.1.6 Próbatetek

A vizsgálatokat két különböző anyagminőségű próbateten hajtottuk végre. Az egyik magas széntartalmú acél (C60), a másik egy ötvözött acél (40CrMnMo7). A próbatetek vegyi összetételét és keménységét a 3.1. táblázat tartalmazza.

3.1. táblázat. Próbatetek vegyi összetétele, keménysége

Vegyi összetétel (tömegszázalék)	Anyagminőség jele	
	C60	40CrMnMo7
C	0,61	0,4
Si	0,35	0,2
Mn	0,7	1,31
P	0,03	-
S	0,03	-
Cr	0,29	1,68
Mo	0,08	0,14
Ni	0,35	0,44
Cr+Mo+Ni	0,63	-
Cu	-	0,16
Al	-	0,08
Ti	-	0,005
Nb	-	0,006
Co	-	0,04
W	-	0,01
N	-	-
V	-	0,02
Keménység (HB)	220	300

3.1.7 Mérőgép a furatpontosság meghatározásához

A furatok méretpontosságának meghatározására a Mitutoyo BX 303 típusú 3D mérőgépet használtuk. Méréstartománya: x tengelyen 325 mm, y tengelyen 300 mm, z tengelyen 250 mm. Felbontása: 0,0001 mm.

3.2 Eredmények feldolgozása

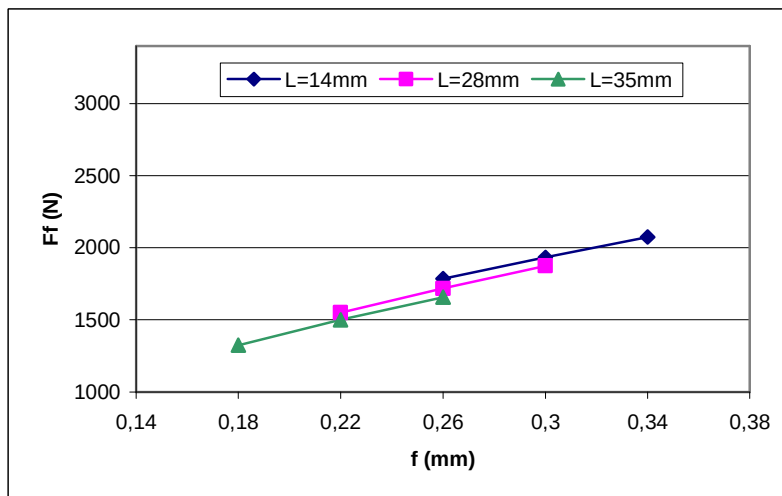
A próbatestekbe 36 furatot fúrtunk, szerszámonként kilencet. A vizsgálat folyamán az előtolás értékeket (5 szinten) és a fúrési mélységeket (3 szinten) változtattuk (3.2. táblázat). A technológiai paraméterek meghatározásakor figyelembe vettük a gyártó ajánlását (M.6.3. ábra), illetve azt, hogy később a kapott eredményekből kísérleti modelleket állíthassunk elő. A forgácsolási adatok variálásával lehetővé vált, hogy megvizsgálhassuk, hogy az előtolás és fúrési mélység hogyan befolyásolja az előtoló erő és a nyomaték értékét.

3.2. táblázat. Alkalmazott technológiai paraméterek

Technológiai paraméterek	Anyagminőség jele	
	C60	40CrMnMo7
Előtolás- f (mm)	0,18/ 0,22/ 0,26/ 0,3/ 0,34	0,16/ 0,2/ 0,24/ 0,28/ 0,32
Fúrési mélység- L (mm)	14/ 28/ 35	14/ 21/ 28

3.2.1 Előtolóerők elemzése, modellalkotás az előtolóerők leírására

A 3.3. ábrán az előtolóerők alakulását láthatjuk az előtolás függvényében az ICM 140 IC 908 jelzésű fúrófejnél. A diagramon látható, hogy az előtolás növelésével növekszik az előtolóerők értéke. A diagramból az is kivehető, hogy a fúrési mélységnek nincs nagy hatása az előtolóerők alakulására.



3.3. ábra. Előtolóerők alakulása az előtolás függvényében, az ICM 140 IC 908 megnevezésű fúrófejnél, anyag: C60

A 40CrMnMo7 anyagú próbatest fúrásakor az előtolóerő értékek minden beállításnál alacsonyabb értékűek lettek, annak ellenére, hogy a C60-as próbatestnél nagyobb keménységgel rendelkezik (+80 HB). A fúrási mélység itt sem szignifikáns.

Annak céljára, hogy tetszőleges előtolásnál és furatmélységnél is meghatározhassuk az előtolóerők értékét (a vizsgált értéktartományokon belül), kétfaktoros függvényregressziót hajtottunk végre. A függvényregressziót a dr. Sipos Sándor által készített programmal végeztük el. Az adatsorra a következő hatványmodellt próbáltuk illeszteni: $Z = A \times x^B \times y^C$, melyet feladatunknak megfelelően a következőképpen alakítottunk át:

$$F_f = A \times f^B \times l^C \quad [N], \sigma = 140^\circ \text{ és } d = 14 \text{ mm esetén}$$

ahol: F_f - előtolóerő (N),

A – erőállandó,

f - előtolás (mm),

l - fúrási mélység (mm),

B - előtolás kitevője,

C - fúrási mélység kitevője.

3.3. táblázat. A függvényregresszió eredményei, anyag: C60

Fúrófej	A	B	C	Szórás [N]	Szorosság	Korreláció
ICM 140 IC908	4839	0,6	-0,06	± 16	0,995	0,997

A 3.3. táblázatból látható, hogy a függvény korrelációja magas és a szorossága is egyhez közeli. A „C” kitevő értéke nem szignifikáns, tehát a fúrási mélység nincs nagy hatással az előtolóerő értékére, ahogy az a 3.3. ábrán is látható. A szórás értékek miatt, azonban ha visszahelyettesítünk a képletbe, akkor a mért és a számított értékek között lesz némi eltérés.

A 40CrMnMo7 anyagú próbatest előtolásértékein elvégzett függvényregresszió értékeinél az „A” konstans (5077), a „B” kitevő (0,82) és a „C” kitevő (0,01) értékei magasabbak a C60-as próbatest értékeihez képest. A szórás (29) értéke kissé nőtt, a

szorosság (0,987) és a korreláció (0,993) értékek kissé csökkentek. A „C” kitevő értéke alacsony, tehát a fúrási mélység itt sincs jelentős hatással az előtolóerő értékekre.

Az előtolóerő értékein egyfaktoros függvényregressziót is végrehajtottunk, hogy meghatározhassuk a fajlagos előtolóerőt (k_f), illetve a hozzátartozó kitevőt (q_f). Mivel a C60-as próbatestnél csak az ICM 140 IC 908 jelű fúrófejnél nincs nagy hatással a fúrási mélység az előtolóerő értékekre (de a többi fejnél igen), ezért csak ennél hajtottuk végre az egyfaktoros függvényregressziót. A mérési pontokra a $Y = A \times x^B$ típusú hatványmodellt illesztettük, a következő átalakítással:

$$F_f = k_f^* \times f^{q_f} \quad [N], \sigma = 140^\circ \text{ és } d = 14 \text{ mm esetén}$$

ahol: F_f - előtolóerő (N),

k_f^* - fajlagos előtolóerő (N/mm²),

f - előtolás (mm),

q_f - előtolás kitevő.

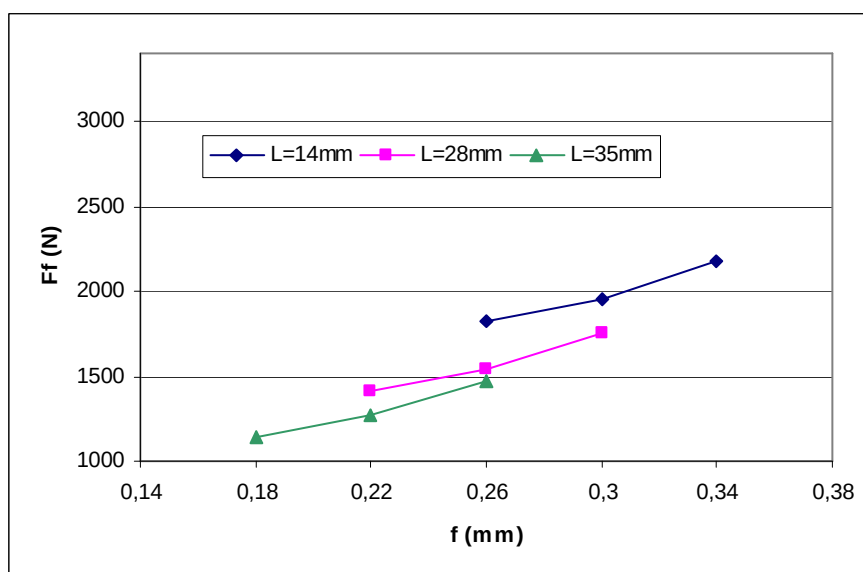
A 3.4. táblázat tartalmazza az ICM 140 IC 908 jelzésű fúrófej előtolás értékein végrehajtott függvényregresszió eredményeit. A korreláció értéke egyhez közeli.

3.4. táblázat. A függvényregresszió eredményei, anyag: C60

Fúrófej	k_f^* (N/mm ²)	q_f	Szórás [N]	Korreláció
ICM 140 IC 908	4462	0,7	± 37	0,988

A 40CrMnMo7 anyagú próbatest eredményeivel végrehajtott egyfaktoros függvényregresszió k_f (5135 N/mm²) és q_f (0,81) értékei nagyobbak. Ez a nagyobb keménységgel magyarázható. A szórás (29) értéke csökkent, a korreláció (0,994) értéke nőtt a C60-as próbatesthez képest.

