Körmöczi Andor, *Horváth Gábor, Dr. Vass Csaba, Dr. Geretovszky Zsolt*
SZTE TTIK Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

A repülőgépiparban használható akkumulátor cellák és azok kötései

- XIX. Magyar repüléstudományi napok -



2017.11.16

Az előadás vázlata

- **Bevezetés**
- **Elektromos repülőgép hajtásrendszere**
- **Akkubankok felépítése**
- **Célkitűzés**
- **Akkumulátorok kémiája**
- **Akkumulátorok geometriája**
- **Cellák kötése**
- **Alumínium-vas lézeres kötés**
- **Összefoglalás**



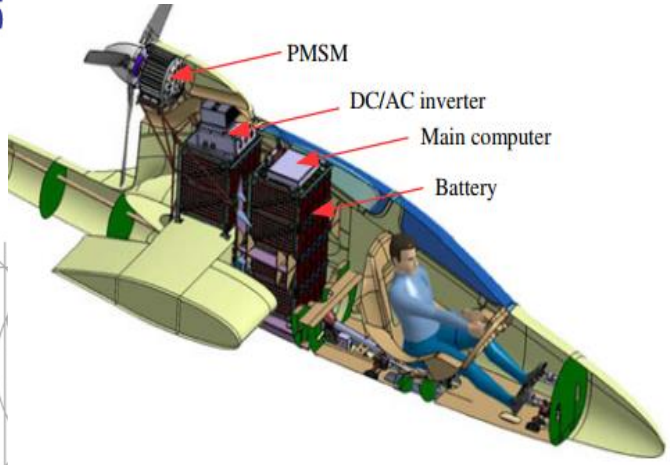
Elektromos repülőgépek

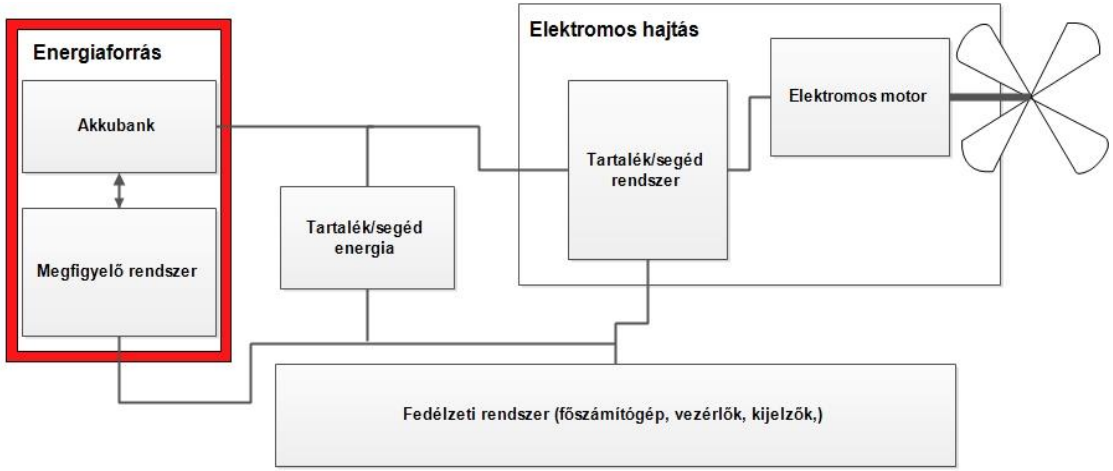
- Motiváció: környezettudatos szemlélet, korlátozott mennyiségű fosszilis energiahordozó
- Hibrid meghajtású rendszerek a dominánsak - akkumulátor cellák korlátozott kapacitása miatt
- Első: MB-E1

Repülőgép típusa	Motor teljesítménye	Elem típusa	Akkubank	Üzemidő
MB-E1 	10kW	Ni-Cd	4 db. Akkumulátor	12 perc
Magnus Aircraft eFusion 	45 – 80 kW	Li-ion	120 cella alkot egy akkumulátort és 8 aksi biztosítja a repülőgépben a hajtást	Max. 30 perc

