



Lézeres gravírozás CNC-marógépen

Laser Engraving on a CNC Milling Machine

Rácz Viktor Gergely,¹ Mikó Balázs²

¹ Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola. Budapest, Magyarország, raczi.viktor@bgk.uni-obuda.hu

² Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Gépészeti és Technológiai Intézet, Gyártástechnológiai Intézeti Tanszék. Budapest, Magyarország, miko.balazs@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

This article details how a commercially available diode laser (VoidMicro LD4070HF Pro) can be integrated into a conventional 3-axis CNC milling machine (HAAS Mini Mill Edu). Thanks to this development, the CNC milling machine is now able to perform a new machining process. The laser module has a major impact on the development of the secondary time, in addition to the rapid execution of engraving operations, i.e. by reducing the production lead time. During the production of a part, the marking of the product, such as QR code and barcode, is also carried out on a single machine tool, thus reducing the production cost. An additional benefit of integrating a laser engraver is that the CNC milling machine can also be used for laser cutting thin plastic and wood panels.

Keywords: laser diode, CNC milling machine, engraving, Arduino.

Összefoglalás

Jelen cikk részletesen bemutatja, hogy miként lehet egy hagyományos, háromtengelyes CNC-marógépbe (HAAS Mini Mill Edu) integrálni egy kereskedelmi forgalomban kapható diódlézert (VoidMicro LD4070HF Pro). A fejlesztésnek köszönhetően a CNC-marógép egy új megmunkálási eljárás végrehajtására lett képes. A lézermódul a gravírozási műveletek gyors kivitelezése mellett, azaz a gyártási főidő csökkentésével, a mellékidő alakulására is nagy hatással van. Egy adott termék gyártása során a termékre kerülő jelölések, pl. a QR-kód és a vonalkód kivitelezése is egyetlen szerszámgépen történik, így a gyártási költséget is csökkenti. További előnye a lézeres gravírozó integrálásának, hogy a CNC-marógép vékony műanyag és falemezek lézeres vágására is alkalmassá vált.

Kulcsszavak: diódlézer, CNC-marógép, gravírozás, Arduino.

1. Bevezetés

A kutatás célja, hogy az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karán található háromtengelyes CNC-marógép (HAAS Mini Mill Edu) egy új megmunkálási eljárás végrehajtására legyen alkalmas. Egy, a kereskedelmi forgalomban kapható lézeres gravírozófej (LD4070HF Pro) integrálásával lézeres gravírozási műveletek kivitelezése is a CNC-marógépen történik.

Ebből adódóan plusz egy megmunkálási eljárásra alkalmas a CNC-marógép, így a termékre helye-

zett jelölések vagy gravírozási feladatok egyetlen megmunkálógéppel elvégezhetők, ezáltal jelentős idő- és költségcsökkenés érhető el.

1.1. A lézeres gravírozás létjogosultsága napjainkban

Napjainkban a versenypiac dinamikus fejlődése arra készteti a megmunkálással foglalkozó cégeket, hogy az eddigieknél jobban használják ki a műszaki innovációkat. Sorozatgyártás esetén a hangsúly a gépi fő- és mellékidők lerövidítésén (a gyártási költség 62%-a [1]) és a termelőeszközök gazdaságos használatán van, aminek hatásá-

ra a gyártással foglalkozó cégek optimalizálhatják a gyártási költségeiket. A gyártási fő- és mellékidők csökkentése elérhető az új megmunkálási eljárásokkal (például: trochoidális forgácsolás (TPC), nagy sebességű forgácsolás (HSC), nagy teljesítményű forgácsolás (HPC) [1]) és újgenerációs szerszámok (több feladatra alkalmas szerszám [MTC]) alkalmazásával. Emellett mellékidőt és költséget tudunk csökkenteni azáltal, hogy igyekszünk minél kevesebb megmunkáló- és gyártást támogató gép alkalmazásával elvégezni a termékek gyártását [2].

1.2. Lézeres jelölés

A klasszikus gravírozás során különböző mélységben választunk le kis mennyiségű anyagot a munkadarab felületéről, aminek hatására a kívánt minta, kép, felirat vagy számsor olvashatóvá válik a munkadarabon. Napjainkban a termék azonosítása érdekében szinte minden terméket azonosító számmal, vonalkóddal vagy QR-kóddal (QR = quick response) látunk el, így a termékelékenység fokozása érdekében e jelölésekre már jelölőberendezéseket, jelölőlézereket használunk. Lézeres jelölést leggyakrabban fém és műanyag alkatrészek esetén alkalmazunk [3].

1.2.1. Fém alkatrészek lézeres jelölése

Fém alkatrészeknél háromfajta jelölési eljárást alkalmaz az ipar [3]. Az egyik a gravírozás, mely során a lézersugárzás teljesítménye olyan nagy, hogy az anyag a megmunkálás során megolvad és részben elgőzölög (elpárolog). Ennek hatására a munkadarabban 10–50 μm -es mélyedések keletkeznek [4]. Mélygravírozás esetén a torzulás elkerülése miatt többször kell végrehajtani a lézeres gravírozást különböző mélységekben. Jó beállítási paraméterek esetén a gravírozás keresztmetszeti formája U alakú. A gravírozás olvashatóságát az okozza, hogy az eljárást követően a gravírozott felület másképp veri vissza a fényt, ezáltal olvashatóvá válik a lézeres gravírozás mintája. Az eljárás során nagy teljesítményű lézer ($P > 50\text{ W}$) alkalmazása indokolt, így impulzusos üzemi szállézer, Nd: YAG (neodímium kristályba foglalt ittrium – alumínium-gránát) vagy Nd: YVO₄ (neodímiummal dúsított ittrium-vanadát) lézert alkalmaz az ipar. A lézernyaláb fókuszoltját a munkadarab felületére kell helyezni. Legtöbbször a szerszám- és formagyártásban vagy a járműazonosító számok gravírozásánál használják ezt az eljárást [3, 4].

