

XIII. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2008. március 14-15.

FELÜLETKEZELÉSI ELJÁRÁSOK TÖBB SZEMPONTÚ RENDSZEREZÉSE

Bagyinszki Gyula, Bitay Enikő

Abstract

Surface treatments belong to the most important property-modification and composite-forming techniques carried out for many years, almost since the beginning of the 20th century. In this paper we give a survey and a classification of the surface treating methods, in order to help the selection of the proper combinations of materials and processes.

Összefoglalás

A felületkezelés az egyik legfontosabb tulajdonságmódosító, illetve kompozitképző anyagtechnológia. Napjainkban már az eljárások igen széles köre alkalmazható. Jelen cikk több szempontú rendszerező áttekintését tűzte ki célul, segítve a megfelelő eljárás kiválasztását.

1. Bevezető

Napjaink ipari-technológiai gyakorlatában egyre fontosabb az anyag- és energiatakarékos gyártást elősegítő technológiák alkalmazása, a technológiai műveletek, az üzemi igénybevételek ill. a speciális követelmények szempontjából még éppen szükséges minimális munkadarab térfogatra korlátozva. E koncepciónak általában megfelelnek a felületkezelő eljárások, melyekkel károsodásállóságot (pl. kopásállóságot, megeresztésállóságot, korrózióállóságot) javító felületi kérgék, rétegek hozhatók létre az egyébként - más követelmény vagy előírás hiányában - olcsóbb, könnyebben megmunkálható, szívósabb alapanyagon (alaptesten). A felületkezelés révén tehát a helyi (lokális) igénybevételekhez, követelményekhez igazítható(k) a munkadarabok arra kijelölt tartománya(i), általában az alapanyag (alaptest) nagyobb tömegének jelentősebb szerkezet- és tulajdonságváltoztatása nélkül.

Kezelés előtt vagy közben az alapanyag felületére kerülő idegen anyag		Kezelés során az alapanyag felületén várhatóan fellépő maximális hőmérséklet az alapanyag olvadáspontjánál	
		nincs → összetételváltozás nélküli kezelés	van → összetételváltozós kezelés
<p>nagyobb → felületolvadási kezelés</p> <p>gyors dermedésen és/vagy kristályosodási mikrostrukturát finomodásán alapuló eljárások</p> <p>felületi átolvadtás</p> <p>felolvasztó hegesztés</p> <ul style="list-style-type: none"> lézerrel elektronsugárral plazmával volfrámelektrodás ivhegesztéssel gázhegesztéssel 	<p>kisebb → felületolvadás nélküli kezelés</p> <p>alakítási keményedésen és/vagy maradó nyomfeszültségek kialakulásán alapuló eljárások</p> <p>felületzilárdítás</p> <ul style="list-style-type: none"> felületszórás felületgörgözés felületkalapálás felülethengerlés felületvasalás robbantós felületzilárdítás lézerimpulzusos felületzilárdítás 	<p>fizikai hatásokon és/vagy adhéziós kapcsolódáson alapuló eljárások</p> <p>védő-bevonatolás</p> <ul style="list-style-type: none"> ragasztás festés zománcozás kémiai fémleválasztás galvanizálás <p>termikus szórás</p> <ul style="list-style-type: none"> lángszórás ívszórás plazmaszórás lézerszórás robbantós szórás <p>plattírozás</p> <ul style="list-style-type: none"> húzásos plattírozás folytatós plattírozás hengerléses plattírozás robbantós plattírozás dörzsplattírozás <p>fizikai gőzfázisú bevonás</p> <ul style="list-style-type: none"> vákuumgőzölés katódporlasztás ionsugaras bevonatolás ionsugaras leválasztás 	
	<p>felületedzés</p> <ul style="list-style-type: none"> bemártó edzés lángedzés indukciós edzés plazmás edzés elektronsugaras edzés lézeres edzés 	<p>kémiai átalakításokon és/vagy diffúziós folyamatokon alapuló eljárások</p> <p>kémiai gőzfázisú bevonás</p> <ul style="list-style-type: none"> hagyományos CVD kombinált CVD kémiai szórás reaktív kémiai szórás <p>passziválás</p> <ul style="list-style-type: none"> ionimplantáció kémiai oxidálás anódos oxidálás vegyületréteg kialakítás fém színezés <p>ötvöző-dúsítás</p> <ul style="list-style-type: none"> porközegben sóoldadékban gázközegben <p>felületi ráolvasztás</p> <ul style="list-style-type: none"> bemártással hőkezeléssel lánggal plazmával elektronsugárral lézerrel 	
	<p>metallurgiai reakciókon és/vagy kohéziós kötéseken alapuló eljárások</p> <p>felrakó hegesztés</p> <ul style="list-style-type: none"> lézerrel elektronsugárral plazmával ... volfrámelektrodás ivhegesztéssel fogyóelektrodás ivhegesztéssel salakhegesztéssel szikrahegesztéssel gázhegesztéssel 		