Elektromos repülőgép hajtásrendszere

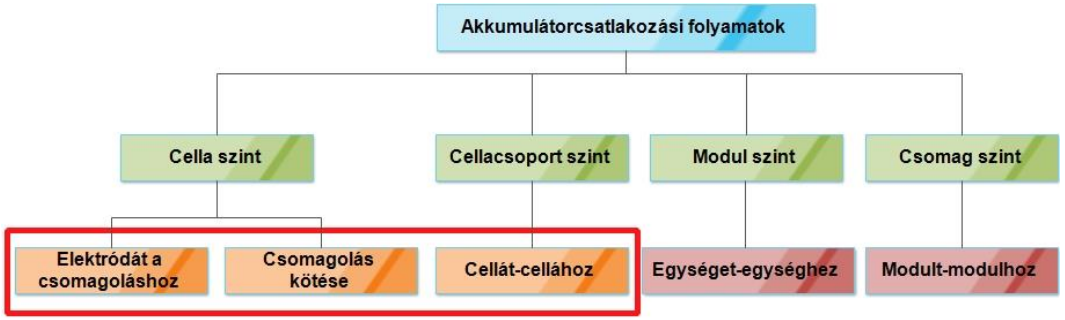
- Elektromos hajtás: motor + tartalék rendszer
- Fedélzeti rendszer: fő számítógép, vezérlő, kijelző
- Energiaforrás: akkubank + megfigyelőrendszer





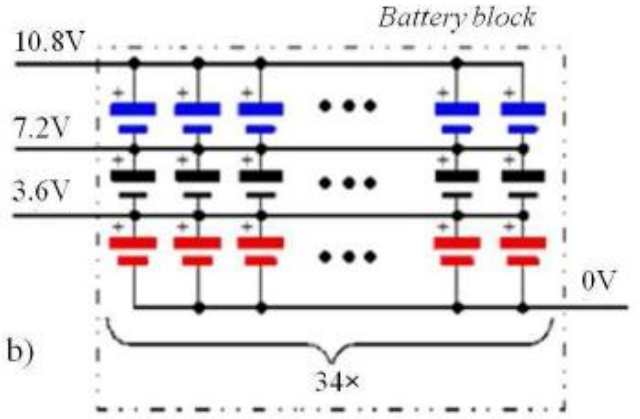
Akkubank felépítése:

- Sok (néhány 100) egyedi cella összekötésével
- Előnyei:
  - testre szabható
  - moduláris
  - könnyen monitorozható



- A csomag (pack level), és modul (module level) szintjén mechanikai csatlakozás
- „Alacsonyabb” (cell, unit level) szinten hegesztést, vagy forrasztást alkalmaznak





Célkitűzés:

- A repülőgépipar számára jelenleg elérhető nagy kapacitású akkubankba köthető kis kapacitású **cellatípusok áttekintése**, bemutatása, valamint a lehetséges jövőben használatos, ígéretes technikák felvázolása
- A cellák **kötéséhez használt anyagok áttekintése**, összevetése



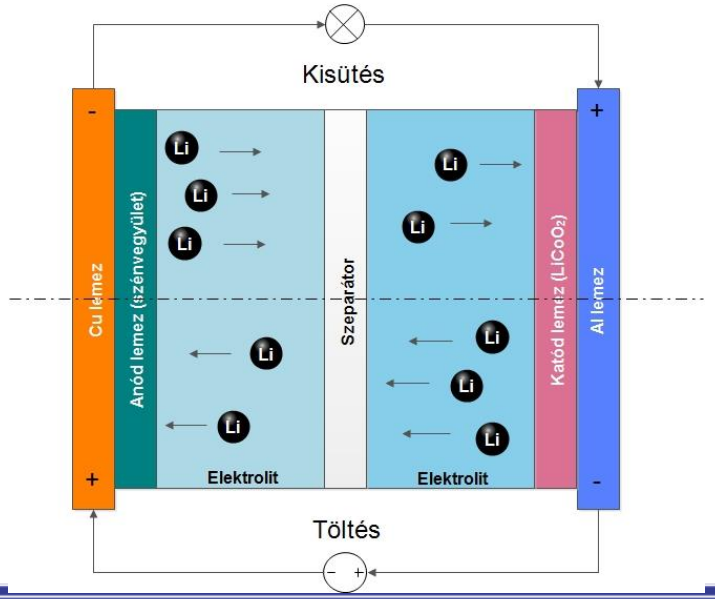
Akkumulátorok kémiája

- Galvánelemek családja
- Villamos és kémiai
  energia egymásba alakítása
- Li-ion esetén:
  - Anód: szénvegyület
  - Katód: $LiCoO_2$
  - Folyékony elektrolit: $LiBF_4$

$$LiCoO_2 \underset{Kisütés}{\overset{Töltés}{\rightleftharpoons}} Li_{1-x}CoO_2 + xLi^+ + xe^-$$

