

I. Nyomtatott huzalozások technológiája

A mérés célja: a nyomtatott huzalozások mechanikai, fotolitográfiai, valamint a szelektív rétegfelviteli és ábrakialakítási technológiáinak megismerése.

A mérési feladat: olyan kétoldalas, furatfémmezett, fényes önbevonattal ellátott nyomtatott huzalozású hordozó készítése, melynek előállításában a hallgatók is részt vesznek, és amelyet az Elektronikai Technológia gyakorlat más mérésein is fel fognak használni. A gyakorlatvezető irányításával a hallgatók elvégzik a nyomtatott huzalozású lemezek gyártásának főbb technológiai lépéseit.

A mérés elvégzésével megszerezhető képességek: az alkalmazott berendezések működését és működési elvét, az alapvető technológiákat, a technológiák gyakorlati alkalmazását valamint a környezetvédelmi ismereteket tanulmányozzák a hallgatók.

A mérés során felmerülő fogalmak rövid meghatározása:

Nyomtatott huzalozású hordozó (lemez): Az elektronikus készülékek, berendezések döntő többségénél a diszkrét aktív és passzív alkatrészeket nyomtatott huzalozású hordozókra szerelik. E hordozók feladata az alkatrészek mechanikai rögzítése és az alkatrészek kivezetői közötti villamos kapcsolat megteremtése szigetelő lemezen megvalósított vezető rajzolat révén.

Furatfémmezés: a fúrás elvégzése, és megfelelő felületkezelés után a villamos szempontból szigetelő furatfalra árammentes, illetve elektrokémiai rétegépítési technológiákkal rezeszt, majd ónréteget visznek fel. A furatfémmezés alkalmas vezető síkok közötti átvezetések (viák) kialakítására és a forrasztási felület megnövelése révén mechanikailag erősebb kötést kapunk. Már a huzalozás-tervezés során figyelembe kell venni a furatfémmezés vastagságát a furatátmérő meghatározásakor. Fontos a furatfémmezés minősége, elsősorban a megfelelő áramterhelhetőség, a jó tapadás és a forraszthatóság.

Rajzolatfinomság: A nyomtatott huzalozások fontos jellemzője a rajzolatfinomság, azaz a rajzolon előforduló minimális vezeték- és szigetelő köz-szélesség. Ennek minimális értéke általában 0,1...0,3 mm, de ha az áramterhelhetőség, illetve az üzemi feszültség indokolja, akár néhány mm is lehet.

Fotolitográfia (fotoreziszt technológia): A fotolitográfia során a hordozó felületére fényérzékeny anyagot, ún. fotorezisztet visznek fel. A fotoreziszt anyaga laminálással felvitt fólia (szilárd rezisztek), szitanyomtatással felvitt kétkomponensű lakk, vagy ún. függönyöntéssel felvitt folyékony reziszt. A függönyöntésnél megfelelő részen át szivattyú segítségével függőleges folyékony reziszt filmet hoznak létre, melyre merőlegesen halad a hordozó. A fotoreziszt film egyenletesen ráterül a hordozó felső oldalára. A folyékony reziszteket megvilágítás előtt beszárítják. Megvilágításkor az UV fény hatására kémiai kötések alakulnak ki, vagy bomlanak fel, miáltal megváltozik az előhívószerral szembeni oldhatóság. A fotorezisztet ún. gyártófilmen keresztül világítjuk meg, mely a megvalósítandó rajzolatot tartalmazza. Az ún. **negatív működésű reziszteknél** a megvilágított részekeken oldhatatlanná válik a fotoreziszt bevonat. Ritkán **pozitív működésű reziszteket** is alkalmaznak, amikor a megvilágított részek oldhatók az előhíváskor. Az előhívás után a felületen maradó szelektív fotoreziszt bevonat a maszk. **Negatív maszkról** akkor beszélünk, amikor a megvalósítani kívánt ábra negatívja a maszkkal fedett rész. **Pozitív maszknál** a maszk a rajzolatnak megfelelő részeket fedi. Előbbit szelektív rétegfelviteli (pl. galvanizálás), utóbbit réteg eltávolító technológiákhoz (maratás) használják. A gyakorlaton negatív maszkot készítenk.