1. ábra Felületkezelési eljárások felosztása

2. Felületkezelési eljárások rendszere

A felületkezelési eljárások egy lehetséges felosztási rendszerét az **1. ábra** szemlélteti. Ezen felosztás alapja az, hogy a kezelendő tárgy felületén várhatóan fellépő maximális hőmérséklet meghaladja-e a tárgy anyagának olvadáspontját vagy sem, ill. idegen anyag (hozaganyag) rákerül-e az alapanyag felületére vagy sem. Ezek szerint beszélhetünk felületolvadásos vagy felületolvadás nélküli, ill. összetételváltozásos vagy összetételváltozás nélküli felületkezelésről. A további rendezőelv a kezelésre jellemző anyagtudományi jelenség (folyamat) és az idegenanyag kötődési mód: alakítási keményedés és/vagy maradó nyomófeszültség kialakulása; allotróp átalakulás és/vagy nemegyensúlyi szövetszerkezet létrejötte; gyors dermedés és/vagy kristályosodási mikroszerkezet finomodás; ill. fizikai hatások és/vagy adhéziós kapcsolódás; kémiai átalakulások és/vagy diffúziós folyamat; valamint a metallurgiai reakciók és/vagy kohéziós kötés. A felületolvadásos kezeléseken belül a felületi átolvasztás a felolvasztó hegesztéssel, a felületötívözés a felrakó hegesztéssel rokon alapokon nyugszik, ill. azokat hasonló célból alkalmazzák.