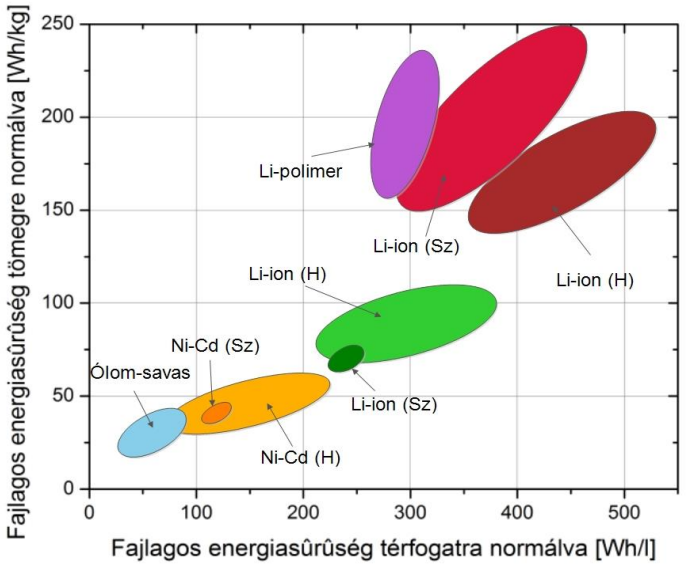
$$C + xLi^+ + xe^- \underset{Kisütés}{\overset{Töltés}{\rightleftharpoons}} CLi_x$$

$$LiCoO_2 + C \underset{Kisütés}{\overset{Töltés}{\rightleftharpoons}} Li_{1-x}CoO_2 + CLi_x$$



Cellatípusok

- Kulcs: fajlagos energia (egységnyi tömegre jutó tárolt energia)
- Li-ion és az Ag-Zn típus
- Ag-Zn : hadiparban, és az űrkutatásban -> magas ár, kisebb feszültség, rövidebb élettartam
- Legígéretesebb: Li-ion

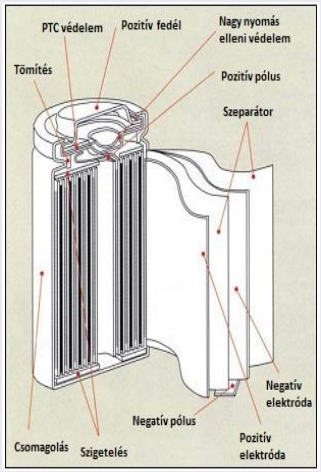
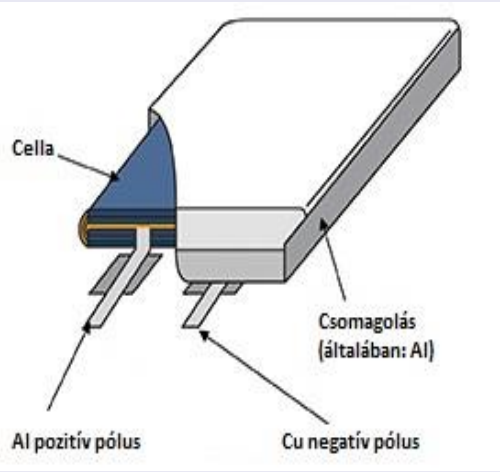


Akkutípus	Fajlagos energia [Wh/kg]	Feszültség [V]	Töltési ciklusok	Ár [$/Wh]	Töltés/kisütés hatékonysága [%]
Ólom-savas	*30-50*	*2*	*200-300*	*56-145*	*50-92*
Li-ion	*90-260*	*3,6*	*500-1000*	*356*	*99,9*
Li polimer	*100-130*	*3,7*	*300-500*	*356*	*99,9*
Ni-Cd	*45-80*	*1,2*	*1000*	*270*	*75*
Ni-MH	*60-120*	*1,2*	*300-500*	*297*	*66*
Ag-Zn	*250*	*1,3-1,6*	*5-200*	*~500-1000*	*95*
Li-levegő (jövő)	*13000 (elméleti)*	*1,7-3,2*	*50 (első kís.)*	*?*	*?*