Nedveskémiai bevonat-készítési technológiák: A nyomtatott huzalozások technológiájában a galvanizálást, az árammentes bevonat-felvitelt és az ún. immerziós bevonatkészítést soroljuk ide. Mindhárom eljárás folyékony közegben (elektrolitokban) kémiai reakciók révén megy végbe, ezért nevezzük e technológiákat nedveskémiai eljárásoknak. Közös tulajdonságuk, hogy e folyamatok mindegyike redukció: pozitív töltésű fém-ionok elektronfelvétellel fémmé redukálódnak. Galvanizálás során a redukció elektromos áram hatására megy végbe, árammentes rétegfelvitel

esetén redukálószerrel használnak, az immerziós bevonat készítésekor pedig az elektródpotenciálok különbsége a folyamat hajtóereje.

Alkalmazott technológiák:

- mechanikai technológiák: lemezollóval végzett darabolás, fúrás, csiszolás, kontúrmarás;
- fotolitográfia: fotoreziszt felvitele, gyártófilm illesztése, megvilágítás, előhívás;
- nedveskémi technológiák: tisztítás, rétegfelvitel, rétegtávolítás (maratás).

A nyomtatott huzalozású hordozók gyakrabban használt alapanyagai: A különböző hordozók felhasználási területeit a vázanyag és a kötőanyag fizikai és kémiai tulajdonságai határozzák meg. Néhány elterjedten alkalmazott hordozó fontosabb tulajdonságai az 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat. Alapanyagok néhány tulajdonsága

Tulajdonság	Mértékegység	fenol-papír	epoxi-papír	epoxi- üvegszövet
		Előírt érték a NEMA LI-1 szabvány szerint		
Szabványos jelölés		FR2	FR3	FR4
Árarányok (FR4 = 100 %)		55 %	65 %	100 %
Hajlítószilárdság, min.	N/mm ²	80	110	300
Mechanikai megmunkálhatóság		+++	+++	+
Vízfelvétel, min.	mg	40	40	20
Felületi ellenállás min.	Ω	10^9	3×10^9	10^{10}
Veszteségi tényező 1 MHz-en		0,050	0,045	0,035
Dielektromos állandó 1 MHz-en		5,5	5,2	5,4
Forraszfűrdőállóság 260 C°-on	s	10	20	20
Rézfólia lefejtési szilárdsága, min.	N/mm	1	1,2	1,4

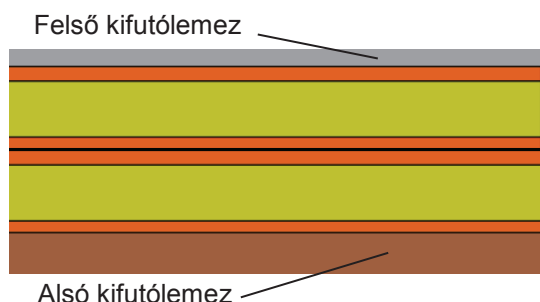
A megvalósítandó áramkörökhöz az optimális hordozó-anyagot az egyes tulajdonságok – pl. villamos és/vagy mechanikai tulajdonságok, környezetállóság, ár – mérlegelésével kell megválasztani. Olyan célra, ahol az ár a lényeges szempont, legtöbbször az olcsó **papírváz erősítésű fenolgyanta** lemezeket használják. Ezek hőállósága megfelelő, jól megmunkálhatók, de nagy a nedvszívó képességük és kicsi a mechanikai szilárdságuk. Gyártják önkioltó változatban is, ami azt jelenti, hogy a hordozó meggyulladás esetén égést elfojtó gázok keletkeznek. Az ilyen tulajdonsággal rendelkező hordozók szabványos jelölése tartalmazza az FR (Flame Retardant) jelzést. A **papírváz erősítésű epoxigyanta** lemezek kis dielektromos veszteségi tényezővel és kedvező szigetelési tulajdonságokkal rendelkeznek. Jól sajtolhatók, hajlító szilárdságuk jobb, mint a fenolgyanta lemezeké. A megmunkálási körülményektől függően fémzett falú furatok készítésére is alkalmasak. Az **üvegszövet erősítésű epoxigyanta** lemezek kiváló villamos, mechanikai és hőállósági tulajdonságokkal rendelkeznek. Vízfelvételük csekély. Furatfémzési technológiákhoz kiválóan alkalmasak. A két oldalon huzalozott, fémzett furatú és többrétegű nyomtatott huzalozású lemezek legelterjedtebben használt szigetelőanyaga.

