

A lézersugaras jelöléstechnológia

Varga Bernadett műszaki szaktanácsadó

1960-ban az első lézerberendezés megépítésekor – amely szilárdtest lézer berendezés volt – új korszak kezdődött az optikában, a fény tudományában. Már a kezdetektől számos ipari alkalmazásban – az elektronikai- és gépiparban, a szerszám- és járműalkatrész gyártásánál és a gyógyászatban is – felhasználták a lézersugaras anyagmegmunkálást.

Az első lézerberendezés megépítése óta eltelt több mint 40 év során a lézerberendezések rohamos fejlődése sok más területen is új tudományos eredményeket hozott, és rendkívül sok érdekes alkalmazást tett lehetővé.

A lézersugár fizikai alapjainak ismertetése után a lézersugaras jelöléstechnológiának az elektronikai iparban való alkalmazhatóságát szeretném bemutatni, majd áttekintést adok az elektronikai alkatrészek és termékek nyomon követhetőségi és azonosítási lehetőségeiről.

Mit jelent a „LASER”?

A legtöbb angol nyelvű szakirodalomban a lézersugaras technológiával kapcsolatban a „LASER” angol rövidítéssel találkozhatunk. A „LASER” kifejezés egy mozaikszó, amely a következő szavak kezdőbetűiből származik:

- Light – fény,
- Amplification – erősítés,
- Stimulated – gerjesztett,
- Emission – kisugárzott, kibocsátott,
- Radiation – sugárzás.

(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation = fényerősítés kényszerített fénykibocsátás útján). A „LASER” kifejezés – magyarra fordítva: lézer – önmagában nem használatos. A magyar szakirodalomban lézersugár vagy lézersugárzás, és lézerforrás vagy lézerberendezés kifejezést alkalmazunk.

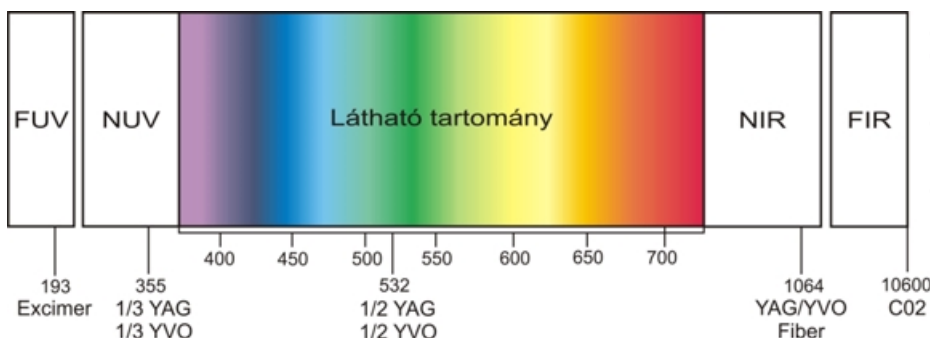
A lézersugárzás fizikai tulajdonságai

A lézerberendezések speciális tulajdonságokkal rendelkező optikai sugárzást (lézersugárzást) – közeli (NUV) és távoli (FUV) ultraviola, látható fény, a közeli (NIR) és távoli (FIR) infravörös tartományokban – (1. ábra) állítanak elő.

A speciális tulajdonságok a következők:

- a lézersugár **nyugon kis divergenciájú** (széttartású) nyaláb, amely a forrástól való távolság növekedésével csak nagyon kis mértékben terül szét (divergál),
- **nagy energia-** vagy **teljesítménysűrűség** a nyalábban,
- a lézerberendezések nagyon keskeny hullámhossztartomány-

1. ábra Optikai sugárzások spektrális felosztása és az iparban alkalmazott jelölő lézerberendezések által kibocsátott lézersugárzások hullámhossza nm-ben



2. ábra: Azonosító kód műanyag alkatrészben

- ban állítanak elő optikai sugárzást, ezért a lézersugárzás **monokromatikus** (egyszínű),
- a lézersugárzást **tér- és időbeli koherencia** jellemzi,
- a lézersugárzásban egyszerre több, **párhuzamosan és együtt rezgő fényhullámok** vannak jelen.

Lézersugaras jelöléstechnológia

A hagyományosnak tekinthető jelöléstechnológiákkal – címkenyomatás, tintasugaras nyomtatás stb. – szemben a lézersugaras jelöléstechnológia előnyei: a folyamat ismételhetősége, a tartóság és az érintésmentes megmunkálás nagy megbízhatósága.