A 3.4. ábrán az ICP 140 IC 908 jelzésű fúrófej diagramja található. Itt is látható, hogy az előtolás növelésével egyidejűleg az előtolóerők értéke is növekszik. Ennél a fúrófejnél viszont már az előtolóerők értékeire nagyobb hatással van a fúrési mélység, mint az előző fúrófejnél (ICM 140 IC 908). Az értékek nagyobb szórást mutatnak, itt már nem látható a rendezett, egyenletes értéknövekedés.



3.4. ábra. Előtolóerők alakulása az előtolás függvényében, az ICP 140 IC 908 megnevezésű fúrófejnél, anyag: C60

A 40CrMnMo7 anyagú próbatestnél az első három esetben kisebbek az előtolóerők értékei, de a többi beállításnál nagyobbak. A diagram pontjai kisebb szórást és nagyobb szorosságot mutatnak. A fúrési mélység eme anyag fúrásakor nem szignifikáns.

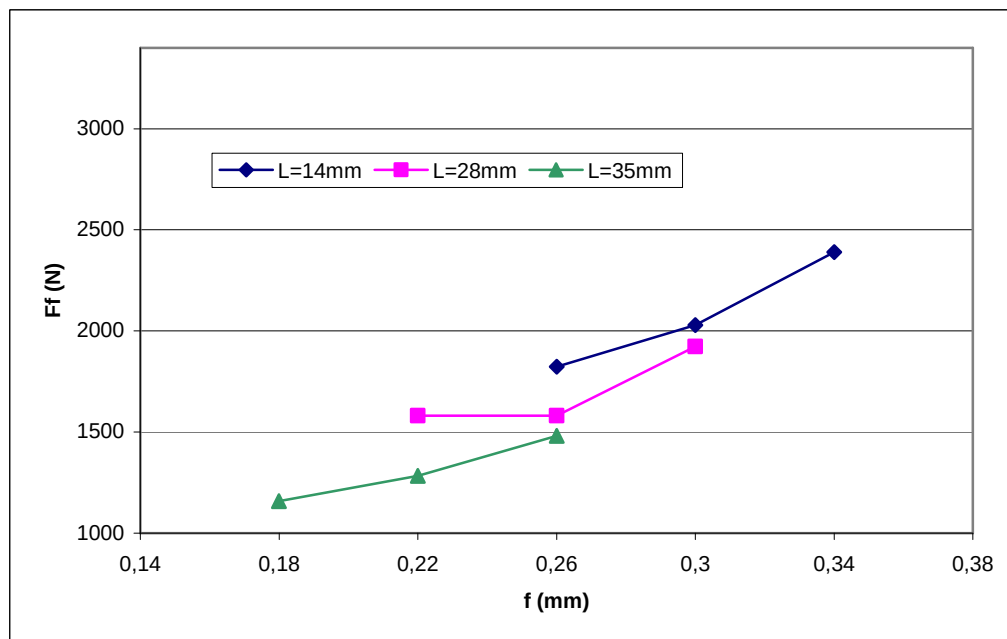
A 3.5. táblázatban láthatóak a kétfaktoros függvényregresszió eredményei. Látható, hogy a korreláció és a szorosság értéke is igen magas. A „C” kitevő értéke itt már nagyobb jelentőséggel bír, vagyis ennél a fúrófejnél a fúrési mélység hatással van az előtolóerő értékére.

3.5. táblázat. A függvényregresszió eredményei, anyag: C60

Fúrófej	A	B	C	Szórás [N]	Szorosság	Korreláció
ICP 140 IC908	8285	0,7	-0,2	± 29	0,992	0,996

A 40CrMnMo7 anyagú próbatest előtolóerő értékeivel végzett függvényregresszió eredményeinél az „A” konstans (3205) értéke sokkal kisebb, a „B” kitevő (0,61) értéke is alacsonyabb, de a „C” kitevő (0,07) értéke magasabb. A „C” kitevő értékéből látható, hogy a fúrási mélység itt nincs nagy hatással az előtolóerő értékekre. A szórás (19), a szorosság (0,988) és a korreláció (0,994) értékei csökkentek a C60-as próbatesthez képest.

A 3.5. ábrán az ICP 140-2M IC 908 jelű fúrófej diagramja látható. Ennél is az eddigiekhez hasonlóan az előtolás növelésével megnövekednek az előtolóerők értékei. Ennél a fúrófejnél is inkább az értékek rendezetlen elhelyezkedése látható, mint az ICP 140 IC 908-as fúrófejnél. Ennek oka az is lehet, hogy ez a fúrófej megegyezik az előző fúrófej (ICP 140 IC 908) élgeometriájával, azzal a különbséggel, hogy rendelkezik plusz két forgácsolóéllal az oldalán. Ezek az élek a furat dörzsárazását végzik, a jobb felületminőség előállítása érdekében. A plusz két él erőnövekedést okoz, amit a megnövekedett súrlódás okozhat.



3.5. ábra. Előtolóerők alakulása az előtolás függvényében, az ICP 140-2M IC 908 megnevezésű fúrófejnél, anyag: C60

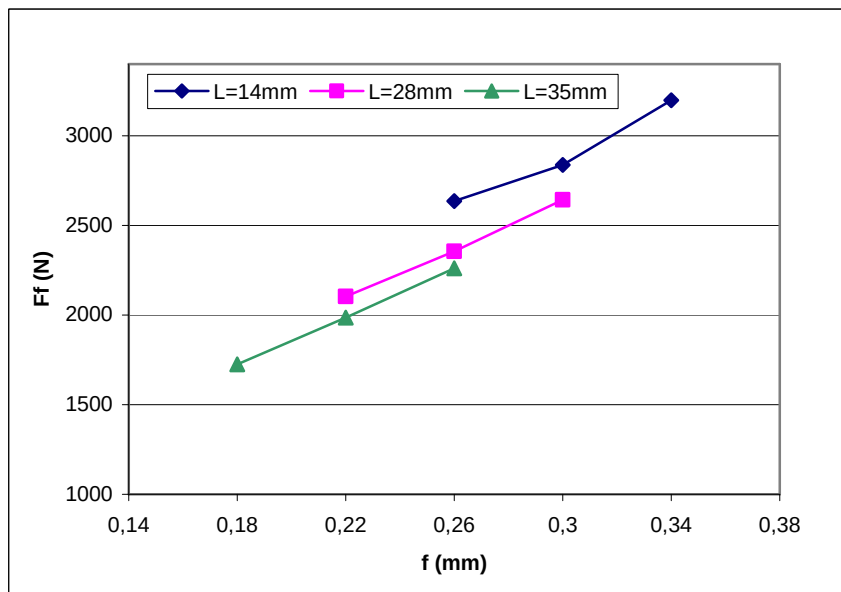
A 40CrMnMo7 anyagú próbatestnél az előtolóerő értékek öt beállításnál csökkentek, négy beállításnál pedig nőttek. A diagramján lévő mérési pontok rendezetten, szinte egy egyenesre illeszkedve helyezkednek el.

3.6. táblázat. A függvényregresszió eredményei, anyag: C60

Fúrófej	A	B	C	Szórás [N]	Szorosság	Korreláció
ICP 140-2M IC908	9516	0,8	-0,2	± 86	0,95	0,97

A 3.6. táblázatban az ICP 140-2M IC 908 jelzésű fúrófej előtolóerő értékein végrehajtott kétfaktoros függvényregresszió eredményei láthatók. A korreláció és a szorosság értéke is magas, értékeik megközelítik az egyet. A „C” értéke itt is szignifikáns, ahogy a 3.5. ábrán is látható, hogy a fúrési mélység befolyásolja az előtolóerő értékét. A 40CrMnMo7 anyagú próbatest előtolóerő értékeivel végzett függvényregresszió értékeinél az „A” konstans (3649) értéke sokkal alacsonyabb, ez magyarázható azzal, hogy ez a próbatest nagyobb keménységgel, kisebb szívósággal rendelkezik. A „B” kitevő (0,61) értéke megegyezik, a „C” kitevőé (0,05) magasabb. A fúrési mélység nincs nagy hatással az előtolóerő értékekre, mivel a „C” kitevő nem szignifikáns. A szórás értéke (12) jóval alacsonyabb, a szorosság (0,996) és korreláció (0,998) értékei növekedtek.

A 3.6. ábrán található a HCP 140-IQ IC 908 megnevezésű fúrófej előtolóerő diagramja. Látható, hogy az eddigi előtolóerő értékeknél jóval nagyobb erőket igényel ez a fúrófej. Az előtolóerők alsó határa 1726 N, felső határa 3199 N értékű. Az eddigi fúrófejek előtolóerői közül a legnagyobb 2390 N értékű volt (ICP 140-2M IC 908), de ez a fúrófej több mint 800 N-nal több előtolóerőt igényel. Ez az erőtöbblet magyarázható ennek a fúrófejnek a speciális élgeometriájával. Ívelt, homorú éllel rendelkezik, így hosszabb a forgácsolásban résztvevő élhossz.



3.6. ábra. Előtolóerő alakulása az előtolás függvényében- HCP 140-IQ IC 908, anyag: C60

A 40CrMnMo7 anyagú próbatest fúrásakor (az eddigiektől eltérően) egy beállítás kivételével az előtolóerő értékek növekedtek a C60-as próbatesthez képest.