Az említett hordozók mellett számos egyéb anyagot is használnak, melyek alkalmazását egy-egy különleges tulajdonságuk teszi indokoltá. Ilyen lehet például a kis dielektromos állandó vagy veszteségi tényező, a hőmérsékletállóság, hőtágulási és hővezetési tulajdonságok. Kiváló dielektromos tulajdonságai miatt a mikrohullámú elektronikában gyakran alkalmazzák a **politetrafluoretilént (PTFE)**, közismert nevén a teflont. Alkalmazásának korlátja elsősorban az igen magas ár. A **poliimidet** jó szigetelési tulajdonságai mellett elsősorban az epoxigyantához képest magasabb hőállósága miatt célszerű esetenként használni.

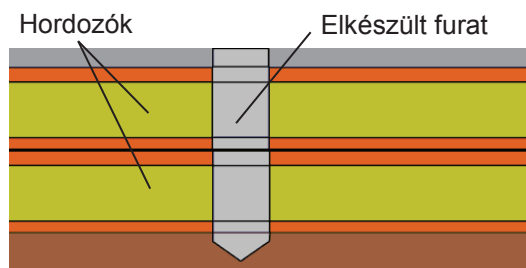
A mérés menete

1. CNC fúrás

A CNC fúráshoz köteget készítünk, azaz lemezollóval méretre vágjuk az FR4-es epoxi-üvegszövet hordozót, valamint a kifutólemezeket, majd két helyen fúrás után 3 mm átmérőjű csappal egymáshoz rögzítjük a lapokat. Felső kifutólemezként 0,24 mm vastag kemény alumínium lemezt, alsó kifutólemezként pedig 2,5 mm vastag döntően műgyantából és farostból álló lemezt használunk. A termelékenység növelése érdekében rendszerint több hordozót fognak össze, egyszerre végezve el azok fúrását (1. ábra). A kötegben egyszerre fúrható hordozók számát (általában 2...4 db) a fúróprogramban előforduló legkisebb átmérőjű furatra számított furathossz-furatátmérő arány határozza meg, amelynek általában 7-nél nem szabad nagyobbak lennie. A kifutó lemezek alkalmazásának célja elsősorban a sorjaképződés megakadályozása. Az alsó kifutólemez feladata egyben a munkaasztal védelme is. A köteggészítést követő lépés a fúrás, ami CNC géppel történik (2. ábra).



1. ábra. Elkészült köteg (pakett)



2. ábra. CNC-fúrás

A köteget a két csap alul kilógó részét megfogó pneumatikus szerkezet segítségével lehet a munkaasztalon rögzíteni. A fúróorsót ill. az asztalt nagy menetemelkedésű csavarorsók közbeiktatásával szervomotorok mozgatják a három tengely irányában. A gép működése közben keletkező fúrási törmeléket elszívó rendszer távolítja el.

A számítógépes tervezés (CAD) befejezésekor gyártófájlokat készítenek, ezek egyike a fúrógépet vezérlő, rendszerint *drl* kiterjesztésű fájl, amelynek kiterjesztése a fúrás angol elnevezéséből (*drill*) származik. A fúróprogram tartalmazza azt az információt, mely meghatározza furatok átmérőjét és azok koordinátáit. A furatkoordináták átmérők szerint csoportosítva szerepelnek a fúróprogramban, az átmérő általában 0,1...6,3 mm közé esik, ennél nagyobb furatokat kör kontúrmarásával lehet kialakítani. 3 mm feletti átmérőjű furatoknál a légcsapágyazású orsók kímélése érdekében 1 mm körüli átmérőjű szerszámmal előfúrást végeznek, ezek a furatok a program elején helyezkednek el. A furatok elkészítésének sorrendje erőteljesen befolyásolja a termelékenységet, ezért a gyártás előkészítésekor az orsó útvonalát optimalizáljuk. Fúrás közben a számítógép kijelzi a gép működésének fő adatait: az éppen használt átmérőt, a fordulatszámot, az előtolási sebességet, az összes furat számát, az éppen készülő furat sorszámát és a fúró pillanatnyi koordinátáit. Az optimális technológiai paramétereket (fordulatszám, előtolási sebesség) az alábbi összefüggésekkel határozhatjuk meg:

$$n = \frac{v}{d\pi} \quad (1)$$

és

$$v_e = e \times n \quad (2)$$

ahol:

- **n**: fordulatszám (ford/min),
 - v : a fúró kerületi ("vágási") sebessége $\approx 100...150$ m/min,
 - d : a fúró átmérője $\approx 0,1...6,3$ mm,
- v_e : előtolási sebesség (m/min),
 - e : előtolás $\approx 0,05...0,15$ mm/ford.