Li-ion cella

- Előnyök:
  - 260 Wh/kg fajlagos energia
  - könnyebbek, és tartósabbak is mint a társai
  - nincs memóriaeffektusa
  - élettartamuk magas, akár 1000 töltési ciklus is elérhető velük
  - Töltés/kisütés közel 100%-os hatékonyságú
- Hátrányok:
  - viszonylag magas ár
  - védőáramkör beépítésének szükségessége
  - óvni kell a teljes kisütéstől

Akkumulátorok geometriája

Cella geometria	Hengeres (18650, 26650, 21700)	Tasakos	Szögletes
Ábra			
Előnyök	egyszerű gyártás, jó mechanikai stabilitás, olcsó, hosszú élettartam	legkönnyebb, jó belső térkitöltés	vékony profil, kis tömeg, jó térkitöltés
Hátrányok	nehezebb, rossz térkihasználtság	nincsenek szabványosított méretek, rövidebb élettartam	nincsenek szabványosított méretek, drágább, rossz hőmérséklet kezelés, rövid élettartam

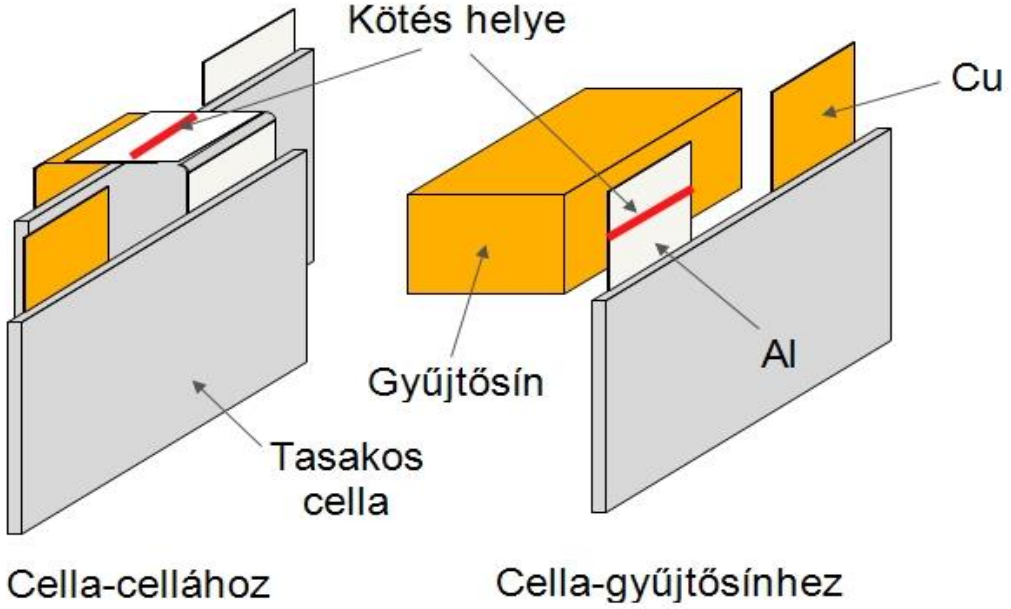
Akkumulátorok paraméterei

Akkutípus	Kapacitás [mAh]	Feszültség [V]	Tömeg [g]	Fajlagos energia [Wh/kg]
Hengeres 18650 Li-ion (Panasonic)	*3200*	*3,6*	*47,5*	*243*
Hengeres 18650 Li-ion (LGChem)	*3000*	*3,6*	*47*	*230*
Hengeres 18650 Li-ion (Sony)	*2600*	*3,6*	*44,3*	*211*
Hengeres 26650 Li-ion (Panasonic)	*5000*	*3,7*	*85*	*218*
Hengeres 26650 Li-ion (Panasonic)	*3500*	*3,6*	*83*	*152*
Hengeres 21700 Li-ion (IJoy)	*3750*	*3,7*	*70*	*198*
Hengeres 21700 Li-ion (Samsung)	*4800*	*3,6*	*67,4*	*256*
Hengeres 21700 Li-ion (Tesla)	*4800*	*3,6*	*60*	*296*
Szögletes 103450 Li-ion (Panasonic)	*2200*	*3,6*	*38,3*	*207*
Szögletes 103450 Li-ion (LGChem)	*2000*	*3,7*	*41*	*180*
Tasakos Li-polimer (A123)	*19500*	*3,3*	*496*	*130*
Tasakos Li-polimer (Farasis)	*25000*	*3,65*	*485*	*188*