Környezetünkben számos elektronikai eszközt alkalmazunk – mobiltelefon, számítógép, háztartási és szerszámgépek, járműelektronikai alkatrészek stb. –, amelyek nélkül ma már el sem tudjuk képzelni életünket. Az elektronikai alkatrészeket és termékeket nagy mennyiségben – több millió – gyártanak. Megbízhatóságuk és eredetiségük érdekében a gyártásnál felhasznált alkatrészek és termékek azonosítása szükségessé vált.

Az elektronikai termékekkel szemben elvárjuk, hogy megbízhatóan működjenek. Gondoljunk csak egy laptop vagy mobiltelefon működésére, mely rengeteg adatot tartalmaz, és szinte nélkülözhetetlenek a munkában. Lehetséges, hogy a termék meghibásodik, vagy esetleg ellopják, de az is előfordulhat, hogy hamisítvány kerül a kezünkbe.

Azért, hogy az alkatrészek és a termékek a későbbiekben is pontosan és biztonságosan beazonosíthatók legyenek, a gyártók olyan jelöléseket alkalmaznak, melyek nem, vagy nehezen tüntethetők el. A címke leszedhető, a tinta lemosható, de a termék anyagába lézersugárral jelölt termékazonosító egyáltalán nem vagy csak durva csiszolással tüntethető el, ami viszont roncsoolja a terméket.

A végleges és tartós lézersugaras jelöléssel a gyártók megvédhetik terméke-

	Fiber-lézerforrás	Nd:YAG/YVO4 lézerforrás	CO ₂ lézerforrás
A lézerforrás típusa	szilárdtest	szilárdtest	gáz
Közvetítő anyag	Ytterbium optikai szál	Nd:YAG vagy YVO4 kristály	Gázelegy (szén-dioxid, nitrogén, hélium)
Hullámhossz	1062 nm	1064 nm1	10 600 nm
Üzem mód	impulzus (pulse mode) vagy folyamatos (continuous wave)		
Üzemi hőmérséklet	0 °C...45 °C	0 °C...40 °C	15 °C...40 °C
Gerjesztés	lézerdióda (977 nm-en)	lézerdióda (808 nm-en)	radiofrekvenciás sugárzás vagy magas feszültség (5000V felett)
A gerjesztőforrás élettartama	>50 000 óra után pumpáló dióda csere	~ 12 000 óra után pumpáló dióda csere	~ 15 000 óra után csőcsere vagy töltés

1. táblázat Az elektronikai iparban leggyakrabban alkalmazott jelölő lézerberendezések

iket a hamisítók ellen és egyben könnyen azonosíthatóvá tehetik termékeiket. Megjegyezném a tartós jelölés mellett a gazdasági és a környezetvédelmi előnyöket is. A jelöléssel és termékazonosítással a gyártásban felhasznált alkatrészek mennyisége pontosan ismertté válik. Ennek birtokában könnyen számolható a keletkezett selejtek mennyisége, amely legtöbbször hulladékként kerül ki a gyártásból.

Nyomon követhetőség

Az elektronikai iparban a termékek és alkatrészek azonosítására leggyakrabban az 1D (vonalkód) vagy a 2D (Datamatrix kód) adatrögzítési formákat alkalmazzák. A lézersugárral történő adatrögzítés a termékek azonosítására, a felületszerelési technológiában az egyes szerelési műveletekhez tartozó berendezések automatikus indítására és a termékek nyomon követhetőségére is kiválóan alkalmazható. Ha a gyártás közben hibás termék (selejt) keletkezik, vagy a készülék használata során következik be a hiba, akkor ezek okainak kivizsgálásához és kiküszöböléséhez nélkülözhetetlen, hogy utána tudjunk járni a gyártási paramétereknek, melyeket az azonosító kódban rögzített karakterek tartalmaznak. Ilyen paraméterek lehetnek: a gyártás dátuma, gyártósor, műszak, a termék típuszáma, sorozatszám stb. Amennyiben a gyártás közben növekvő sorozatszámot is kódolunk a termékazonosítóba, elkerülhető az úgynevezett gyártási „klónok” keletkezése, vagyis a kód által minden termék egyedivé válik. A 2. ábrán egy műanyag alkatrész házon látható azonosító kód.

Jelölhető anyagok

Ahhoz, hogy lézerberendezéseket alkalmazzunk, mindenekelőtt néhány alapelvet kell tisztázni. Az egyes anyagok nem egyformán nyelik el a különböző hullámhosszúságú lézersugarakat, ezért minden alkalmazásban meg kell vizsgálni, milyen lézerberendezést kell vagy lehet használni. A lézersugárral történő jelölési művelet – a munkadarab anyagától és a lézersugár által kiváltott kölcsönhatástól függően – többféle módon is történhet. Ezek alapján megkülönböztetünk: rétegleválasztást, gravírozást, színezést, hőkezelést és habosítást.