Fentiekből adódóan a fordulatszám általában 18...125 ezer ford/min, az előtolási sebesség 2...4 m/min. A fűrőgép a szerszámot tárból emeli ki, és annak hosszát, átmérőjét, valamint a forgás közben fellépő oldalirányú elmozdulását (excentricitását) lézeres berendezéssel méri. Amennyiben a mért érték a megadott tűrésen kívül esik, hibaüzenettel visszateszi a szerszámot a tárba, s ha esetleg van még ott ugyanolyan átmérőjű szerszám, akkor azt is megméri. A fűrást a köteg szétbontása követi, melyet pneumatikus csapkinyomó segítségével végzünk el.

2. Nedves csiszolás

A kifűrt hordozók csiszolását 4 csiszoló hengerrel rendelkező berendezéssel végezzük, 2 henger fölülről, 2 pedig alulról csiszolja meg a lemezeket, majd nagynyomású vizes öblítés és meleg levegős szárítás következik. Csiszolás közben a szállítószalagon egyenletes sebességgel haladó hordozót mindkét oldalról vízzel permetezzük, így megfelelő érdességű tiszta rézfelületet kapunk. A csiszoló és támasztó hengerek helyzetét a hordozóvastagság függvényében kell beállítani. A csiszolás eltávolítja a rézfelületen lévő szennyeződések nagy részét, az oxidot, megszünteti a fűráskor keletkezett kismértékű sorját a furatok pereménél, és egyúttal biztosítja a kellő felületi érdességet a további műveletekhez.

3. Furatfémezés

A csiszolást a **furatfémezés** követi. A galvanizálás során a redukció külső áramforrásból eredő elektron(ok) felvétele révén megy végbe, azaz a munkadarab felületének vezetőnek (ekvipotenciálisnak) kell lennie. Ezt áthidalhatjuk azzal, hogy a furat szigetelő falának szigetelési ellenállását palládium szulfidos bevonattal lecsökkentjük (direkt galvanizálás). Bár a hordozó felszíne a furatok falán nem tekinthető klasszikus értelemben vezetőnek (egy-egy furat ellenállása $n \times 10 \text{ k}\Omega$), viszont a kialakított vegyület bevonat lehetővé teszi a galvanizálást. Így a furatok falára kb. 5 μm vastag rézbevonat kerül (3. ábra).



3. ábra. Hordozó a furatfémezés után

4. Fotoreziszt maszk készítés

A fotoreziszt számos fontos fizikai-kémiai tulajdonsága UV fény hatására megváltozik. Ilyen számunkra fontos tulajdonság az oldhatóság. A gyakorlat során szilárd fotoreziszt felhasználásával készítünk negatív maszkot. A szilárd fotoreziszt tekercsben kapható, a fényérzékeny anyag 2 védőfólia között helyezkedik el. Főként környezetvédelmi okok miatt lúgos vizes oldatban előhívható fotorezisztet használunk. A megfelelően megcsiszolt, légkeveréses kemencében előmelegített lemezekre kb. 130 °C-on, 0,7 m/perc sebességgel felhengereljük a fotoreziszt fóliát, így a hordozóhoz megfelelő tapadást érhetünk el. A fotoreziszt laminálásakor a hordozó felőli oldalról a védőfóliát lefejtjük. Az alkalmazott fotoreziszt vastagsága 38 μm . A gyakorlaton negatív működésű fotorezisztet alkalmazunk, tehát negatív maszk készítéséhez pozitív gyártófilmre van szükségünk. A gyártófilmet a fotoreziszttel bevont hordozón pozicionálni kell, a pontos illesztést három, erre a célra készített furat és a gyártófilmen lévő ugyancsak három, megfelelően elhelyezett helyező ábra teszi lehetővé. A megvilágítás előtt a hordozót a hozzá rögzített filmmel együtt vákuum keretbe helyezzük, ahol a külső levegő nyomása a filmet a fotoreziszttel bevont hordozóra szorítja, ezáltal az alávilágítás elkerülhető. Az UV fénnel történő megvilágításkor a fotoreziszt egységnyi felületére típusától függő fényenergia mennyiségnek kell jutnia (20...100 mJ/cm^2). A megvilágításhoz használt fémhalogén lámpa 5 kW teljesítményű, a megvilágítás ideje néhány másodperc. A berendezés belsejében fényintenzitás mérő található, mely folyamatosan méri a megvilágító keretre jutó UV fény intenzitását, s ennek függvényében határozza meg a vezérlő egység a fényzár nyitva tartásának idejét, annak érdekében, hogy a fotoreziszt megvilágítása optimális energiával történjék. A megvilágítás után eltávolítjuk a gyártófilmet és előhívjuk a lemezt (4. ábra). Az előhívás előtt a fotorezisztről eltávolítjuk a védőfóliát és az előhívó gép szállítószalagjára helyezzük a lemezt. Az előhívó zónában az oldatot szivattyú permetezi