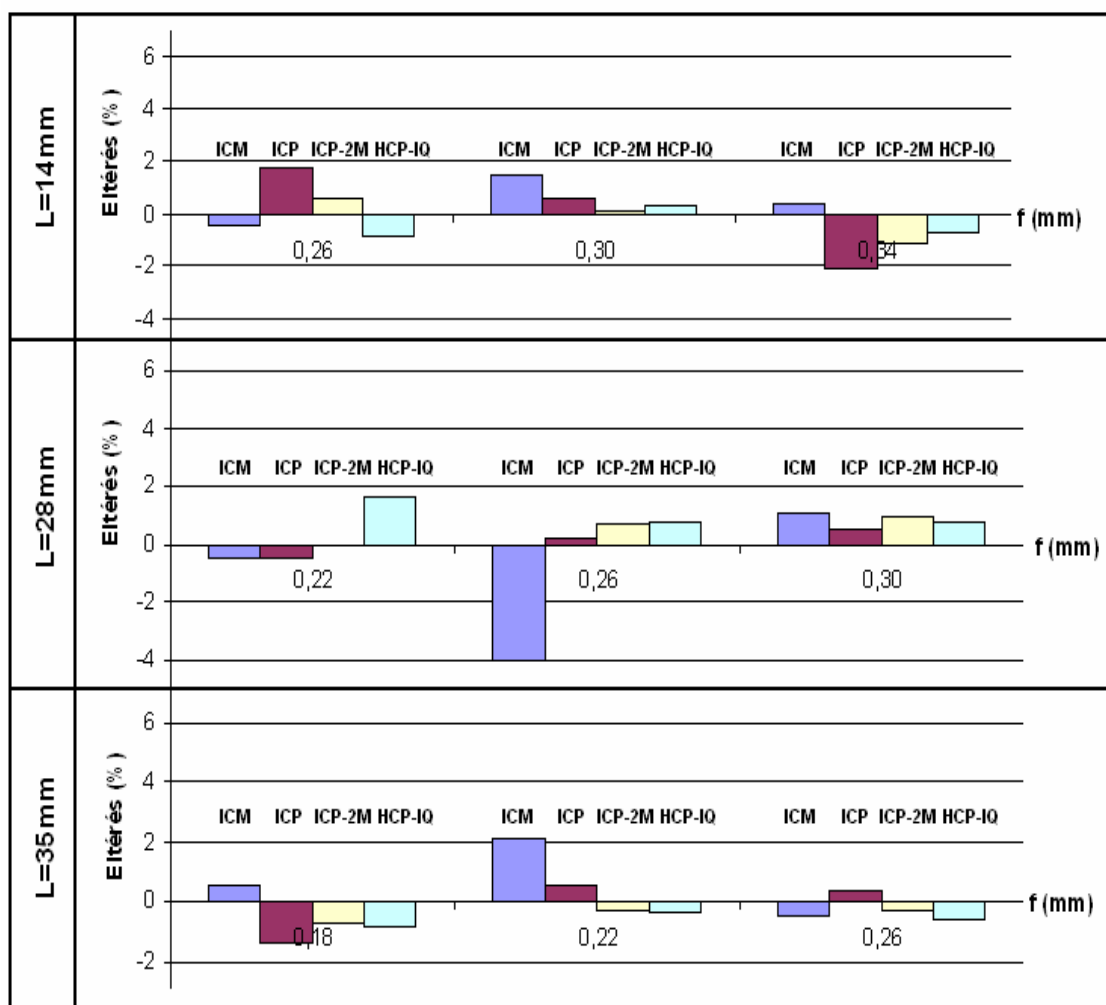
A 3.7. táblázatban láthatóak a függvényregresszió eredményei. A szorosság és a korreláció értékei itt is magasak. A „C” kitevő értéke itt sem elhanyagolható, a fúrási mélység hatással van az előtolóerő értékére.

3.7. táblázat. A függvényregresszió eredményei, anyag: C60

Fúrófej	A	B	C	Szórás [N]	Szorosság	Korreláció
HCP 140-IQ IC 908	10600	0,7	-0,15	± 30	0,995	0,998

A 40CrMnMo7 anyagú próbatestnél mért adatokkal végzett függvényregresszió értékeinél az „A” konstans (7095) és a „B” kitevő (0,58) értéke kisebb, a „C” kitevő(-0,06) értéke viszont magasabb. A „C” kitevő értéke alacsony, tehát a fúrási mélység nincs jelentős hatással az előtolóerő értékeire. A szórás értéke (21) csökkent, a szorosság (0,996) nőtt, a korreláció (0,998) értéke megegyezik a C60-as próbatesthez képest.

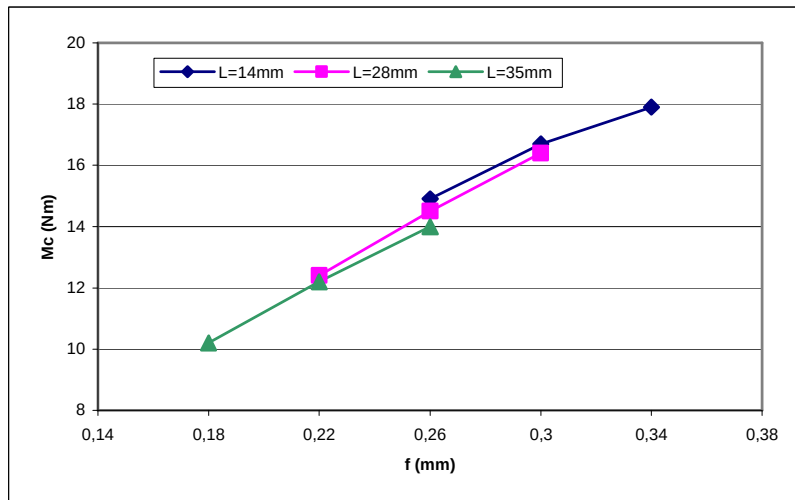
A 3.7. ábrán látható a kétfaktoros függvényregresszió eredményeinek megbízhatósága a 40CrMnMo7 minőségű próbatestnél. Látható, hogy a 14 mm-es fúrási mélységnél az ICP típusú fúrófej eredményei a legpontosabbnak. A másik két fúrási mélységnél egyértelműen az ICM típusú fúrófej eredményei a legkevésbé megbízhatóak, de még a legnagyobb eltérés a mért és számított eredmények között is mindössze 4%. A 28 mm-es fúrási mélységnél és 0.22 mm-es előtolásnál az ICP-2M jelű fúrófej 0,03%-os eltérést produkált. A 40CrMnMo7 minőségű próbatest előtolóerő eredményeivel készített kétfaktoros függvényregresszió eredményei a mellékletben található (M.6.1. táblázat). A C60-as anyagminőségű próbatestnél az ICP-2M típusú fúrófej eredményeinél mutatkoztak a legnagyobb eltérések.



3.7. ábra. A kétfaktoros függvényregresszió eredményeivel számított előtolóerők százalékos eltérése a mért eredményektől, anyag: 40CrMnMo7

3.2.2 Nyomatékok elemzése, modellek a nyomatékok leírására

A 3.8. ábrán található az ICM 140 IC 908 jelzésű fúrófej nyomatékdiagramja. Látható, hogy az előtolás növelésével növekszik a fúrási nyomaték értéke. Az is megfigyelhető, hogy a fúrási mélység nincs hatással a fúrási nyomaték értékére. Itt is észrevehető, mint az előtolóerőknél is, hogy ez a fúrófej szinte lineáris, egyenletesen növekvő értékeket produkál.



3.8. ábra. Fúrási nyomaték alakulása az előtolás függvényében, az ICM 140 IC 908 megnevezésű fúrófejnél, anyag: C60

A 40CrMnMo7 minőségű próbatestnél a nyomatékigények minden beállításnál csökkentek, ezt a nagyobb keménység, kisebb szívósság okozhatja.

A függvényregressziót a mért nyomaték értékeivel is elvégeztük. A nyomatékoknál is a $Z = A \times x^B \times y^C$ típusú hatványmodellt illesztettük a mérési pontokra, a következő átalakítással:

$$M_c = A \times f^B \times l^C \quad [Nm], \sigma = 140^\circ \text{ és } d = 14 \text{ mm esetén}$$

ahol: M_c - fúrási nyomaték (Nm),

A – konstans,

f - előtolás (mm),

l - fúrási mélység (mm),

B - előtolás kitevője,

C - fúrási mélység kitevője.

3.8. táblázat. A függvényregresszió eredményei, anyag: C60

Nyomaték						
Fúrófej	A	B	C	Szórás [Nm]	Szorosság	Korreláció
ICM 140 IC908	51,8	0,86	-0,04	± 0,26	0,988	0,994

A 3.8. táblázat tartalmazza a kétfaktoros függvényregresszió eredményeit. A szorosság és a korreláció értékei egyhez közeliek. A „C” kitevő értéke nem magas, tehát a fúrási mélység nincs nagy hatással a fúrási nyomaték értékére. A 40CrMnMo7 minőségű próbatest nyomaték értékein elvégzett függvényregresszió értékeinél az „A” konstans (43,1) értéke, és a „B” kitevő (0,73) és „C” kitevő (-0,07) értéke is kisebb. A „C” kitevő értéke nem szignifikáns. A szórás (0,22) és a szorosság (0,987) értéke csökkent, a korreláció értéke (0,994) megegyezik.

A nyomaték értékeknél is végrehajtottuk az egyfaktoros függvényregressziót. Segítségével meghatároztuk a fajlagos forgácsolóerőt (k_c) és a kitevőt (q_c). Itt is a C60-as próbatestnél csak az ICM 140 IC 908 jelű fúrófej volt alkalmas a függvényregresszió végrehajtására. A mérési pontokra itt is az $Y = A \times x^B$ típusú hatványmodellt illesztettük, a következő módosítással:

$$M_c = k_c^* \times f^{q_c} \quad [Nm], \sigma = 140^\circ \text{ és } d = 14 \text{ mm esetén}$$

ahol: M_c - fúrási nyomaték (Nm),

k_c^* - fajlagos forgácsolóerő (N/mm²),

f - előtolás (mm),

q_c - kitevő.