UNIVERSITAS SCIENTIARUM SZEGEDIENSIS
SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

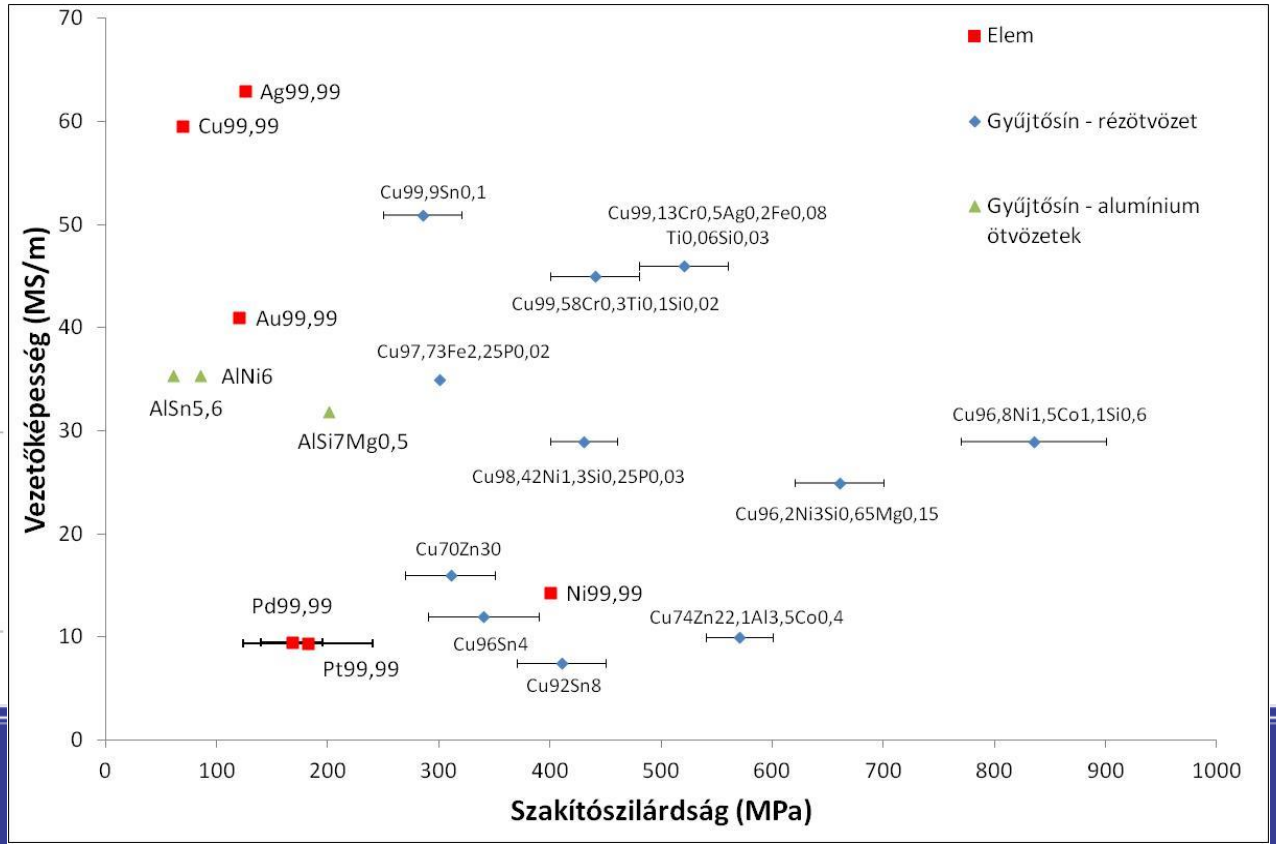
Cellák kötése

- A csomag (pack level), és modul (module level) szintjén mechanikai csatlakozás
- „Alacsonyabb” (cell, unit level) szinten hegesztést, vagy forrasztást alkalmaznak
- Hegesztés, forrasztás: anyagtudományi megközelítés
- Kötés:
  - cellák között
  - gyűjtősín segítségével