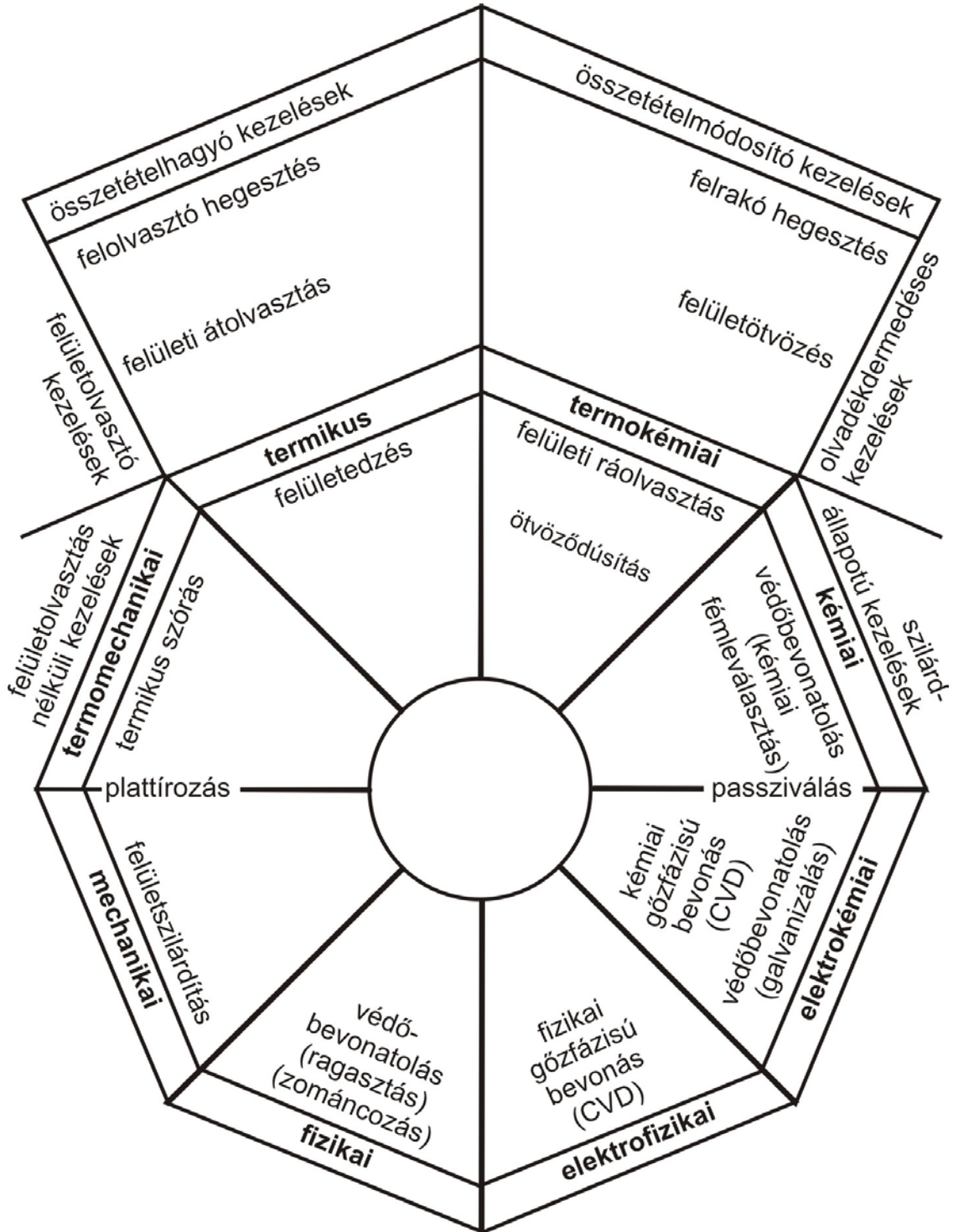
A **2. ábra** a felületkezelő eljárások olyan csoportosítási sémáját mutatja, melyben a rendezőelvet a felületi réteggépzést biztosító alapvető hatás (mechanikai, termomechanikai, termikus, termokémiai, kémiai, elektrokémiai, elektrofizikai, fizikai) jelenti. További rendezőelv a kezelendő felület jellegzetes csúcshőmérséklete, azaz a zárt nyolcszögben a felületolvasztás nélküli, míg a két "túlnyúló" szegmensben a felületolvadásos kezelés-csoportok találhatók.

A **3. ábra** az ismert energiaforrások felületkezelésekhez való alkalmazhatóságát szemlélteti, vagyis az alkalmazott energia eredete szerint megkülönböztethetők:

- elektromos ívhőt hasznosítók, melyeknél gázközegben nagy hőmérsékletű kisülés ill. részben ionizált állapot – normál- vagy plazmaív – hatása érvényesül;
- elektromos ellenálláshőt hasznosítók, melyeknél nagy erősségű áram átvezetése (közvetlen betáplálás) vagy nagyfrekvenciás árammal gerjesztett induktor mágneses tere általi örvényáram-indukálás (közvetett betáplálás) az anyagban Joule-hőt fejleszt;
- termokémiai reakcióhőt hasznosítók, melyeknél exoterm (hőtermelő) oxidációs vagy redukációs kémiai folyamatok mennek végbe;
- termokémiai transzport-folyamatokat aktiválók, melyeknél az anyagokban atom-átrendeződéssel (anyagtranszporttal) járó diffúzió vagy oldódás megy végbe;
- mechanikai alakváltozás energiáját hasznosítók, melyeknél jelentős hidegalakítás vagy nagy nyomásimpulzus okozta deformáció mértéke a meghatározó;
- mechanikai súrlódás energiáját hasznosítók, melyeknél az anyagfelületek menti mikro- vagy makrosúrlódás okozta dörzshatás érvényesül;
- részecskesugárzás energiáját hasznosítók, melyeknél elektronok vagy ionok alkotta fókuszolt