A másik fémjelölési módszer a hőkezelés és színezés. Az eljárás során az anyag szerkezete válto-

zik meg, így nem történik olvadás. A lézernyaláb a munkadarab anyagát az olvadáspontonál kisebb hőmérsékletre hevíti, aminek hatására az anyag szövetszerkezete megváltozhat, a felületen pedig a levegő összetevőivel képzett korróziótermék alakul ki. A munkadarab felületén így különféle színek jelennek meg. A lézeres gravírozással elentétben ennél az eljárásnál jóval kisebb energiájú impulzus alkalmazása is elegendő, így folyamatos üzemi lézerrel ellátott gépek is alkalmazhatók. A lézeres színezésre alkalmazott lézerek így a folyamatos vagy impulzusos üzemi szállézer, impulzusos üzemi Nd: YAG vagy Nd: YVO₄ lézerek. Lézerrel történő hőkezelésnél vagy színezésnél a fókuszátvolságot a munkadarab felülete fölé kell beállítani, ezzel a lézernyaláb csak nagy mennyiségű hővel terheli a felületet, de nem olvasztja meg. Ezt a jelölési eljárást alkalmazza legtöbbször az ipar az orvosi eszközök jelölésére, mivel így nem keletkeznek baktériumok megtelepedésére alkalmas mélyedések. A mérőeszközök (pl.: tolómérce) és szerszámok jelölésénél is igen elterjedt jelölési eljárás. Az eljárás hátránya a lézeres gravírozással szemben a nagyobb megmunkálási idő, így tömeggyártás esetén a gravírozást részesíti előnyben az ipar [3].

A harmadik fémjelölési módszer a speciális paszta alkalmazásával történő lézeres jelölés. Az eljárás fő előnye, hogy kis teljesítményű lézerek ($P < 50\text{ W}$) esetén is alkalmazható. Ebből kifolyólag CO₂-lézerek esetén alkalmazzák a legtöbb esetben a „lézerpasztás” (szpré, ragasztószalag vagy hígított formában kapható) jelölést. Ez az eljárás csak bevonat nélküli fémek esetén alkalmazható [3].

1.2.2. Műanyag alkatrészek lézeres jelölése

Műanyagok lézeres jelölésénél négy eljárást különböztetünk meg [5]. Az egyik jelölési folyamat során a felületet ért hőhatásra buborékok keletkeznek, így ezt az eljárást habosító jelölésnek nevezzük. Az eljárás során a munkadarab felülete és felületi érdessége megváltozik, aminek hatására válik láthatóvá a munkadarab felületére készített jelölés [3, 5].

A másik módszer a fémes munkadarabok jelölésénél is ismertetett hőszínezés. Ennél az eljárásnál a munkadarab felületéről anyagleválasztás nem történik, hanem csak a munkadarab felületén található anyagrézecskek szövetszerkezetét változtatja meg a lézersugárzás, ami történhet termikus vagy fotokémiai úton. Műanyagok hőszínezésénél is érvényes, hogy a hőszínezés jóval kisebb teljesítményű lézer ($P < 50\text{ W}$) alkalmazása

mellett is végezhető. Mindkét eljárásnál használhatunk impulzusos üzemű szállézerzt, Nd:YAG, Nd:YVO₄, CO₂ szilárdtestlézerzt és diódlézerzt [3, 6].

A harmadik módszer a fém alkatrészeknél bemutatott gravírozási eljárás, míg a negyedik jelölési változat a bevonattávoltítás a lézernyaláb segítségével [5].

2. Alkalmazott eszközök

A kivitelezés első részében meghatároztuk az alkalmazni kívánt főbb eszközöket. A lézermodul kiválasztásánál a fő szempont az ár-érték arány figyelembevétele és a könnyű beszerezhetőség volt. CNC-marógép esetén a gépválasztás fő szempontja a gépkihasznátság és a gépburkolat megbontásának lehetősége volt. Vezérlőelektronika esetén is törekedtünk a megbízhatóság és a kedvező bekerülési költség meglétére, emellett a könnyű programozhatóságot is figyelembe vettük.

2.1. LD4070HF Pro gravírozófej

A használt gravírozófej esetén a hobbi jellegű gravírozógépeknél széles körben alkalmazott, Void-Micro cég által gyártott, LD4070HF Pro megnevezésű lézermodulra esett a választásunk (1. ábra). A lézermodul 450 nm hullámhosszú és állandó fókusz távolságú (a fókuszálólencsétől 15 mm) nyalábot állít elő. A bemeneti teljesítménye 40 W, míg a kimeneti teljesítménye 7,5 W. A rendszer 12 V-on működik, és teljesítménye PWM (pulse width modulation), azaz impulzusidőtartam-modulációs jellel szabályozható. A gravírozófej a teljesítményéből kifolyólag nemcsak gravírozni tud, de alkalmas akár 3–5 mm vastag falap és 3 mm vastag műanyag lap vágására is [7].

2.2. Haas Mini Mill EDU CNC-marógép

A lézermodul alkalmazását a Haas Mini Mill EDU CNC-marógépre terveztük (2. ábra).