Cellák kötése

- **Releváns anyagok:**
  - Hengeres cella estén a kivezetés – Hilumin, mely vékony (1-5µm) nikkel réteggel bevonatolt DC04 acél (0,1-1,2 mm vastag).
  - Tasakos, szögletes cella esetén - anód anyaga réz (Cu), katód anyag pedig alumínium (Al)
  - Gyűjtősín – Réz (Cu), és ötvözetei – jó vezető, olcsó
    - Alumínium (Al), és ötvözetei – jó vezető, könnyebb, olcsó
    - Arany (Au), Ezüst (Ag)– jó vezetőképesség, rendkívül drága
    - Vas (Fe) – megfelelő vezető, olcsó, nem korrózióálló

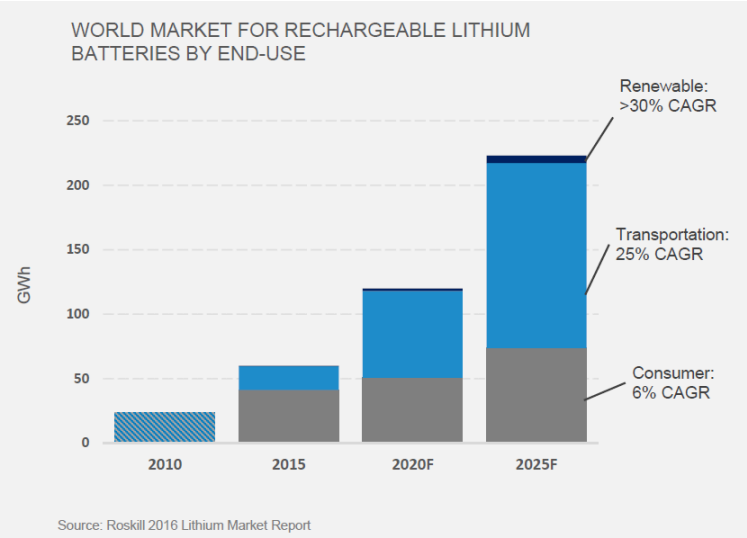


Cellák kötése

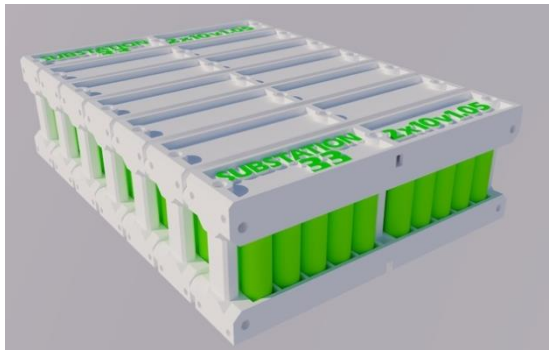
- Hegesztés – anyagtudományi problémák
- Cu-Al, Cu-Fe kötés jól kezelhetők, komplex struktúrák megjelenhetnek
- Al-Fe kötés során intermetallikus vegyület keletkezik

	Al	Au	Cu	Pt	Ni	Fe	Ti	W
Al	-	I	K	I	I	I	I	I
Au	I	-	J	J	J	K	I	N
Cu	K	J	-	J	J	K	I	N
Pt	I	J	J	-	J	J	I	I
Ni	I	J	J	J	-	K	I	I
Fe	I	K	K	J	K	-	I	I
Ti	I	I	I	I	I	I	-	I
W	I	N	N	I	I	I	I	-

Akkumulátorok lézeres kötése



Az akkumulátorok méretének növelése helyett kisebb cellákból kialakított akkumulátor bankok jelentik a racionális megoldást.



A közlekedés a hibrid és tisztán elektromos hajtás irányába fejlődik, ami nagy kapacitású, megbízható akkumulátorokat igényel.