sugár anyagba ütközése és lefékeződése hőt fejleszt;

- elektromágneses sugárzás energiáját hasznosítók, melyeknél fotonok alkotta fókuszolt monokromatikus lézersugárzás abszorpciója érvényesül.



2. ábra Felületkezelési eljárás csoportok

A 3. ábrában a fekete cellák jelölik a gyakorlatban alkalmazott, míg a szürke cellák az elvileg lehetséges eseteket.

Energia forrása	FELÜLET-KEZELÉSI ELJÁRÁS	Összetételváltozás nélküli felületkezelés				Összetételváltozásos felületkezelés			
		Felületolvadás nélküli		Olvadásos		Felületolvadás nélküli		Olvadásos	
		felület szilárdítás	felület edzés	felületi átolv felolv. heg.	(termikus) szórás	plattírozás	(termo-kémiai) kezelés	felületi ráolvasztás	felületötv. felrakó heg.
normálív	ÍV-								
plazmaív	PLAZMA-								
áram-átvezetés	ELLENÁLLÁS-								
áram-indukálás	INDUKCIÓS-								
oxidáció	LÁNG-								
redukció	TERMIT-								
diffúzió	DIFFÚZIÓS-								
szilárdoldat képződés	OLDÓ-								
hidegsajtolás	HIDEG-ALAKÍTÁSOS-								
nyomás-impulzus	ROBBANTÁSOS-								
mikro-súrlódás	ULTRAHANGOS-								
makro-súrlódás	DÖRZS-								
elektronsugár	ELEKTRONSUGÁR- GARAS-								
ionsugár	IONIMPLANTÁCIÓS-								
monokromatikus fény	LÉZERES-								
polikromatikus fény	FÉNYSUGÁRZÁSOS-								

3. ábra Energiaforrások felületkezelésekhez való alkalmazhatósága

Az alkalmazható eljárások közül egyre inkább előtérbe kerülnek az ún. nagy energiasűrűségű (nagy teljesítménysűrűségű) felületkezelések, melyeknek összetétel-változtatás nélküli vagy összetétel-változtatásos, illetve felületolvasztás nélküli vagy felületolvasztásos változatai egyaránt jól használhatók irányított, azaz csak az arra kijelölt felületrészekre korlátozandó kezelésekhez.

Egyébként a nagy energiasűrűségű megmunkálások (megmunkáló eljárások) családjába sok mindent belefoglalnak, így:

- a felületi rétegfelvitelt biztosító termikus (láng-, elektromos ív-, plazma-, lézer-, robbantásos-) szórást;
- az alakadási (alakítási) célú nagysebességű szerszám, nyomáshullámos (robbantásos, elektrohidraulikus, mágneses, ultrahangos) megmunkálást; a lézeres termikus hajlítást, egyengetést és forgácsolást, továbbá az integrált lézeres - mechanikus forgácsoló megmunkálást szerszámcsereeléssel;
- funkcionális (nem csak geometriai) prototípusok gyors előállítására (rapid prototyping) hivatott lézer litográfiát, szelektív lézeres szinterelést és közvetlen lézeres gyártást;
- a felületi réteget átalakító
 - plazmás-, elektronsugaras-, lézeres- szilárdító, edző, átolvasztó, ráolvasztó, ötvöző eljárásokat