A CNC-marógép maximális fordulatszáma 4000 1/min, míg a maximális teljesítménye 5,6 kW. A szerszámgépnek 406×305×254 mm-es a munkatere. A gépnek nincsen hűtőrendszere és automata szerszámcsereelője [8].

A projekt tervezési szakaszában, a gép tulajdonságainak figyelembe vételével (CT 40-es főorsóvégződés [8], hűtési és szerszámcsereelő rendszer hiánya) határoztuk meg a projekt célkitűzéseit.

2.3. Arduino Nano

A lézermodul vezérlésére alkalmas PWM-jeleket (impulzusidőtartam-modulációs jelek) az egyedi digitális vezérlőberendezések esetén Arduino mikrokontrollerrel vezéreljük.



1. ábra. LD4070HF Pro gravírozófej valós és virtuális ábrája



2. ábra. Haas Mini Mill EDU

Az Arduino egy gyűjtőnév, amely magába foglalja mind az egyszerű elektronikus áramkört (hardver), mind a szoftverfejlesztői környezetet alapuló, nyílt forráskódú platformot (szoftver). A hardver egy Atmel AVR mikrokontroller köré épített elektronikai áramkörből áll, míg a szoftveres része a C alapokon nyugvó, C++ programozási nyelvet használó, Arduino IDE néven készített program. Arduino segítségével interaktív tárgyakat tudunk létrehozni, mivel képes digitális jelet fogadni és küldeni, emellett analóg jelek feldolgozására is képes. Így akár motorok, szenzorok, lámpák vezérlése is megoldható vele. Az Arduino IDE szoftver segítségével megírt programot, a megfelelő nyelvre történő fordítást követően, USB segítségével tudjuk a mikrokontrollerre felprogramozni. A program két fő részből épül fel. A beállítás (setup) programrész az alapbeállításokat

tartalmazza, míg a ténylegesen végrehajtani kívánt műveleteket a ciklus (loop) foglalja magába. Ebből kifolyólag a beállítási rész csak egyszer fut le, míg a ciklusos részben lévő utasítások végrehajtása végtelenített ciklusban ismétlődik [9].

A lézermódul vezérlését, a helytakarékoságból kifolyólag, az egyik legkisebb, a kereskedelmi forgalomban kapható Arduino Nano típusú mikrokontroller (3. ábra) segítségével oldottuk meg.

3. Egyedi gravírozófej építése és vezérlése

A tervezési fázist a gravírozólézer elemeinek visszamodellezésével kezdtük el, a Catia P3 V5R21 CAX szoftver alkalmazásával.

A gyári lézermódul 30 alkatrészből épült fel, tartalmazza a főbb építőelemeken kívül a csavarokat, távtartókat és a vezérlőáramkör nyáklapját is.

A visszamodellezést követően a főorsóba történő rögzítési lehetőségeket vizsgáltuk meg. Az első koncepció szerint az eredeti ventilátort lecseréljük két radiális, turbó ventilátorra, amelyeket a lézermódul oldalán helyeztünk volna el. Ennek következtében az eredeti 113,7 mm-es hossz rövidül, ezáltal robusztusabb lesz a lézermódul és a hűtés is intenzívebbé válik. A koncepció hátránya, hogy a kézzel történő szerszámcsere során sérülhetnének a radiális ventilátorok, így a második koncepció alapján a radiális ventilátor helyett axiális ventilátor alkalmazása mellett döntöttünk. A hossz méret további csökkentése érdekében a lézermódul vezérlőjének áthelyezését láttuk indokoltnak.

A visszamodellezés során az eredeti gravírozó hűtőbordájában szerelési hibát tapasztaltunk (kéziszerszámmal történő furatbővítés). A lézermódul átmérője és a hűtőborda furata között 0,3 mm-es eltérést mértünk. A lézermódul rögzítését egy M3×8 mm-es belsőkulcsnyílású hernyócsavar (DIN 916 szabvány) valósította meg, ami radiális irányból a hűtőborda furatának falához nyomta a

lézermódulát (4. ábra, sárgával jelölt terület). Ebből adódóan a lézermódul használatakor keletkezett jelentős hő egy él mentén adódott át a hűtőbordának, ezáltal a hűtés hatásfoka a maximális 40 W lézerteljesítmény esetén megkérdőjelezhető. Az előbb említett hibák miatt úgy döntöttünk, hogy az eredeti lézermódul helyett egy egyedi hűtőbordát és hozzá tartozó egyedi rögzítőelemeket tervezünk és gyártunk le.

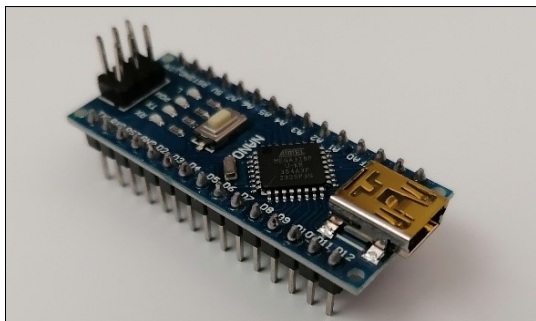
3.1. Egyedi hűtőborda

Az egyedi hűtőborda tervezésénél a fő szempontok a lézermódul hűtésének maximalizálása mellett a hossz méret csökkentése, az áramellátás, a fókuszálólencse szennyeződésének elkerülése és a lézermódul hőmérsékletének mérése volt. A ház elemeit AW-6082 alumíniumból készítettük el. A választott anyagnak kedvező a szilárdsága, jó a forgácsolhatósága és a hővezető képessége.