Az elektronikai iparban nagyon sok területen alkalmazzák már a lézersugaras jelöléstechnológiát:

- a felületre szerelhető alkatrészek (például kondenzátor) jelöléséhez – színezés vagy gravírozás,
- az áramköri lemezek jelöléséhez – forrasztásgátló lakkréteg leválasztása – rétegleválasztás,
- műanyag alkatrészházak jelöléséhez – a műanyag habosítása és színváltozása,
- fém alkatrészek gravírozása vagy színezése,
- lakkozott vagy festett műanyagok vagy fémek – a réteg leválasztása vagy színváltoztatása,
- nyomtatott áramköri lapok sorjamentes leválasztása a tartó elemről stb.

A felhasználási lehetőség széles, ezért a lézersugaras jelölés választásakor első és legfontosabb kérdés, hogy a lézersugaras je-

lölést milyen célból kívánjuk alkalmazni. A lézerberendezés megválasztásakor pedig – a második legfontosabb kérdésként – figyelembe kell venni a jelölendő termék anyagát.

Jelölő lézerberendezések

Az iparban alkalmazott lézersugaras jelöléstechnológia hatékonysága abban rejlik, hogy a termékre rövid idő alatt érintésmentesen jelölhető a termék azonosítására szolgáló szöveg vagy termékazonosító kódforma. Az, hogy melyik típusú lézerberendezést milyen célból érdemes alkalmazni, attól függ, milyen anyagba és mekkora méretben szeretnénk elkészíteni a feliratot vagy adatformánkat.

Például az áramköri lemezek lézersugaras jelöléséhez, amely során a forrasztásgátló réteget távolítják el, leggyakrabban a következő lézerberendezéseket alkalmazzák:

- a klasszikus felépítésű, impulzus üzemű Nd:YAG/YVO4 (hullámhossz 1064 nm) szilárdtest-lézerforrás,
- a folyamatos vagy impulzus üzemű CO₂ gáz-lézerforrás (hullámhossz 10600 nm),
- az új felépítésű, impulzus üzemű, szilárdtest szál-lézerforrást (fiber-lézerforrás, hullámhossz 1064 nm), vagy
- a frekvencia-háromszorozással működő Nd:YAG/YVO4 (hullámhossz 355 nm) szilárdtest-lézerforrás.

A termék nyomon követhetősége és az azonosítás feltétele, hogy a lézersugárral készült kód visszaolvasható legyen mind a gyártási folyamat során, mind a termék későbbi beazonosítása céljából. A tömeggyártásban egyre nagyobb az igény a berendezés működésének megbízhatóságára, termelékenységre és a gyors és egyszerű karbantarthatóságára. Mindemellett a berendezés megválasztásakor fontos szempont, hogy hosszú távon a berendezések karbantartási és fenntartási költsége mekkora volumen képvisel. Az elektronikai iparban leggyakrabban alkalmazott jelölő lézerberendezéseket az 1. táblázat tartalmazza.

A lézersugárzást egy másik, gerjesztőfény (pumpálás) által tudjuk létrehozni. A szilárdtest-lézerforrásokat pl. lámpákkal vagy lézerdiódák fényével lehet gerjeszteni (pumpálni). A klasszikus szilárdtest-lézer berendezések (pl. Nd:YAG) hatásfoka (lámpapumpált ~1...3 %, lézerdióda pumpált ~10%) meglehetősen alacsony, ezért sokszor a néhányszor tíz watt teljesítményű lézerforrást néhány tíz kilowattal kell gerjeszteni. Emiatt nagy mennyiségű hő keletkezik, ezért a folyamatos levegős-és/vagy vízűtés elengedhetetlen.

Az Nd:YAG- és a fiber-lézerforrások sugárfolt átmérője közel azonos nagyságú, de ez nagyban függ az optikai lencsék tulajdonságaitól és paramétereitől is. Az Nd:YAG/YVO4 lézerforrások tulajdonsága, hogy viszonylag alacsony átlagteljesítménnyel működnek, de nagy impulzus-csúcsteljesítményt adnak le. A fiber- lézerforrások nagy előnye az eddigi jelölő lézerforrásokkal szemben, hogy egy adott fiber-lézerrendszer 1,5 x...2 x-szer termelékenyebb lehet az Nd:YAG-rendszerek-nél, mert a fiber-lézerrendszerben – az optikai szálnak köszönhetően – sokkal egyszerűbb a lézersugárzás gerjesztése, ezért