A 3.9. táblázatban találhatóak a függvényregresszió eredményei. A korrelációs értékek magasak, egyhez közeliek. A szórás értéke alacsony, tehát a mért és a

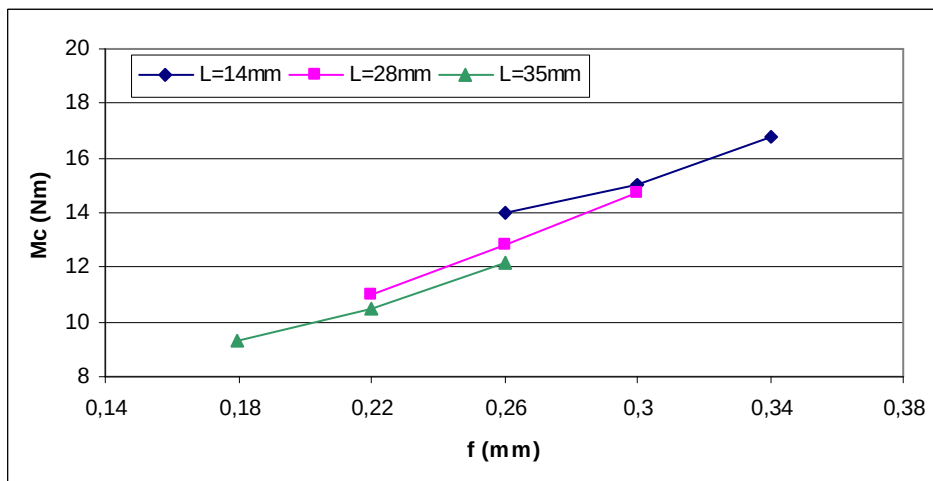
függvényregresszió eredményeivel számolt értékek között nem lesz számottevő eltérés. A számított értékek megbízhatóak lesznek.

3.9. táblázat. A nyomaték értékekkel végzett függvényregresszió eredményei, C60

Fúrófej	k_c^* (N/mm ²)	q_c	Szórás [Nm]	Korreláció
ICM 140 IC 908	49	0,9	$\pm 0,3$	0,993

A 40CrMnMo7 anyagú próbatest nyomaték értékeivel végrehajtott egyfaktoros függvényregresszió értékeinél a k_c értéke (38,5 N/mm²) kisebb, ez a kisebb szívságnak tulajdonítható. A q_c (0,79), a szórás (0,29) és a korreláció (0,991) értéke csökkent.

A 3.9. ábrán az ICP 140 IC 908 jelű fúrófej nyomatékdiagramja található. Itt is látható, hogy az előtolás növelése, fúrási nyomatékigény növekedést idéz elő. Az értékek kevésbé olvadnak össze, mint az ICM 140 IC 908 jelű fúrófejnél. A fúrási mélység itt már nagyobb jelentőséggel hat a fúrási nyomatékra. A nyomaték értékek alacsonyabbak, mint az előző fúrófejnél (ICM 140 IC 908) tapasztaltak.



3.9. ábra. Fúrási nyomaték alakulása az előtolás függvényében, az ICP 140 IC 908 megnevezésű fúrófejnél, anyag: C60

A 40CrMnMo7 minőségű próbatest minden beállításánál csökkentek a fúró nyomatékigényei, a C60-as próbatesthez képest. A 3.10. táblázatban találhatóak a végrehajtott függvényregresszió eredményei. A szorosság és a korreláció értékek itt is

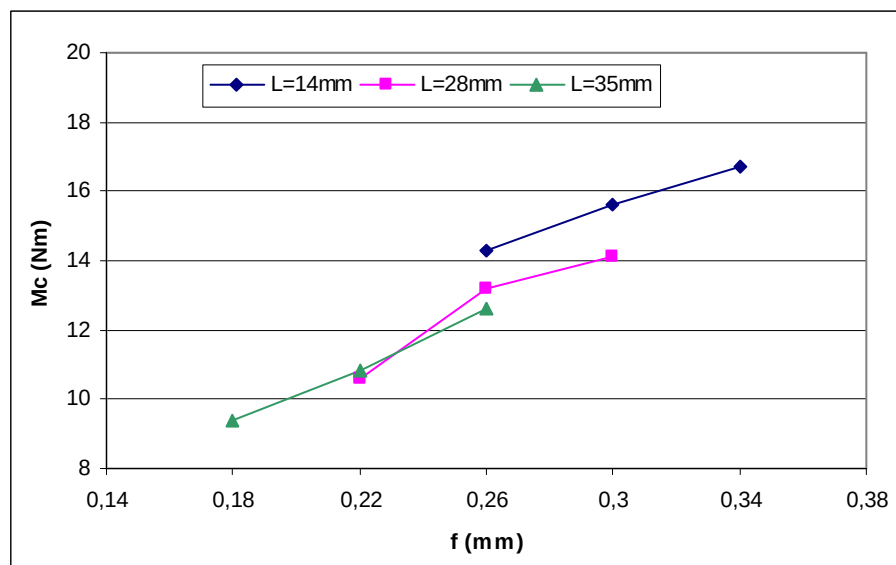
magasak. A „C” kitevő értéke itt szignifikáns, tehát hatással van a fúrási mélység a nyomaték értékekre.

3.10. táblázat. A függvényregresszió eredményei, anyag: C60

Fúrófej	Nyomaték					
	A	B	C	Szórás [Nm]	Szorosság	Korreláció
ICP 140 IC908	54,3	0,81	-0,11	$\pm 0,28$	0,986	0,993

A 40CrMnMo7 anyagú próbatest nyomaték értékeivel végzett kétfaktoros függvényregresszió értékeinél a következőket tapasztaltuk: az „A” konstans értéke (39,5) kisebb, a „B” kitevő (0,88) és a „C” kitevő (0,018) értéke magasabb. A „C” kitevő értéke nem szignifikáns. A szórás értéke (0,09) csökkent, a szorosság (0,997) és a korreláció (0,999) értéke nőtt.

Mint már az eddigiekben is tapasztaltuk, hogy az előtolás növelése fúrási nyomaték növekedését idézi elő, ez az ICP 140-2M IC 908 jelzésű fúrófejnél is megfigyelhető (3.10. ábra). Az értékek itt már kevésbé rendezetten helyezkednek el. Itt már nagyobb hatással van a fúrás mélysége a fúrási nyomatékok alakulására. Ez a fej igényelte legalacsonyabb nyomaték értékeket az eddig elemzett fúrófejek közül. A plusz két forgácsolóél itt nem igényelt nagyobb nyomatékot az ICP 140 IC 908 jelű fúrófejhez képest, mint ahogy azt az előtolóerőknél tapasztaltuk.



3.10. ábra. Fúrási nyomaték alakulása az előtolás függvényében, az ICP 140-2M IC 908 megnevezésű fúrófejnél, anyag: C60

A 40CrMnMo7 minőségű próbatestnél mért nyomatékértékek csökkentek minden beállításnál a C60-as próbatest nyomaték értékeihez képest.

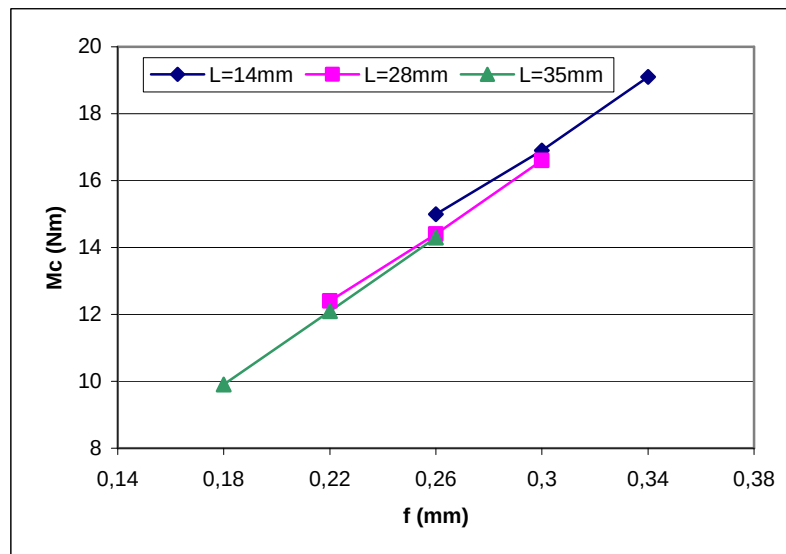
Az ICP 140-2M IC 908 megnevezésű fúrófej nyomaték értékein végrehajtott függvényregresszió eredményei a 3.11. táblázatban találhatóak. A szorosság és a korreláció értékei magasak. A „C” kitevő értéke nagy, tehát a fúrási mélység hatással van a fúrási nyomaték értékére.

3.11. táblázat. A függvényregresszió eredményei, anyag: C60

Nyomaték						
Fúrófej	A	B	C	Szórás [Nm]	Szorosság	Korreláció
ICP 140-2M IC908	55,3	0,77	-0,13	± 0,35	0,979	0,989

A 40CrMnMo7 minőségű próbatest nyomaték értékeivel végzett regresszió eredményeinél az „A” konstans értéke (36,2) alacsonyabb, a „B” kitevő (0,84) és a „C” kitevő (0,029) értéke magasabb. A „C” kitevő nem szignifikáns. A szórás értéke (0,09) csökkent, a szorosság (0,997) és a korreláció (0,999) értéke nőtt a C60-as próbatest értékeihez képest.