A lézeres gravírozó hűtésintenzitásának növelését több módon is befolyásoltuk. A hűtésért felelős alkatrészben bordákat készítettünk, emellett a lézermódul palástja körül 14 furatban sűrített levegő áramoltatásával növeltük a hőelvonást. A lézermódul helyénél Ø20,7 mm H7-es furattal biztosítottuk a palástfelületek közötti illesztést. A hőátadás növelése érdekében a hűtőborda és a diódlézer között hővezető pasztát alkalmaztunk (5. ábra).

A diódlézer aktuális hőmérsékletének mérésére NTC 10K típusú hőmérőt alkalmaztunk, amelynek a jeleit az Arduino Nano dolgozza fel. A hőmérő mérési tartománya -30–120 °C, míg mérési pontossága 4–50 °C között ± 2%. A mérőeszköz DC 2,2–12 V-os elektromos rendszerekbe integrálható.

Az elektromos csatlakozást 6 érintkezős Pogo pin csatlakozóval oldottuk meg. A teljesítményből adódóan a Pogo pin érintkezők károsodásának elkerülése érdekében 2-2 érintkező valósítja meg a diódlézer és a vezérlője közötti kapcsolatot.



3. ábra. Arduino Nano mikrokontroller



4. ábra. Lézermódul gyári hűtőrendszerének hibája

A rendelkezésre álló hely szűkössége miatt a Pogo pines csatlakozóknál egyedi nyáklapot terveztünk. Az egyedi gravírozóház műanyag elemét 3D-s nyomtató segítségével (Creality Ender 3 v2), PLA (Polylactic acid) anyagból készítettük el.

Mivel a CNC-marógépnek nincsen főorsón kívüli vagy főorsón belüli hűtőrendszere, így ki kellett építeni a projekt keretein belül egy sűrített levegős hűtőrendszert. A sűrített levegő Ø6 mm-es csőspirálon (Aventics TU1-S-PUR 006-0105-NT-100) keresztül, pneumatikus csatlakozó segítségével (Aventics QR1-AAN G014-DA06) jut a hűtőbordába. A sűrített levegő a hűtőborda hűtése mellett megakadályozza a fókuszálólencse szennyeződését (korom felrakódását) azáltal, hogy a sűrített levegőt a lencse elé irányítva, a lézernyalábbal párhuzamosan áramlik ki a lézerdiódaházból.

Az általunk tervezett lézerdiódaház hosszmérete 85 mm, így 25%-kal lett kisebb, mint az eredeti 113,7 mm hosszméret. Az új lézerdiódaház rögzítése könnyen megoldható az iparban használt szerszámrögzítő készülékek segítségével (pl.: ER patronos szerszámbefogó). Az egyedi hűtőborda szimmetriatengelye 1 mm-es tartományban állítható 3 darab, 120°-ban elhelyezett hernyócsavar segítségével, így egytengelyűvé lehet tenni a hűtőbordát a főorsóhoz képest.

A végleges konstrukció 62 elemből épül fel, ami tartalmazza a főbb alkotóelemeken kívül a csavarokat, elektromos csatlakozókat és a tömítéseket. A **6. ábra** szemlélteti az egyedi hűtőborda virtuális modelljét, valamint a legyártott és összeszerelt lézerdiódaházat.

3.2. A tápfeszültségmodul háza

A lézergravírozó használata során az elektronikai rendszerek 12 V-os és 5 V-os tápfeszültség mellett üzemelnek. A CNC-marógép elektromos rendszerét nem használhattuk a garanciaszer-

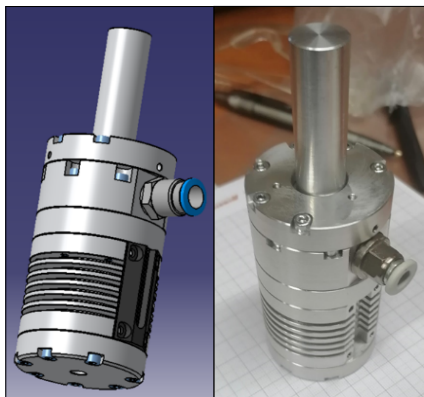
ződés miatt, így a CNC-marógép oldalán található 115 V-os hálózati csatlakozóaljzat segítségével építettük ki az elektronikai rendszereinek tápfeszültség-ellátásait. Mivel az Arduino vezérlő-elektronikai rendszer érzékeny a kis feszültség-ingadozásokra, ezért az elektronikai rendszereink tápfeszültségének előállítására egy AC/DC kapcsolóüzemű tápegységmodult (PXX-2412DC-12V) használtunk.

A tápegységmodul segítségével a CNC-marógép hálózati csatlakozóaljzatából kijövő 115 V-os (AC) feszültséget 12 V-os (DC) feszültségre átalakítottuk. Az így kapott feszültség már alkalmas a gravírozófej elektronikájának működtetésére, azonban az Arduino elektronika működtetésére még további transzformálás szükséges. Az Arduino rendszer feszültségének előállítását a 3.4. fejezetben részletezzük.