A gerjesztőforrás élettartama	>50 000 óra után pumpáló dióda csere	~ 12 000 óra után pumpáló dióda csere	~ 15 000 óra után csőcsere vagy töltés
Hatásfok	~ 35...40%	~ 10%	~ 15...20 %
Megmunkálható anyagok	Minden színesfém, ipari és speciális fémek, forrasztásgátló lakkreteg, műanyagok stb.		Üveg, műanyagok, fa, karton, bőr, gumi, márvány, felületkezelt fémek stb.
Jellemző alapgép, nettó listaár	10 W-os fiberlézer galvofejes ~ 9,5 MFt	10 W-os diódapumpált Nd:YVO ₄ galvofejes ~ 12 MFt	30 W-os galvofejes ~ 5 MFt.
Tipikus karbantartási költségek, nettó ár	Elhasználódáskor a pumpálódióda-egység cseréje ~ 930 eFt	Elhasználódáskor a pumpálóegység cseréje (lézerdióda+táp+optikai kábel) ~ 1,4 MFt	Teljesítményeséskor cső újratöltés ~ 750 eFt

2. táblázat Lézerrendszerek fontosabb jellemzői

sokkal nagyobb (~35-40%) hatásfokkal működnek, mint a klasszikus szilárdtest-lézerforrások.

Néhány esetben alkalmaznak UV és látható tartományban működő lézerberendezéseket is. Az UV-tartományban működő lézerberendezések: a frekvencia-háromszorozással működő Nd:YAG/YVO₄ (hullámhossz 355 nm), és az Excimer (hullámhossz 193 nm) lézerberendezések. Az UV-lézersugárral történő jelölés nagy előnye, hogy szinte minden anyagot jelölnek, és nagyon szép jelölési minőség érhető el velük. Azonban a tömegtermelésben jelölési sebességüket már hátránnyként említeném, mivel nagyon lassan jelölnek, a ciklusidőt ezzel nagyban megnövelik. Továbbá hátránynak tekinthető a jelölési területek nagysága, mivel lencserendszerüknek köszönhetően a lézersugár az 1. táblázatban felsorolt lézerrendszerekhez képest sokkal kisebb jelölési területet képesek bepásztázni. Hátránnyként említeném vételárukat is. Az UV-tartományban működő lézerrendszerek egy fiber-lézerforrás kétszeres vagy háromszoros vételárát is meghaladhatják. Az Eximer lézerberendezést leggyakrabban az orvosi műszerek és a szemüveglencsék jelölésére alkalmazzák. Az UV-lézerforrásokat jellemzően műanyagok és nemesfémek jelölésére használják.

A látható tartományban is működnek jelölő lézerberendezések. Ilyen az 532 nm-es hullámhosszú lézersugárzást kibocsátó, frekvenciaduplázással működő Nd:YAG/YVO₄ vagy fiberlézerforrások. Az UV-tartományban működő lézerrendszerekhez hasonló előnyökkel és hátrányokkal rendelkeznek, mindössze a jelölési területük nagyobb, és némileg kevesebb a vételáruk, de még mindig igen magas.

Összefoglalóan elmondhatjuk, hogy az adott anyaghoz az

anyag felületén a legjobb jelölési minőséget és sebességet biztosító lézerberendezést kell választani, de nem elhanyagolható, hogy mekkora az adott gép vételára, valamint karbantartási igénye és költsége. A fentiekben összehasonlított, az elektronikai iparban leggyakrabban alkalmazott lézerrendszerek bármelyike alkalmas lézersugaras jelölésre, de a jelölési lehetőségeket elsősorban a jelölendő anyag határozza meg. A lézersugaras jelöléstechnológia legfontosabb előnyei a hagyományos technológiákkal szemben:

- a munkadarab mechanikai tulajdonságai nem befolyásolják a jelölési technológiát – **rugalmas** folyamat,
- kiváló jelölési minőség és ismételhetőség – precíz folyamat,
- nagy sebesség – **gyors** folyamat,
- **érintésmentes** megmunkálás – nincs kopás, és a munkadarab igénybevétele minimális,
- **könnyen integrálhatók** gyártósorokba a vezérlő számítógépek és interfészeknek köszönhetően – gyors átállás valósítható meg,
- **anyagok széles skálája** megmunkálható – mindig van lézersugaras jelölés megoldás,
- **nehezen hozzáférhető helyek** jelölése, ahol más technológiák csődöt mondanak.

Végezetül szeretnék köszönetet mondani Sleisz Gábor Trodimp-R Kft. Lézerüzletág vezető és Pozsgai András, KvVM EU INTERREG programok képviselője uraknak a szakcikk megírásában nyújtott segítségért.

info@lasertanacsado.hu