A 3.11. ábrán látható a HCP 140-IQ IC 908 jelű fúrófej nyomaték diagramja. Az előtolás növelésével a fúrási nyomaték is növekszik, ahogy azt az ábrán láthatjuk. A legkisebb előtolásnál 9,9 Nm értékű nyomatékot, a legnagyobb előtolásnál pedig 19,1 Nm értékű fúrási nyomatékot mértünk. Az eddigi fúrófejekhez képest ez a fúrófej igényli a legnagyobb nyomatékot. Ezt már az előtolóerők elemzésénél is tapasztaltuk. A jelenség oka továbbra is a fúrófej élgeometriájával magyarázható. Az ívelt él megnöveli az élhosszt, ami a forgácsolásban részt vesz, ezzel nagyobb erő- és nyomatékigényeket idézve elő. Az értékek rendezetten helyezkednek el, szinte egy egyenesre illeszkedve. A fúrás mélysége itt sincsen nagy hatással a fúrási nyomatékok alakulására.



3.11. ábra. Fúrási nyomaték alakulása az előtolás függvényében, a HCP 140-IQ IC 908 megnevezésű fúrófejnél, anyag: C60

A 40CrMnMo7 anyagú próbatestnél (egy kivételével) a nyomatékigény értékek csökkentek a C60-as próbatesthez képest.

A 3.12. táblázatban találhatóak a HCP 140-IQ IC 908 megnevezésű fúrófej nyomatékértékein végrehajtott függvényregresszió eredményei. Itt is magas a korreláció és a szorosság értéke. A „C” konstans itt már nem szignifikáns, vagyis a fúrási mélység nincs nagy hatással a fúrási nyomaték értékére.

3.12. táblázat. A függvényregresszió eredményei, anyag: C60

Fúrófej	Nyomaték					
	A	B	C	Szórás [Nm]	Szorosság	Korreláció
HCP 140-IQ IC 908	61	0,97	-0,04	± 0,11	0,998	0,999

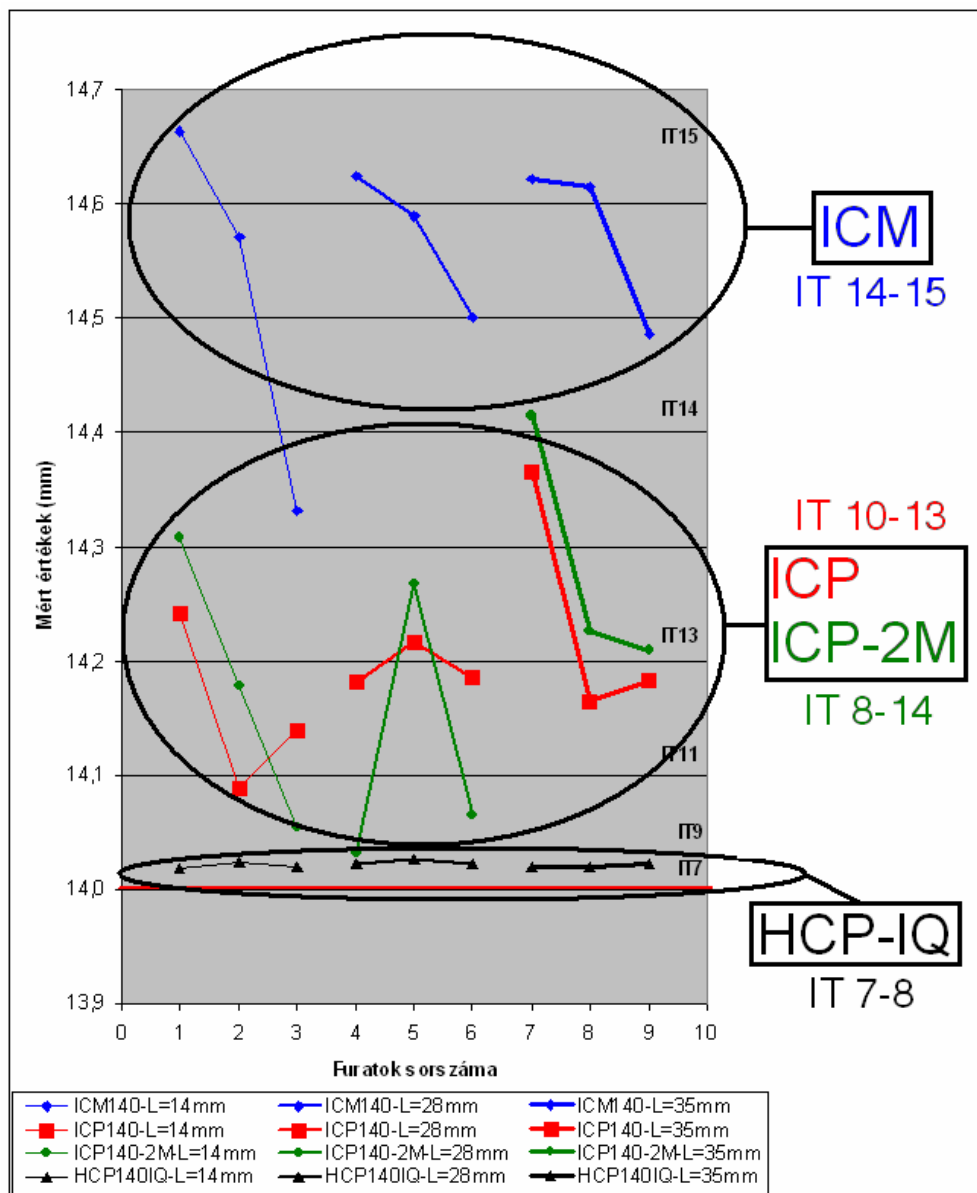
A 40CrMnMo7 minőségű próbatest nyomaték értékeivel végrehajtott regresszió eredményei alapján az „A” konstans (46) és a „B” kitevő (0,89) értéke kisebb, a „C” kitevő (0,028) értéke nagyobb, de nem szignifikáns. A 40CrMnMo7 minőségű próbatest nyomaték eredményeivel készített kétfaktoros függvényregresszió eredményei a mellékletben található (M.6.2. táblázat).

3.3 Furatok méretpontosságának elemzése

A 3.12. ábrán a négy fúrófej által készített furatok méretpontosságáról készített összesítő diagram látható. Az ICM 140 IC 908 jelzésű fúrófejjel készített furatok lettek a legpontatlanabbak. A fúrófej által készített furatok méretpontossága: IT 14-15. Látható, hogy az előtolás növelésével javul a furatok méretpontossága. Meg kell jegyeznünk, hogy ez a fej korrózióálló anyagok fúrására lett kifejlesztve. Az ICP 140 IC 908 jelű fúrófejjel már jobb méretpontosságú furatokat készítettünk. A fúrófejjel készített furatok méretpontossága: IT 10-13. Itt már nem tapasztalható mindhárom furatmélységnél, hogy az előtolás növelése méretpontosság javulást idéz elő. Az ICP 140-2M IC 908 megnevezésű fúrófej az ICP 140 IC 908-hoz képest plusz két dörzsárazó éllel rendelkezik. Látható, hogy az első két mélységnél sikerült nagyobb méretpontosságú furatokat előállítani, mint a dörzsárazó él nélküli fejnek. Ezzel a fúrófejjel IT 8-14 méretpontosságú furatokat készítettünk. A HCP 140-IQ IC 908 jelű fúrófejjel készültek a legpontosabb furatok, IT 7-8-as pontosságúak. A furatok méretpontosságát egyenletesen tudja tartani.

Tehát az ICM 140 IC 908-as fúrófejjel készültek a legpontatlanabb furatok, az ICP 140 IC 908-as és az ICP 140-2M IC 908-as fúrófejek a középmezőnyben helyezkednek el, de a dörzsárazó változat (ICP 140-2M IC 908) jobban teljesített. A legjobb méretpontosságú furatokat a HCP 140-IQ IC 908-as fúrófejjel készítettük.

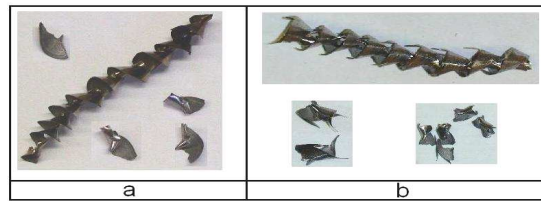
A 40CrMnMo7 anyagú próbatestnél már nem különülnek el a mérési eredmények annyira, mint C60-as próbatestnél. Az ICM 140 IC 908-as fúrófej készítette a legpontatlanabb furatokat a legelső és az utolsó három furatnál. A többi furatnál, amit szintén ez a fúrófej készített sokkal nagyobb méretpontosságú furatokat állított elő, még az ICP 140 IC 908-as és az ICP 140-2M IC 908-as dörzsárazó fejeket is felülmúlta az ötödik furatnál. Furatok méretpontossága: IT 8-14. Az ICM 140 IC 908-as fúrófejjel készített furatok méretpontossága nagy szóródást mutat. Az ICP 140 IC 908-as fúrófej IT 9-12 tűrésnagyságú furatokat produkált. Az ICP 140-2M IC 908-as fúrófej a dörzsárazó éllel pontosabb furatokat készített mint a C60-as próbatestnél, IT 7-11 tűrésnagyságú méretekkel. A legpontosabb furatokat ennél a próbatestnél is a HCP 140-IQ IC 908-as fúrófej produkálta. IT 7-8-as pontosságú furatokat készített.