Az elektronikát védő burkolat esetén egy számítógéptáp házát használtuk fel. Az elektronika hűtésére az eredeti tápban található hűtőventilátort alkalmaztuk. A biztonságos üzemeltetés érdekében a bejövő 115 V-os feszültséget egy kétállású billenőkapcsoló segítségével (ST 1/BK [MRS-1]) tudjuk megszakítani, ezzel teljesen feszültségmentesíteni tudjuk az általunk vezérelni kívánt elektronikákat. Megmunkálás során a billenőkapcsoló elérése nem lehetséges a CNC-marógép ajtóburkolatából kifolyólag, így a CNC-gép vészleállító kapcsolóházának hála egy Eaton m22-k01-es nyitó érintkezőelem beépítésével a tápegységmodul által előállított 12 V-os feszültség megszakítható. Ezzel biztosítottuk, hogy a vészleállító gomb alkalmazásával nemcsak a CNC-gép mozgásai rögzülnek, de a lézermódul és a lézermódult vezérlő elektronikák is kikapcsolnak. Ezen kívül a 12 V-os tápfeszültségének ellenőrzésére digitális



5. ábra. Hűtőborda felülnézeti képe



6. ábra. Az összeállított lézerdiódaház virtuális és valós képe

voltmérőt szereltünk be a tápegység áramkörébe. A lézerdióda teljesítményének mérése céljából ACS712 5A típusú, Hall-elemes áramérzőkelő modult alkalmaztunk, amit szintén a tápegységmodul házán belül rögzítettünk (7. ábra).

3.3. A lézerdióda elektronikájának háza

A LD4070HF Pro gravírozófej elektromos vezérlőjének különálló házat terveztünk, amit a CNC-marógép főorsójának oldalán kívántunk elhelyezni. A lézermodul elektromos áramkör vezérlőjének háza tervezésekor figyelembe vettük, hogy a gravírozófejet gyártó cég forgalmaz egy kiegészítő elektronikai nyákot (Interface and adapter board), amelynek segítségével több elektromos csatlakozási lehetőséget biztosítanak a lézermodul elektromos és vezérlőáram-ellátására. Az előbb említett nyáklap alkalmazásával a nyákon található sorkapcszon keresztüli elektromos vezeték bekötése mellett döntöttünk a könnyű szerelhetőség miatt. Emellett a ház tervezésekor figyelembe vettük, hogy a lézermodul vezérlőelektronikáját nagy teljesítményfelvételnél hűteni kell a túlmelegedés ellen. Ennek érdekében az eredeti gravírozófejben található hűtőventilátor felhasználásával tudjuk biztosítani az elektronos egységek hűtését úgy, hogy a vezérlőelektronikába beépített vezérlés kapcsolja be a ventilátort, ha a lézerfej felvett teljesítménye eléri a maximális teljesítmény 3%-át. A 8. ábra szemlélteti a lézervezérlő elektronika házának virtuális elemeit.

A ház burkolati elemeit 3D-s nyomtató segítségével, RAL 9016 színkódú PLA felhasználásával nyomtattuk ki (9. ábra).

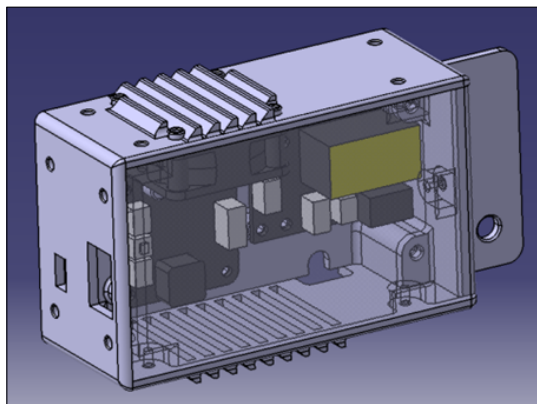
3.4. A vezérlőelektronika háza

A 2.3. fejezetben bemutatott Arduino Nano alkalmazásával lehetőségünk nyílt nemcsak a gravírozófej vezérlésére, hanem egyéb ellenőrző

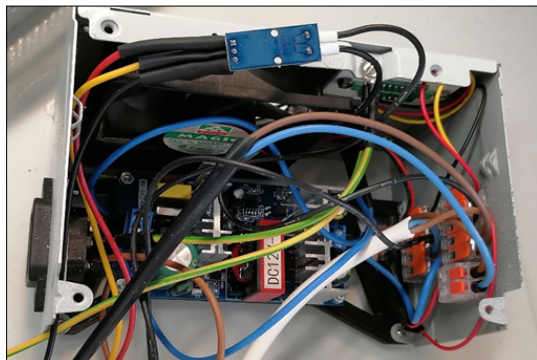
elektronikák egyidejű működtetésére is. A tervezett Arduino programot a 4.1. fejezetben mutatjuk be, itt csak a beépített elektronikai eszközöket és a rögzítésükre tervezett házat részletezzük.

A könnyű szerelhetőségből kifolyólag az Arduino Nano nyáklaphoz egy szabványosított terminálsatoló lapot illesztettünk. A 12 V-os feszültséget az egyedi burkolatban található nyomógombok (V19-11R-12G/R) LED diódái használják. Az Arduino Nano üzemi feszültsége 5 V, így a 12 V-os tápfeszültség letranszformálására (átalakítására) STDN-3A24-ADJ gyári számú, 3 A-es, állítható, step-down DC-DC kapcsolóüzemű tápegységmodult alkalmaztunk. Annak érdekében, hogy az Arduino vezérelni tudja a nyomógombokban található 12 V-os LED diódákat, egy LS-BIDI-4 jelzésű 4 csatornás Bi-directional logikai szintillesztőt (level-shift) használtunk, amelynek hatására az áramkör bármelyik 4 bemenetére kötött 5 V-os jel 12 V-os kimeneti jelet ad.