szórófejeken keresztül mindkét oldalról a szállítószalagon haladó hordozóra, majd a lemez kaszkád öblítőkön halad át, ahol a kihordott előhívó oldatot eltávolítjuk.

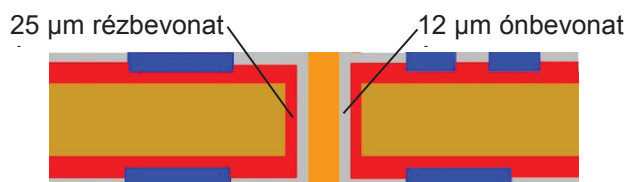


4. ábra. Hordozó az előhívás után (negatív maszk)

Ahol a gyártófilm fedett volt, a fotorezisztet nem érte UV fény, ezért ezek a részek az előhívóban oldhatóak maradtak, míg a megvilágított részekben az UV fény kémiai kötések létrejöttét eredményezte, s ez a fotorezisztet oldhatatlanná tette az előhívóban. Az egész technológiai folyamatot sárga fényű, UV szűrő fóliával ellátott ablakokkal rendelkező helyiségben végezzük, hogy a fotorezisztet csak a megvilágításkor érje UV fény.

5. Rajzolatgalvanizálás

A maszkkészítést követő rajzolatgalvanizáláskor a maszk által nem fedett rézfelületre kb. 25 μm vastag rézbevonatot, majd kb. 12 μm vastag ónbevonatot galvanizálunk (5. ábra). A galvanizáláskor a katódnak kapcsolt hordozóra akkora egyenáramot adunk, hogy a galvanizált felületen átlagosan 2...3 A/dm² áramsűrűség alakuljon ki. A réz galvanizálás célja, hogy a furatfémzés vastagságát legalább 25 μm -re növeljük, a galván ónbevonat pedig a maszk szerepét tölti be a szelektív maratás során. Az egyes lépések között ún. kaszkádöblítést alkalmazunk. A kaszkádöblítő egység két részből áll, ahol a hordozó haladási iránya a galvánsoron ellentétes az öblítővíz áramlásának irányával. Ennél az öblítési technológiánál hely- és víztakarékosabb a szórófejes öblítés, ahol a vízszugár mechanikai hatása fokozza a hatékonyságot. A szennyezett vizet szennyvíztisztító berendezésbe vezetjük, ahonnan a megtisztított víz a kommunális szennyvízcsatornába jut. A kellőképpen megtisztított, szűrt víz bizonyos technológiai célokra ismét felhasználható, így csökkentve a környezeti terhelést és a vízfelhasználást.



5. ábra. Hordozó a rajzolatgalvanizálás után

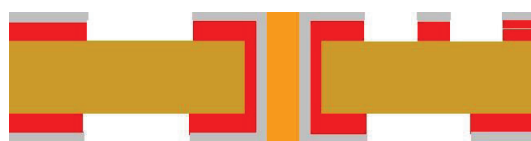
6. Maszkeltávolítás és maratás

A rajzolatgalvanizálás után lúgos oldatban eltávolítjuk a feleslegessé vált fotorezisztet (6. ábra). A fotoreziszt az eltávolításkor nem oldódik be a lemosó oldatba, a fotoreziszt szilárd, lemosó oldatban lebegő részei mechanikai szűréssel egyszerűen eltávolíthatók, a leszűrt lemosó oldat ezután a szennyvíztisztítóba vezethető.