3.12. ábra. A készített furatok méretpontossága, anyag: C60

3.4 Forgácselemzés, forgácsabló

A 3.13. ábrán láthatóak a fúrófejek által létrehozott forgácsok. A 3.13. a) ábrán a HCP 140-IQ IC 908 megnevezésű fúrófej által készített forgácsok láthatóak (M.6.4. ábra.). A 3.13 b) ábrán látható forgácsok meglehetősen eltérőek. Ezeken a forgácsokon kis, szarvszerű nyúlványok alakultak ki. Ez az eltérés bizonyára a két fúrófej különböző élgeometriájának köszönhető. Mivel az ICM, ICP és az ICP-2M fúrófej is (a dörzsárazó élektől eltekintve) azonos élgeometriájú, ezért ezeknél a fúrófejeknél is a 3.13 b) ábrán látható forgács típusok keletkeztek.

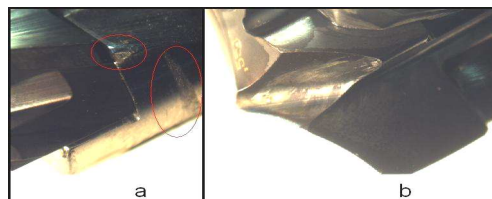


3.13. ábra. Fúráskor keletkező forgácsok: a) HCP 140-IQ IC 908 jelű fúrófejnél,
b) ICM 140 IC 908 jelzésű fúrófejnél

A M.6.2. ábrán látható az ICM 140 IC 908 megnevezésű fúrófej forgácstablója. Mindegyik fúrófej alkalmazásakor tört forgács keletkezett. A 40CrMnMo7 anyagú próbatestnél is tört forgács keletkezett minden beállításnál. Itt már csak elvétve (1-2 beállításnál) tapasztaltunk a forgácsokon megjelenő nyúlványokat.

3.5 Élkopás elemzése

A fúrófejek képein kopás jelei nem láthatóak. Az ICP 140-2M IC 908 jelű fúrófejről készült képen rendellenességet tapasztaltunk. A horonyban, amely a fúrófej rögzítésére szolgál, egy spirál forgácsot találtunk, ami beszorult ebbe a horonyba (M.6.5. ábra). Kopás jelei a HCP 140-IQ IC 908 jelű fúrófejen található. A kopás a keresztél csökkentése céljából készített kikönnyítésnél látható (3.14. b) ábra). Másik kopás a 3.14. a) ábrán található, ahol láthatóak a fúrószáron keletkezett kopás és berágódás nyomai. A fúrószáron lévő sérülés pontos okát nem ismerjük. Lehet, hogy a beszoruló forgács okozta, vagy lehet, hogy a fúrószár beleért a furat falába. Ez problémákat okozhat, hiszen a furat minőségét ronthatja le, vagy akár szerszámtörés is bekövetkezhethet emiatt! A 40CrMnMo7 minőségű próbatestnél is csak a HCP-IQ típusú fúrófej keresztél kikönnyítésénél tapasztaltunk némi kopást.



3.14. ábra. Mikroszkóppal készített képek: a) fúrószár kopásáról,
b) HCP 140-IQ IC 908 jelzésű fúrófej keresztél kikönnyítésénél lévő kopásról

4 Összefoglalás, további célkitűzések

A továbbiakban az alkalmazott fúrófejek összehasonlítását mutatjuk be.

Az **ICM 140 IC 908** típusú fúrófej az előtolóerők tekintetében a C60-as próbatestnél 2076 N értékű maximális és 1325 N értékű minimális előtolóerőt igényelt. A 40CrMnMo7 anyagú próbatestnél alacsonyabb (2034 N és 1159 N) előtolóerőket igényelt, annak ellenére, hogy ennek a próbatestnek nagyobb a keménysége. A nyomatékiigényeknél is ez a tendencia figyelhető meg. A kétfaktoros függvényregresszió során a C60-as próbatestnél megbízhatóbb eredményeket kaptunk, mint a 40CrMnMo7 anyagú próbatestnél. A méretpontosság tekintetében a C60-as próbatestnél IT 14-15-ös pontosságú furatokat készített. Ezzel szemben a 40CrMnMo7 minőségű próbatestnél IT 8-14-es méretpontosságú furatokat produkált. Mindkét próbatest fúrásakor tört forgács keletkezett, de a C60-as próbatest forgácsain szarvszerű nyúlványok jelentek meg. Kopás jelei nem mutatkoztak semelyik próbatest fúrása után.

Az **ICP 140 IC 908** jelű fúrófej előtolóerőigény minimuma 1142 N, maximuma 2172 N értékű volt a C60-as próbatest fúrása közben. A 40CrMnMo7 minőségű próbatestnél 1330 N és 1950 N értékű minimális és maximális előtolóerőt igényelt a fúrófej. Az első három beállításnál kisebb, a többi beállításnál nagyobb előtolóerőt igényelt. Nyomatékiigény szempontjából egyértelműen kisebb nyomatékot igényelt a fúrófej a 40CrMnMo7 anyagú próbatest fúrásakor, mint a C60-as próbatestnél. A kétfaktoros függvényregresszió eredményei megbízhatóbbnak bizonyultak a 40CrMnMo7 anyagú próbatestnél, mint a C60-asnál. Méretpontosság szempontjából a C60-as próbatestnél IT 10-13-as, a 40CrMnMo7 minőségű próbatestnél IT 9-12 közötti értékeket produkált. Mindkét próbatestnél tört forgács keletkezett és kopásra utaló jeleket egyik próbatest fúrása után sem fedeztünk fel.

Az **ICP 140-2M IC 908** jelzésű fúrófej előtolóerőigény minimuma 1158 N, maximuma 2390 N értékű volt. A 40CrMnMo7 minőségű próbatestnél az első négy beállításnál csökkenő a többinél növekvő tendenciát mutattak előtolóerő igényei a C60-as próbatesthez képest. Nyomatékiigény tekintetében a 40CrMnMo7 anyagú próbatest fúrása kisebb nyomatékot igényelt, mint a C60-as próbatest fúrása. A kétfaktoros függvényregressziónál ez a fúrófej produkálta a legmegbízhatatlanabb eredményeket a

C60-as próbatest eredményeivel. A 40CrMnMo7 anyagú próbatestnél már jóval megbízhatóbbak lettek az függvényregresszió eredményei. A méretpontosság szemszögéből a C60-as próbatestnél IT 8-14-es pontosságú furatokat, a 40CrMnMo7 anyagú próbatestnél viszont IT 7-11-es pontosságú furatokat fúrt. Mindkét próbatestnél tört forgács keletkezett és kopás jelei nem mutatkoztak egyik próbatest fúrása után sem.

A **HCP 140-IQ IC 908** jelzésű fúrófejnek voltak a legnagyobb előtolóerő és nyomatékigényei, mindkét próbatestnél. A C60-as próbatestnél akár 700-800 N-nal, a 40CrMnMo7 anyagú próbatestnél 900-1000 N-nal is több lehet az előtolóerő igénye a többi fúrófejhez képest. A C60-as próbatesthez képest a 40CrMnMo7 anyagú próbatestnél az előtolóerő igények nőttek, a nyomatékigények csökkentek. A kétfaktoros függvényregresszió tekintetében a 40CrMnMo7 anyagú próbatestnél megbízhatóbb eredmények születtek. Méretpontosság tekintetében mindkét próbatestnél IT 7-8-as furatokat készített a fúrófej.

A továbbiakban a próbatestek szemszögéből hasonlítjuk össze a fúrófejeket.

A **C60-as próbatestnél** a legalacsonyabb előtolóerőket és fúrási nyomatékokat az ICP 140 IC 908 jelű fúrófej igényelte. A legnagyobb előtolóerő és nyomaték igénye a HCP 140-IQ IC 908 jelzésű fúrófejnek volt. A legrosszabb méretpontosságú furatokat az ICM 140 IC 908 megnevezésű fúrófej állította elő. A legnagyobb pontosságú, IT 7-8-as furatokat a HCP 140-IQ IC 908 jelű fúrófej készítette. Mindegyik fúrófej tört forgácsot hozott létre mind a kilenc beállításnál. A fúrófejek közül csupán a HCP 140-IQ IC 908 jelű fúrófejen tapasztaltunk némi kopást.

Tehát C60-as anyagminőségbe az ICM 140 IC 908 jelzésű fúrófejjel csak pontatlan furatok készíthetők, de ez a fúrófej korrózióálló acél fúrásához készült. Ha a szerszámgép kímélése (alacsony erők, nyomatékok) és/vagy általános pontosságú furatok előállítása a cél, akkor az ICP 140 IC 908 megnevezésű fúrófej alkalmazását javasoljuk. Az ICP 140-2M IC 908 típusú fúrófejjel nagyobb méretpontosság érhető el. Nagypontosságú furatok előállítására a HCP 140-IQ IC 908 jelű fúrófej alkalmas, de ez nagyobb előtolóerőt és fúrási nyomatékot igényel.

A **40CrMnMo7 anyagú próbatestnél** az előtolóerő és nyomatékigény tekintetében az ICM 140 IC 908, az ICP 140 IC 908 és az ICP 140-2M IC 908 jelű fúrófejek egymáshoz közeli értékeket produkáltak. A HCP 140-IQ IC 908 megnevezésű fúrófej mutatott itt is kiemelkedően magas eredményeket, a másik három fúrófejhez képest. A készített furatok méretpontosságát vizsgálva a fúrófejek IT 7-12 tűrésnagyságú méretek között mozogtak, kivéve az ICM 140 IC 908 jelzésű fúrófej utolsó három furatát. Tehát az ICM 140 IC 908 jelű fúrófej által készített furatok méretpontossága nagyon ingadozó. A 40CrMnMo7 anyagminőségbe kisebb pontosságú furatokat (IT 9-12) az ICP 140 IC 908 típusú fúrófejjel készíthetünk. Ha ettől nagyobb pontosságra (IT 7-11) van szükség, akkor az ICP 140-2M IC 908 jelzésű dörzsárazó fúrófej alkalmazása ajánlott. A HCP 140-IQ IC 908 jelű fúrófejjel érhető el a legnagyobb méretpontosságú (IT 7-8) furatok, de ez nagyobb előtolóerőt és nyomatékot igényel a többi fúrófejhez képest. Mindegyik fúrófej az összes beállításnál tört forgácsot hozott létre. Kopást csak a HCP 140-IQ IC 908 megnevezésű fúrófej keresztél kikönnnyítésénél tapasztaltunk.