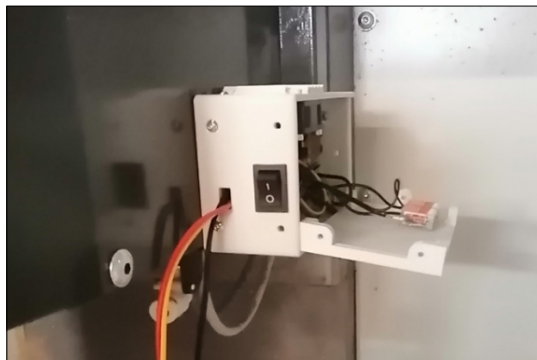
A gravírozófej vezérlésének tervezésekor figyelembe vettük a CNC-marógép működtetésének



8. ábra. Lézervezérlő áramkör házának virtuális, 3D-s terve



7. ábra. Az összeállított tápfeszültségmodul háza



9. ábra. Az összeszerelt lézergravírozó vezérlésének háza

adottságait. A CNC-marógépen található „cycle start” (Eaton 216512 M22-D-G-X1/K10) és „feed hole” (Eaton 216510 M22-D-R-X0/K01) nyomógombok segítségével nemcsak a CNC-marógépen aktív megmunkáló program indítását és megállítását tudjuk vezérelni, de a lézerfej működési állapotát is befolyásolni tudjuk a nyomógombokba szerelhető Eaton 216376 M22-K10 jelzésű érintkezőelemek segítségével.

A PWM-jel előállítására és szabályzására egy 100 k Ω -os, analóg, 270°-ban forgó potenciométert alkalmaztunk, így megmunkálás közben tudjuk állítani a lézerdióda teljesítményét.

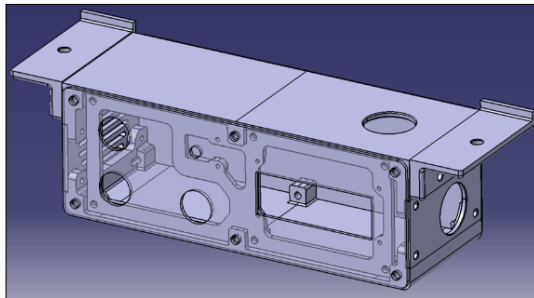
Az előbb felsorolt elektronikai egységeken kívül még a 3.1. fejezetben bemutatott NTC 10K típusú hőmérőhöz tartozó elektronika (lehúzó ellenállás) is ide épült be. A lézerdióda vezérlésének megkönnyítése érdekében egy 1602-es LCD-kijelző és a hozzá tartozó vezérlőelektronika segítségével adatok megjelenítését tettük lehetővé a lézerdióda működése közben.

Az egyedi burkolat tervezése során nemcsak az elektronikai alkatrészek méretét vettük figyelembe, hanem fontos szempont volt az ergonomiai és esztétikai megjelenés is. A burkolati elemek tervezésénél figyelembe kellett vennünk a gyártási körülményeket, így az alkalmazott 3D-s nyomtató (Creality Ender 3 v2) mozgástartományát (x-y irány) szem előtt kellett tartanunk. Emellett a jövőbeli bővítések megvalósíthatósága érdekében a burkolatot moduláris szemlélettel terveztük meg. Az általunk tervezett burkolatot a **10. ábra** szemlélteti.

A burkolat kivitelezésénél szintén 3D-s nyomtatás segítségével készítettük el az általunk tervezett elemek jelentős részét RAL 9016 színekódú PLA felhasználásával. Az előlaplemez az esztétikai megjelenésből adódóan, lézervágás segítségével 2 mm vastagságú rozsdamentes acéllemezből (X5CrNi18-10) készült (**11. ábra**).

4. Diódalézer működtetése CNC-marógép vezérlőjének segítségével

A lézergravírozó működtetését a Haas Mini Mill EDU vezérlőelektronikáján található 5 darab, M kóddal vezérelhető relével (I/O PCB kimenet) oldottuk meg. A relék két módon tudnak üzemelni. Az első esetben a megfelelő M kód alkalmazásával a CNC-marógép áramköreitől elkülönített relék érintkezői akár 120 V-os váltakozó feszültség esetén (AC) 3 A-es áramerősséget is lehet vezérelni. A relék SPDT (Single Pole Double Throw) kialakításúak, így egy relé akár két eszköz vezérlését is tudja végezni egy időben. A másik üzemelési



10. ábra. A gravírozófej vezérléseit szolgáló elektronikák burkolata



11. ábra. Lézerfejvezérlő elektronikák burkolata

forma esetén egy másik M kód parancs meghívásával tudjuk üzembe helyezni a relét, amely addig üzemel, míg a vezérelt elektronika nem küld a CNC-marógép vezérlőjének M-fin jelet, ami átkapcsolja a relé állását a kiindulási pozícióba [10].

4.1. Az Arduinón futó vezérlőprogram

Az Arduino Nano bemenetének 5 V-os tápfeszültséggel történő ellátását követően (STDN-3A24-ADJ) az Arduino Flash memóriájában található program futtatása folyamatosan zajlik. A 2.3. fejezetben említett Arduino IDE-program használatával készítettük el az elektronikai rendszerek vezérlését szolgáló programot. A program készítése során úgy határoztunk, hogy a gravírozófejet kétféleképpen szeretnénk működtetni, így ennek megfelelően terveztük meg és készítettük el az elektromos rendszereket.