A maratáskor az alaplemezen eredetileg meglévő, rendszerint 18 vagy 35 μm vastag rézfóliát és a furatfémzés során felvitt kb. 5 μm vastag galván réz bevonatot kell eltávolítani azokról a helyekről, ahol a galvanizált ón réteg nem védi az alatta lévő rezezt a maratástól. Ekkor főképp olyan réteget távolítunk el, ami az első technológiai lépés előtt is a hordozón van, ezért az egész eljárást a kivonás szóból származó szubtraktív technológiának nevezik (7. ábra).



6. ábra. A feleslegessé vált fotoreziszt leoldása



7. ábra. Szelektív maratás

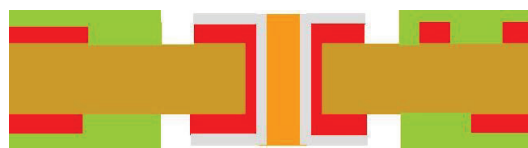
7. Forrasztásgátló maszk és szelektív forrasztható bevonat felvitele

Az alkatrészek forrasztása során előfordul, hogy a huzalozási pályákról el nem távolított ón hő hatására megolvad, és deformálódik a forrasztásgátló maszk. Ezt a jelenséget narancsosodásnak nevezik. Megelőzése érdekében a forrasztásgátló maszk felvitele előtt leoldják a huzalozási pályákon lévő ónbevonatot, így a forrasztásgátló maszk közvetlenül a rézfelületre kerül (8. ábra).

A forrasztásgátló maszk rendszerint fotoszenzitív lakk felhasználásával készül. Kétkomponensű, epoxigyanta alapú lakkot használunk, amely a fotoreziszt technológiához hasonlóan munkálható meg. A lakkot szitanyomtatással visszük fel a hordozó teljes felületére, azaz a szitanyomtatás ebben az esetben a mintázatot nem, csak a rétegvastagságot határozza meg. Ezután légkeveréses kemencében megszáritjuk. Megvilágítás, majd előhívás után beégetjük. A forrasztási felületeket igény szerint szelektív bevonatokkal láthatjuk el: tűzi ón (HASL), immerziós ezüst, immerziós ón, nikkel-arany bevonat (ENIG), szerves-bevonatok (OSP) (9. ábra).



8. ábra. Az ónbevonat leoldása



9. ábra. Forrasztásgátló maszk és forrasztható szelektív bevonat felvitele

8. Kontúrmarás

A forrasztásgátló maszkkal ellátott nyomtatott huzalozású lemezt CNC géppel kontúrmarjuk. Ekkor kivágjuk a technológiai méretű lapon megvalósított áramköröket úgy, hogy a művelet után még kitörő fülek tartják egyben a lapot. Így a gépi alkatrész beültetés és forrasztás gazdaságosabb és egyszerűbb, mintha az áramköröket külön-külön kellene kezelni a későbbi technológiai műveletek során.

A kontúrmaráshoz használt programot CAM rendszerrel készítjük el, a program a maró útvonalat definiáló koordinátákon kívül fúróorsó felemelő ill. letevő, valamint forgácselszívó nyitó, záró parancsokat is tartalmaz. A munkaasztalon a lemezt azoknak a bázisfuratoknak a felhasználásával rögzítjük, amelyeket a CNC fúraskor készítettünk.

Ellenőrző kérdések

1. Mi a nyomtatott huzalozású lemezek funkciója?
2. Ismertesse a leggyakrabban alkalmazott hordozók felépítését és fontosabb tulajdonságait!
3. Adja meg az alábbi fogalmak definícióját:
 - pozitív működésű fotoreziszt,
 - negatív működésű fotoreziszt,
 - pozitív maszk,
 - negatív maszk.
4. Ismertesse a különböző nedveskémiai rétegfelviteli technológiákat!
5. Sorolja fel a kétoldalas furatfémezett nyomtatott huzalozású lemezek készítése során alkalmazott technológiai lépéseket!
6. Ismertesse a CNC fúrás jellemző technológiai paramétereit!
7. Ismertesse a maszkkészítés fontosabb lépéseit!