Az oldal alján a fúrófejek összehasonlító táblázata található (3.13. táblázat).

További célkitűzéseink közé tartozik a készített furatok érdességvizsgálata, és a kapott eredmények elemzése. A fúrófejek gazdaságossági szempontból történő vizsgálata. A vizsgált anyagok körének kiterjesztése egy korrózióálló anyagból (x8CrNiS18-9) készített próbatest bevonásával. A vizsgálatok eredményét a közeljövőben elkészülő szakdolgozatomban publikálom.

3.13. táblázat. A fúrófejek összehasonlító táblázata

Anyagminőség jele	C60	40CrMnMo7
Kis F_t , M_c igény	ICP 	ICM, ICP, ICP-2M 
Nagy F_t , M_c igény	HCP-IQ 	HCP-IQ 
Kis méretpontosság	ICM (IT 14-15) 	ICM (IT 8-14) 
Nagy méretpontosság	HCP-IQ (IT 7-8) 	HCP-IQ (IT 7-8) 

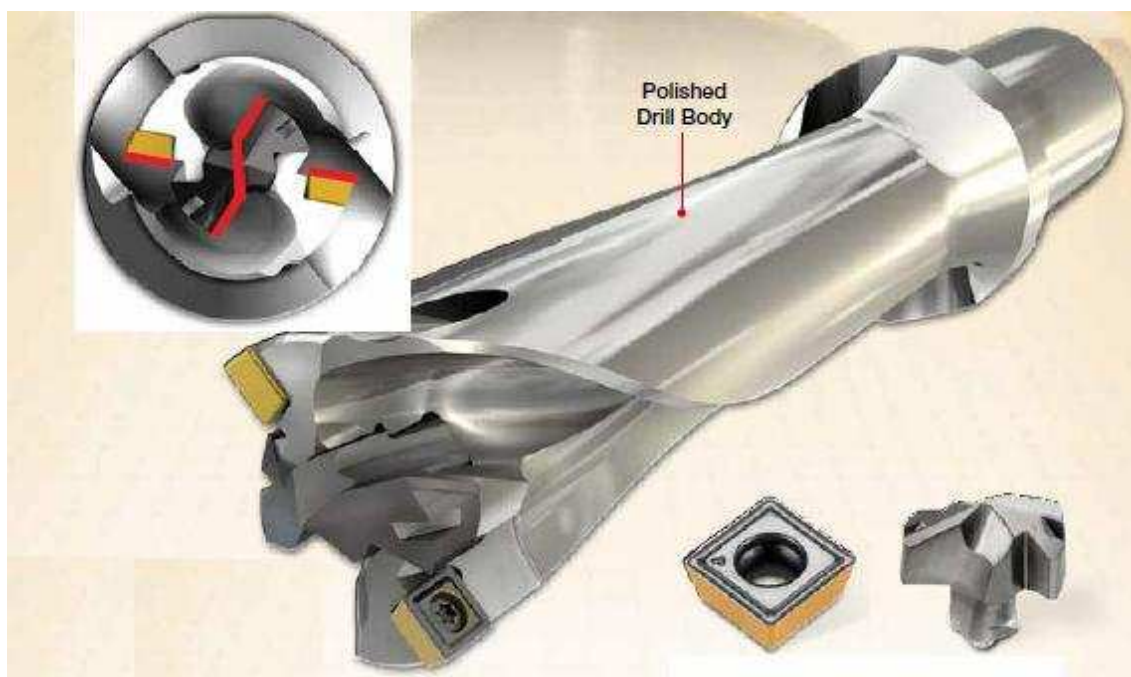
5 Irodalomjegyzék

1. Forgácsoláskutatás.hu, <http://www.forgacsolaskutatas.hu/>, [Megtekintés: 2014.08.06-17:56]
2. Dr. Sipos Sándor: *Forgácsolástechnológia alapjai előadásanyaga*, 2007
3. Dr. Mikó Balázs, Dr. Sipos Sándor, Hervay Péter, Dr. Zentay Péter: *Forgácsolás technológia alapjai*, ÓE nyomda, Budapest, 2014
4. Ambrusné dr. Alady Márta- Galla Jánosné- Dr. Sipos Sándor: *A gyártástechnológia alapjai I.*, ÓE nyomda, Budapest, 2010
5. Sandvik Coromant: Bevonat nélküli porkohászati keményfém, http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/materials/cutting_tool_materials/uncoated_cemented_carbide/pages/default.aspx, [Megtekintés: 2014.08.06-18:13]
6. Sandvik Coromant: Bevonatos porkohászati keményfém, http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/materials/cutting_tool_materials/coated_cemented_carbide/pages/default.aspx, [Megtekintés: 2014.08.06-18:25]
7. Dr. Sipos Sándor: *Forgácsolástechnológiák és szerszámai előadásanyaga*, 2013
8. Sandvik Coromant: Cermet forgácsolóanyag, http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/materials/cutting_tool_materials/cermet/pages/default.aspx, [Megtekintés: 2014.08.07-16:54]
9. Sandvik Coromant: Polikristályos gyémánt , http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/materials/cutting_tool_materials/polycrystalline_diamond/pages/default.aspx, [Megtekintés: 2014.08.07-17:20]
10. Sandvik Coromant: Köbös bórnitrid, http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/materials/cutting_tool_materials/polycrystalline_cubic_boron_nitride/pages/default.aspx, [Megtekintés: 2014.08.07-17:40]
11. Perfor.hu ,http://www.perfor.hu/furo/kemenyfem_furo#L, [Megtekintés: 2014.08.07-15:07]
12. Dr. Angyal Béla, Dr. Dobor Lászlóné, Dr. Palásti Kovács Béla, Dr. Sipos Sándor: *Forgácsolás és szerszámai*, Budapest, 2003.
13. Sandvik Coromant: Corodrill 840 fúró, <http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/products/corodrill-r840/Pages/default.aspx>, [Megtekintés: 2014.08.08-15:00]
14. Iscar szerszámkatalógus: New Products catalog, Edition 4, 2013
15. Iscar.com, <http://www.iscar.com/eCatalog/Family.aspx?fnum=3146&mapp=DR&app=0&pageType=4&rel=I>, [Megtekintés: 2014.08.08-16:04]
16. Allien Maxcut Engineering Company: fúrólapkák , http://www.protoolkft.hu/amec/telibefuras_tarendszer.html, [Megtekintés: 2014.08.08-19:55]
17. Iscar szerszámkatalógus: Hole making tools, Metric version catalog 2012, <http://pdf.directindustry.com/pdf/iscar-tools/hole-making-tools/5692-318297.html>, [Megtekintés: 2014.08.14-11:40]

18. Secotools.com,
<http://www.secotools.com/hu/Global/Products/Holemaking/Drilling/Crownloc/>,
[Megtekintés: 2014.08.15-12:26]
19. Secotools- Crownloc fúró kép, <http://www.e-cuttech.com/ReadNews/794.html>,
[Megtekintés: 2014.08.15-11:56]
20. Sandvik Coromant- Corodrill 870 fúró ismertetése,
http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/products/corodrill_870/Pages/default.aspx, [Megtekintés: 2014.08.15-13:17]
21. Sandvik Coromant- Corodrill 870 lapka, <http://www.io-journal.de/corodrill-870-definiert-das-bohren-neu/>, Megtekintés: 2014.08.15-12:30
22. Sandvik Coromant- Corodrill 870 fúró, http://www.sandvik.coromant.com/ko-kr/products/corodrill_870/pages/default.aspx, [Megtekintés: 2014.08.15-12:32]
23. Sandvik Coromant- Corodrill 870 fúró lapkacsere,
<http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/products/pages/productdetails.aspx?c=870-1050-7lx063-3#/?active=spareparts>, [Megtekintés: 2014.08.15-12:34]
24. AMEC- GEN3SYS fúró leírása, <http://www.protoolkft.hu/amec/gen3sys.html>,
[Megtekintés: 2014.08.15-13:55]
25. AMEC- GEN3SYS fúró lapkacsereje,
[http://www.rabensteiner.com/index.php?id=66&tx_ttnews\[tt_news\]=47&cHash=3a84d439bacd511d47ba4b78a673e560](http://www.rabensteiner.com/index.php?id=66&tx_ttnews[tt_news]=47&cHash=3a84d439bacd511d47ba4b78a673e560), [Megtekintés: 2014.08.15-13:23]
26. AMEC- GEN3SYS fúró, <https://www.cromwell.co.uk/AME1552880J#>,
[Megtekintés: 2014.08.15-13:27]
27. Sandvik Coromant- lapkás rövidfúró, http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/products/corodrill_881/Pages/default.aspx, [Megtekintés: 2014.08.15-14:20]
28. Szalóki István: *Fúrással megmunkált felületek mikrogeometriai értelmezése*, Gyártóeszközök, szerszámok, szerszámgépek, 2014
29. Dr.Kisfaludy Antal- Réger Mihály- Tóth László: Szerkezeti anyagok II., ÓE nyomda, Budapest, 2010
30. Sandvik Coromant- Acél forgácsolása, http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_p_steel/pages/default.aspx,
[Megtekintés: 2014.07.17-14:38]
31. Sandvik Coromant- Korrózióálló acél forgácsolása,
http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_m_stainless_steel/pages/default.aspx, [Megtekintés: 2014.07.17-15:05]
32. Szabványkiadó főosztály: *Acélok, Öntöttvasak*, MSZT Szabványkiadó, Budapest, 2005
33. Bánkuti József: Korrózióálló acélok forgácsolása,
<http://www.perfor.hu/custom/perfor/image/data/pdf/koracforg.pdf>,
[Megtekintés: 2014.07.17-15:52]
34. Sandvik Coromant- Öntöttvas forgácsolása,
http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_k_cast_iron/pages/default.aspx, [Megtekintés: 2014.07.17-17:03]
35. Perfor ,<http://www.szerszamok.hu/lex/ov.htm>, [Megtekintés: 2014.07.17-17:54]