Az Arduino rendszer bekapcsolását követően a program beállítási része lefut, majd a program ciklusos részében található „Teszt” üzemmód automatikusan elindul. Teszt üzemmódban manuálisan tudjuk üzemeltetni a gravírozófejet úgy, hogy az Arduino 2-es digitális lábára (be- és kimenet) kötött V19-11R-12G (zöld LED) típusú nyomógomb megnyomásával a gravírozófej üzembe helyezhető. A lézermódul üzemelése a nyomógomb nyomva tartásáig üzemel a programban rögzített 10%-os PWM jelszinten. Ezzel elértük, hogy a lézermódul üzemképességét tesztelni lehessen,

emellett a főorsó közepének pontos helyzete is vizuálisan megjelenik a munkadarab felületén (tájolás esetén hasznosítható funkció). A nyomógombba szerelt zöld LED folyamatos világítása mellett az LCD-kijelzőn is feltüntettük, hogy a kezelőnek egyértelműen a tudtára adja a vezérlés ciklusának állapotát (**11. ábra**).

Az Arduinón futtatott program ciklusos részében található másik üzemmód a „Ciklus” (Cycle) üzemmód. Ciklus üzemmódban tudja vezérelni a Haas-vezérlő a lézermódult több feltétel teljesülését követően. A ciklus üzemmódba a V19-11R-12R-S (piros LED) jelölésű pozícióban maradó nyomógomb megnyomásával tudunk belépni, amit az Arduino 3-as digitális lábára kötöttünk. Ekkor a program folyamatosan vizsgálja, hogy a 4. fejezetben bemutatott, M-kóddal üzemeltethető relék közül az M21-es relé használatával kap-e jelet az Arduino 7-es digitális lába. Emellett a CNC-marógép „ciklus indítása” (cycle start) és „előtolás szüneteltetése” (feed hole) (Eaton 216376 M22-K10 jelzésű érintkezőelemek) nyomógombjainak megnyomásával a lézerfej ki- és bekapcsolható a CNC-marógépen futtatott program esetén is. Ebből adódóan, a „feed hole” nyomógomb megnyomásának hatására a CNC-marógép mellékmozgásának szüneteltetésekor a gravírozófej is kikapcsolódik, míg a „cycle start” gomb megnyomásával a CNC-marógépen futó program futtatása folytatódik, és a gravírozó is ismét bekapcsolt állapotba kerül. A ciklus üzemmód jelölésére a V19-11R-12R-S jelölésű nyomógomb LED fénye pirosan világít, és az LCD-kijelzőn is megjelenítettük, hogy az Arduino jelenleg ciklus üzemmódban van (Current mode: CYCLE).

Jelen állapotában a lézer teljesítményét (PWM-jel nagyságát) csak manuálisan lehet vezérelni a 3.4. fejezetben bemutatott, 100 (kΩ)-os, analóg, 270°-ban forgó potenciométer segítségével. A potenciométer középső kimenetét az Arduino A0-s lábára (analóg 0-s bemenet) kötöttük, így a potenciométer által befolyásolható ellenállás nagyságát arányosítjuk a PWM jelszintjének értékéhez.

A CNC-program futtatásának hatására az LCD-kijelzőn megjelenítjük a potenciométer állásának értékét százalékban, emellett a 3.2. fejezetben bemutatott, ACS712 5A típusú, Hall-elemes áramérzékelő modul által mért áramerősségi értékből számolt teljesítmény értéke mellett a 3.1. fejezetben ismertetett, NTC 10K típusú hőmérő által mért hőmérsékletet is megjelenítjük. Így megmunkálás közben ellenőrizhetjük a lézermódul által felvett teljesítmény értékét és a lézerdióda működésekor keletkezett veszteségekből szár-

mazó hőfejlődés nagyságát.

Az Arduino program írása közben virtuális térben ellenőriztük a programrészek helyességét Autodesk Tinkercad szoftver segítségével. A Tinkercad szoftver áramkörtervező modulja képes a virtuális térben összerakott áramkörök vezérlésére, ezzel nagyban megkönnyítve az Arduino Nano futó program készítését, hiszen a valóságban egy elektromos hiba (például: rövidzárlat) akár végzetes károsodást is tud okozni az Arduino áramkörében. A valóságban alkalmazott kapcsolók, ellenállások és egyéb elektronikai elemek egyszerűsített virtuális másolataival meg tudtuk tervezni a vezérlőelektronika bekötéseinek helyeit. Emellett a vezérlőprogram futtatásánál vizuálisan is megjeleníti a Tinkercad program az esetleges programhibákból adódó hibákat (például: LED helytelen működése).

Az Arduino IDE szoftverben megírt és a Tinkercad szoftverben ellenőrzött vezérlőprogram hibátlan futtatása után, az általunk használt Arduino Nano mikroprocesszorra feltöltöttük a vezérlőprogramot. Kisebb átalakítást követően (lehúzó-ellenállások bekötése) a vezérlőprogram tökéletesen működött.

Catia P3 V5R21 CAX szoftver alkalmazásával készítettünk egy gravírozó maróciklust. A posztprocesszálist követően a rá- és leállási parancsokat kicseréltük a vezérelhető I/O PCB kimenet (relé) vezérlésére szolgáló M-kódokra. A tesztprogram-futtatás hibamentesen hajtottott végre (**12. ábra**).