- (beleértve a különféle célú megmunkáló hengerek felületéresztését ill. -texturálását is),
- ionimplantációt,
 - indukciós és ellenállásos gyors hőkezelést;
 - az anyagegyesítő ill. anyagszétválasztó (plazma-, elektronsugaras-, lézeres-) hegesztést ill. vágást és a nagysebességű vízsugaras vágást, hozzáértve:
 - olcsó és gyors alakítószerszám-előállítási módszert, mely lézerrel lemezből kivágott szerszám- "szeletek" egymásra építését jelenti;
 - lézeres hegesztés és vágás ill. képlékeny alakítás kombinált alkalmazásával végzett prototípus-gyártást, sőt szériagyártást (pl. összeszabott autókarosszéria-lemezrészek gyártása és megmunkálása);
 - továbbá az üvegfémek (fémüvegek) előállítására alkalmas gyorsdermesztő módszereket.

Nagy energiasűrűségről (nagy teljesítménysűrűségről) akkor szokás beszélni, ha a fajlagos teljesítmény- (energia-) bevitel meghaladja a $10^2 \text{ W/mm}^2 = 10^4 \text{ W/cm}^2 = 10^8 \text{ W/m}^2$ -es értéket. Az említett határérték azonban nem különíti el jól és egyértelműen a hagyományos ill. az általában nagy energiasűrűségűként emlegetett hőforrásokat, eljárásokat. Talán ez indokolhatta, hogy bevezették az ultra (vagy extrém) nagy energiasűrűség fogalmát is, mely már ténylegesen csak a plazmás-, de főképp az elektronsugaras- és a lézeres eljárásokat jellemezheti, ami számszerűsítve a $10^4 \text{ W/mm}^2 = 10^6 \text{ W/cm}^2 = 10^{10} \text{ W/m}^2$ -es érték - sugárfókuszolás útján történő - megvalósíthatóságát jelenti.

A **4. ábra** csak az ún. ultra nagy energiasűrűségű - tehát plazmás, elektronsugaras, lézeres - felületkezeléseket foglalja össze, zárójelben megemlítve az adott eljárások elterjedt angol elnevezéseit is. Az ábrában szereplő szilárdállapotú és olvadékállapotú ill. termikus és termokémiai kezeléseken kívül egyes szerzők megemlítenek gőzállapotú felületkezelő (lézerrel intenzifikált pirolízis és fotolízis CVD, lézeres PVD, ...) és elektrolitikus (lézerrel gyorsított árammentes bevonó, eloxáló, ...) eljárásokat is.

6. Következtetések / Összefoglaló

A felületkezelési eljárások rendszerezésében meghatározó szerep jut a jellemző anyagtudományi jelenségeknek és az alkalmazható energiaforrásoknak. Ez utóbbiak között egyre nagyobb teret nyernek a nagy energiasűrűségű hőforrások (lézer, elektronsugár).

		alapanyag felületi rétege		
		szilárd állapotban marad		olvadék állapotba kerül
		Felületszilárdítás (surface strengthening)	Felületedzés (surface hardening)	Felületi átolvasztás (surface remelting)
alapanyag felületi rétegében	szerkezet módosulás	elektronsugárral, lézerrel	elektronsugárral, lézerrel	elektronsugárral, lézerrel
		<ul style="list-style-type: none"> → lökéshullámos felületszilárdítás (shock wave treatment) → impulzusos keményítés (shock hardening) 	<ul style="list-style-type: none"> → allotrópiát mutató anyagok keményítése (transformation hardening) → allotrópiát nem mutató anyagok lágyítása (recrystallization annealing) 	<ul style="list-style-type: none"> → mikroszerkezet-finomítás (microstructure refinement) → homogenizálás (homogenisation) → sűrűségnövelés (densification) → zománcozás, üvegesítés (glazing, vitrification)
		Termikus szórás (thermal spraying)	Felületi ráolvasztás (surface cladding)	Felületötvözés (surface alloying)
összetétel változás		plazmával, lézerrel	plazmával, elektronsugárral, lézerrel	elektronsugárral, lézerrel
		<ul style="list-style-type: none"> → plazmaszórás (plasma spraying) → lézerszórás (laser spraying) 	<ul style="list-style-type: none"> → homogenizálás (homogenisation) → sűrűségnövelés (densification) 	<ul style="list-style-type: none"> → ötvözőelemek oldatba vitele (alloying treatment) → diszperz részecskék beville (particle injection)
		Előbevonással (azaz 2 lépésben) Por-, huzal-, vagy reaktív gázadagolással (azaz 1 lépésben)		