36. Sandvik Coromant: Hőálló szuperötvözetek,
http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_s_hrsa_titanium/pages/default.aspx, [Megtekintés: 2014.07.21-18:05]
37. Sandvik Coromant, http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_h_hardened_steel/pages/default.aspx, [Megtekintés: 2014.08.03-17:10]
38. Bagyinszki Gyula, Berecz Tibor, Dobránszky János, Kovács-Coskun Tünde, Szabó Péter János, Mészáros István, Nagyné Halász Erzsébet, Pinke Péter, Szakál Zoltán, Varga Péter: *Anyagtudomány*, Typotex kiadó, 2012
39. CNC.hu szakkcik: Nagy kihívást jelentő anyagok marása és fúrásai I.,
<http://www.cnc.hu/2013/12/nagy-kihivast-jelento-anyagok-marasa-es-furasa-i/>, [Megtekintés: 2014.08.06-16:05]

6 Melléklet



M.6.1. ábra. Kombinált fúró [17]

 f=0.26mm	 f=0.22mm	 f=0.18mm
 f=0.3mm	 f=0.26mm	 f=0.22mm
 f=0.34mm	 f=0.3mm	 f=0.26mm
L=14mm	L=28mm	L=35mm
Bekezdőforgács		

M.6.2. ábra. Az ICM 140 IC 908 jelzésű fúrófej forgácstablója, anyag: C60

Recommended Machining Conditions

		SUMOCHAM							
		Feed vs. Drill Diameter							
Mtl. No. ⁽¹⁾	V m/min	mm/rev							
		D=6-7.9	D=8-9.9	D=10-11.9	D=12-13.9	D=14-15.9	D=16-19.9	D=20-25.9	D=26-32.9
1	80-110-140								
2	80-105-130								
3	80-100-120	0.09	0.12	0.15	0.18	0.20	0.25	0.25	0.30
4	70-90-110	0.11	0.17	0.21	0.24	0.27	0.35	0.35	0.40
5	50-70-90	0.13	0.22	0.28	0.30	0.35	0.45	0.45	0.50
6	80-100-120								
7	70-90-110	0.09	0.12	0.14	0.16	0.18	0.23	0.25	0.30
8	50-70-90	0.12	0.18	0.21	0.24	0.26	0.31	0.35	0.40
9	40-55-70	0.15	0.25	0.28	0.32	0.35	0.40	0.45	0.50
10	50-70-90	0.09	0.12	0.12	0.15	0.18	0.20	0.22	0.25
11	40-60-80	0.11	0.16	0.17	0.20	0.23	0.25	0.27	0.30
		0.12	0.20	0.22	0.25	0.28	0.30	0.33	0.35
12	40-55-70	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.16	0.18	0.20
13	40-55-70	0.09	0.12	0.15	0.17	0.20	0.21	0.24	0.27
14	30-50-70	0.10	0.15	0.18	0.20	0.24	0.26	0.30	0.35
15	90-125-160								
16	80-110-140								
17	90-135-180	0.12	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.35	0.40
18	80-110-140	0.15	0.22	0.27	0.32	0.37	0.45	0.47	0.50
19	90-125-160	0.18	0.30	0.35	0.40	0.45	0.55	0.60	0.60
20	80-110-140								
21									
22	90-155-220								
23									
24			0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
25	80-120-160		0.27	0.32	0.37	0.42	0.50	0.57	0.67
26			0.35	0.40	0.45	0.50	0.60	0.70	0.75
27	90-155-220								
28									
29									
30									
31	30-45-60								
32		0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.12	0.14	0.16
33	20-35-50	0.06	0.08	0.10	0.12	0.15	0.16	0.18	0.20
34		0.07	0.11	0.13	0.15	0.18	0.20	0.22	0.25
35									
36	20-35-50	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18
37		0.06	0.09	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22
		0.07	0.12	0.15	0.18	0.20	0.22	0.25	0.27
38	20-35-50	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18
39		0.06	0.09	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22
		0.07	0.12	0.15	0.18	0.20	0.22	0.25	0.27
40									
41									

■ Recommended cutting data

⁽¹⁾For workplace materials test, see pages CB-41. As a starting value, the middle of the recommended machining range should be used.

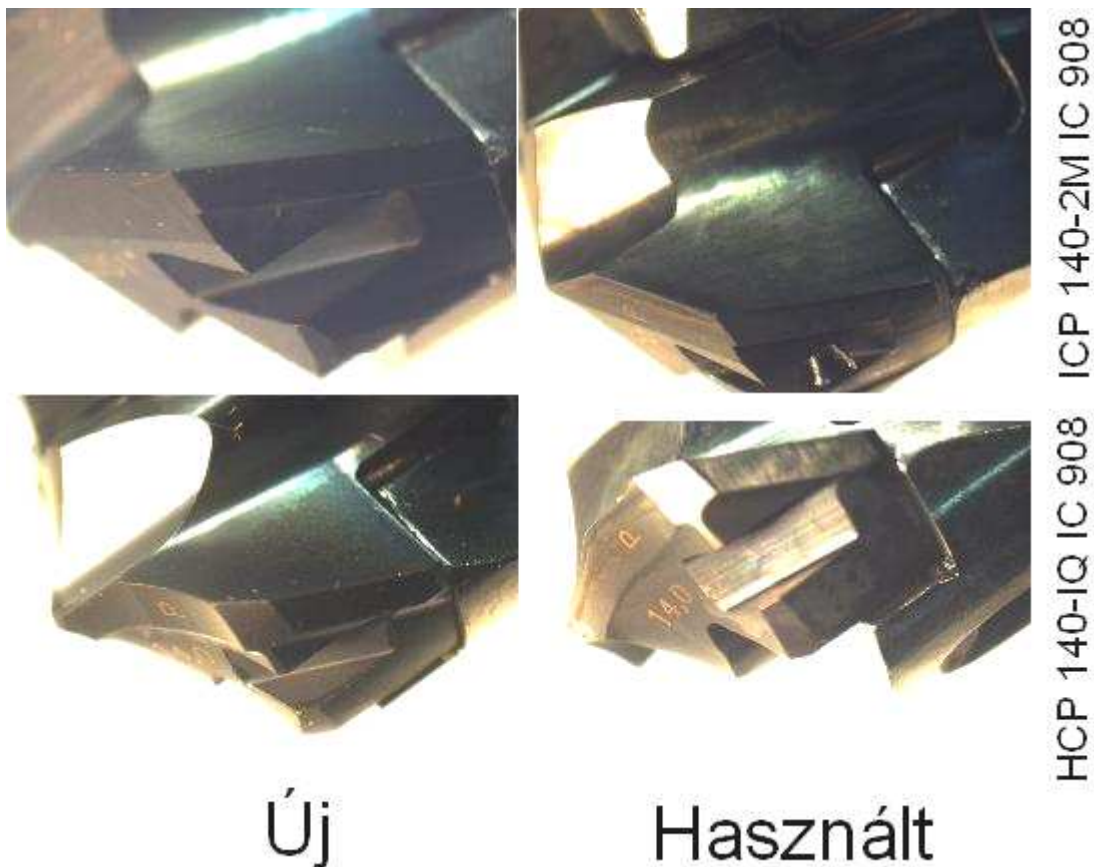
Then, (according to wear results), conditions can be changed in order to optimize performance.

The data refers to ISO68.

 $f=0.26\text{mm}$	 $f=0.22\text{mm}$	 $f=0.18\text{mm}$
 $f=0.3\text{mm}$	 $f=0.26\text{mm}$	 $f=0.22\text{mm}$
 $f=0.34\text{mm}$	 $f=0.3\text{mm}$	 $f=0.26\text{mm}$
$L=14\text{mm}$	$L=28\text{mm}$	$L=35\text{mm}$
Bekezdőforgács 		

M.6.4. ábra. A HCP 140-IQ IC 908 jelű fúrófej forgácsablója, anyag: C60

M6.5. ábra. Képek két fúrófej állapotáról a fúrás előtt és után, illetve a fúrófej hornyába beszorult forgácsról



M.6.1. táblázat. A kétfaktoros függvényregresszió értékei, anyag: 40CrMnMo7

Előtoló erő						
Fúrófej	A	B	C	Szórás	Szorosság	Korreláció
ICM	5076	0,8	0,01	30	0,987	0,994
ICP	3204	0,6	0,07	20	0,988	0,994
ICP-2M	3649	0,6	0,05	13	0,996	0,998
HCP-IQ	7095	0,6	-0,06	22	0,996	0,998

M.6.2. táblázat. A kétfaktoros függvényregresszió értékei, anyag: 40CrMnMo7

Nyomaték						
Fúrófej	A	B	C	Szórás	Szorosság	Korreláció
ICM	43	0,7	-0,07	0,23	0,987	0,994
ICP	39	0,9	0,02	0,09	0,997	0,999
ICP-2M	36	0,8	0,03	0,09	0,997	0,100
HCP-IQ	46	0,9	0,03	0,12	0,997	0,999