5. A lézer biztonságos működtetése

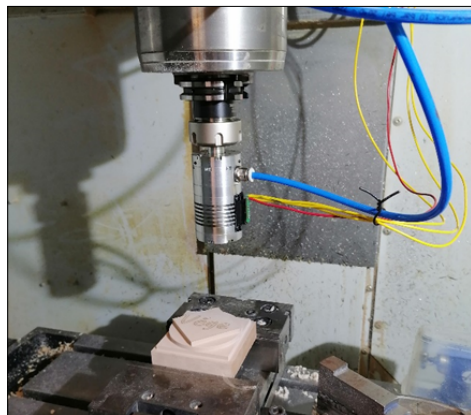
Lézerfény alkalmazása esetén a gépkezelő bőrfelületének és szemének védelmét biztosítani kell. A közvetlen lézerfény besugárzása komoly sérüléseket okozhat az ember bőrfelületén vagy szemében. Azonban a szórt (visszaverődött) lézerfény esetén is meg kell akadályozni a bőr vagy a szem sérülését. A projekt tervezése során megállapítottuk, hogy a CNC-marógép burkolati elemei megakadályozzák a szórt lézerfény bőrt érő káros hatások létrejöttét. Az emberi szem védelme érdekében védőszemüveg alkalmazását írtuk elő, mert az alkalmazott lézerdióda teljesítményéből kifolyólag, az IEC 60825 szabvány szerint, a Class 4-es osztályba tartozik. Az előírt védőszemüveg tulajdonsága, hogy a 190 nm-től az 540 nm-es fényt meg tudja szűrni úgy, hogy az optikai szűrőképességi értéke (OD: optical density) 5.

6. Következtetések

A cikk részletesen bemutatja, hogy miként lehet integrálni egy kereskedelmi forgalomban kapha-



12. ábra. Tesztprogram által készített lézergravírozás



13. ábra. Főorsóba helyezett lézergravírozó

tó lézeres gravírozófejekben (LD4070HF Pro) található diódalézert egy ipari CNC-marógépbe.

A fejlesztési projektünk egyik sarkalatos pontja az eredeti LD4070HF Pro lézeres gravírozófej 113,7 mm-es hosszúságának csökkentése volt. A tervezés során törekedtünk a hossz méret csökkentésére, így az általunk tervezett lézeres gravírozómodul hűtőbordája és a hozzá tartozó elemek összegzett hossza 85 mm hosszúságú, ami 25%-kal kisebb az eredeti lézermódul hosszánál.

A diódalézer hűtésének intenzitása érdekében egyedi hűtőbordát készítettünk. A lézermódul hűtését több módon is biztosítottuk. A hűtőbordában található Ø20,7 mm-es H7-es illesztett furat biztosítja a diódalézer átmeneti illesztését. A lézerdióda működése közben keletkezett hő jelentős részét az egyedi hűtőbordában található 14 furatban áramoltatott sűrített levegő vezeti el. A hűtőbordából távozó sűrített levegőt a diódalézer fókuszálólencséhez áramoltatjuk, így megakadályozzuk a lencsére történő koromlerakódást.

A cikkben részletesen bemutatjuk a lézermódul működtetésénél használt, általunk tervezett elektronikai rendszereket és a hozzájuk tervezett egyedi burkolati elemeket.

Továbbá bemutattuk, hogyan lehet CNC-marógép vezérlőjének használatával működtetni a lézeres gravírozófejet. Az általunk tervezett lézeres gravírozófej (13. ábra) és a hozzá tartozó kiegészítő egységek képesek megmunkálás közben mérni és megjeleníteni a lézerdióda által felvett teljesítményt és a diódalézer aktuális hőmérsékletét.

A projekt anyagköltsége, ami magába foglalja az elektronikai berendezéseket, vezetékeket, kötőelemeket, hűtőház elemeihez használt alapanyagot és a diódalézert, 125 000 Ft.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Perfor cég weboldala: Szerszámköltség és gazdaságos forgácsolás. <https://perfor.hu/szerszamlasztas-gazdasagos-forgacsolas> (letöltve: 2024. március 19.)
- [2] Hoffmann GmbH: *Forgácsolási kézikönyv*. Hoffmann Gruppe, München, 2016. 141–161.
- [3] Ábrahám Gy., Lőrincz E., Antal Á., Tamás P.: *Lézer technika* (jegyzet). Budapesti Műszaki Egyetem, Budapest, 2015. ISBN 978-963-313-203-6
- [4] Trumpf cég weboldala: Mi a lézergravírozás? https://www.trumpf.com/hu_HU/megoldasok/alkalmazasok/lezeres-jeloleles/lezergravirozas (letöltve: 2024. március 5.)
- [5] Kovács I.: *Lézeres jelölés* (szakdolgozat). OE-BGK, Budapest, 2017. 6–9.
- [6] Dobránszky J., Bitay E.: *Polimerek lézersugaras jelölhetősége*. XVII. Műszaki Tudományos Ülésszak, Kolozsvár, 2016. 71–78. <https://doi.org/10.33895/mtk-2017.06.07>
- [7] LD4070HF Pro lézergravírozó fej gyártójának a weboldala: http://voidmicro.com/Products/Laser/LD4070HF_Pro-en.html (letöltve: 2024. március 10.)
- [8] Haas Automation cég weboldala: Haas Mini Mill EDU <https://www.haascnc.com/hu/machines/vertical-mills/mini-mills/models/minimill-edu.html> (letöltve: 2023. árcius 10.)
- [9] Starduino: Arduinóval foglalkozó weboldal kezdők számára: <https://starduino.hu> (letöltve: 2024. március 10.)
- [10] Haas Automation cég weboldala: Robot integrációs támogatása – NGC <https://www.haascnc.com/service/troubleshooting-and-how-to/reference-documents/robot-integration-aid--ngc.html> (letöltve: 2024. március 10.)