4. ábra Nagy energiasűrűségű felületkezelések

Irodalom

- [1] Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Bevezetés az anyagtechnológiák informatikájába*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2007
- [2] M. A. Mihejev: *A hőátadás gyakorlati számításának alapjai* Tankönyvkiadó, Budapest, 1987
- [3] E. A. Metzbower: *Penetration Depth in Laser Beam Welding*. Welding Journal, August 1993, p. 403-407.
- [4] Főszerkesztő Szunyogh László: *Hegesztés és rokon technológiák Kézikönyv* – 3.2.7.

- Plazmahegesztés (204-213. oldal), szerző: Bagyinszki Gyula; Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2007 (ISBN 978-963-420-910-2)
- [5] Bagyinszki Gyula: Gyártásismeret és technológia (240 oldal), Budapesti Műszaki Főiskola, Budapest, 2004
- [6] Bagyinszki Gyula – Kovács Tünde – Kálazi Zoltán – Tom Bell: Acélok duplex felületedzése; Gép LII. évfolyam, 2001/9. szám, 16-22. oldal
- [7] Gyula Bagyinszki: Wear Resistance Characterization of Surface Treatment Layers, Eurotrib'93 - 6th International Congress on Tribology, Budapest - Hungary, August 30 - September 2, 1993, Volume 3., pp. 350-353.
- [8] Bagyinszki Gyula - Bitay Enikő: Lézeres anyagtechnológiák energiasűrűségi jellemzői, X. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2005. március 18-19., 75-80. oldal
- [9] Bagyinszki Gyula - Bitay Enikő - Kovács Tünde: Alakító szerszámacélok károsodásállóságának javítása felületkezeléssel, XI. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2006. március 24-25., 9-14. oldal
- [10] Sebestyén Anita - Nagyné Halász Erzsébet - Bagyinszki Gyula - Bitay Enikő: Felületmódosítási eljárások hatása acélok kopásállóságára, XII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2007. március 16-17.; Műszaki Tudományos Füzetek - Erdélyi Múzeum-Egyesület kiadványa (ISBN 973-8231-67-1, ISBN 978-973-8231-67-2) 161-168. oldal
- [11] Bagyinszki Gyula: Nagy energiasűrűséggel kezelt felületi rétegek tulajdonságbecslése (Kandidátusi értekezés), BME Mechanikai Technológia és Anyagszerkezet-tani Tanszék, 1997, 99 + 49 oldal

Dr. Bagyinszki Gyula, főiskolai tanár
 BMF, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai
 Mérnöki Kar, Anyagtudományi és
 Gyártástechnológiai Intézet,
 Anyag és Alakítástechnológiai Szakcsoport,
 1081 Budapest Népszínház u. 8.
 Tel: (+36-1) 666-5304;
 Fax: +36-(06)-1-666-5494
 E-mail: bagyinszki.gyula@bgk.bmf.hu;

Dr. Bitay Enikő, egyetemi docens
 Sapientia – Erdélyi Magyar Tudományegyetem
 Műszaki és Humántudományok Kar,
 Marosvásárhely/Koronka (Țîrgu Mureș/Corunca)
 Segesvári út (Șoseaua Sighișoarei) 1C.
 Postacím: 540485, Op.9, Postafiók 4.
 Telefon: +40-265 - 20 81 70
 Fax: +40-265 - 20 62 11
 E-mail: ebitay@gmail.com