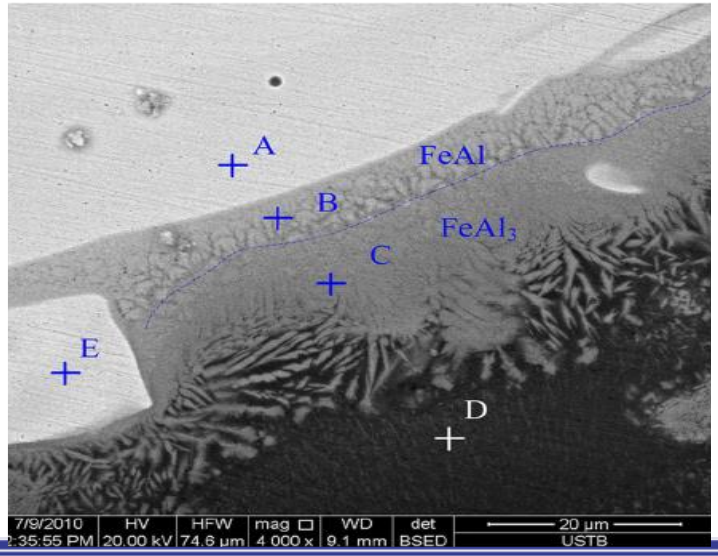
2016. április 7. óta a Siemens és az Airbus hosszútávú kooperációban fejleszt hibrid repülőgépet.



EFOP-3.6.1-16-2016-00014 számú: *„Diszruptív technológiák kutatásfejlesztése az e-mobility területén és integrálásuk a mérnökképzésbe”*

Al-Fe lézeres kötés

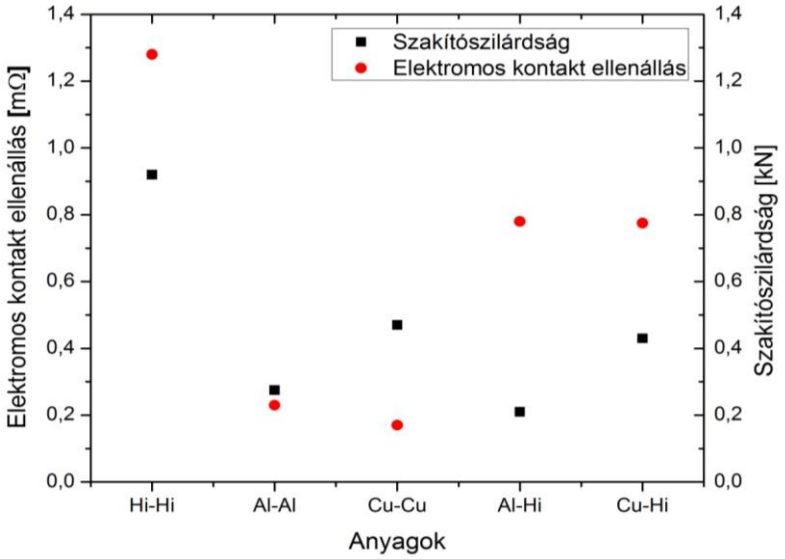
- Problémák:
  - Eltérő olvadáspontok (660°C és 1550°C)
  - Metallurgiai inkompatibilitás (nincs oldódás)
  - Eltérő hőtani tulajdonságok (hőtágulás Al esetén nagyobb)
- Hegesztés eredménye : intermetallikus vegyület (IMC)
- Intermetallikus vegyület két vagy több fémelemet tartalmaz, amelyek új szerkezetet hoznak létre saját összetételükkel, kristályszerkezettel és tulajdonságokkal
- Az IMC réteg kritikus vastagsága: ≈10 mm
- IMC réteg a kerámiához hasonlítható mechanikai tulajdonság szempontjából



UNIVERSITAS SCIENTIARUM SZEGEDIENSIS
SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

Al-Fe lézeres kötés

- Az Al gazdag IMC-k rendkívül ridegek és törékenyek ($FeAl_3$, Fe_4Al_{13}, stb.)
- Megoldás: szilícium (Si), nikkel (Ni), és cink (Zn) tartamú hozaganyagokkal történő forrasztás, ekkor az alumínium inkább a forraszanyagokkal képez vegyületet, mint a vassal, így főleg vas tartalmú Al-Fe IMC-k keletkeznek



Összefoglalás

- A repülőgépipar számára legkedvezőbb akkumulátortípus a Li-ion
- A Li-ion technikák közül jelenlegi állás szerint a 21700-as hengeres modellt érdemes használni, hiszen ezek rendelkeznek a legnagyobb fajlagos energiával (elérhető a 300 Wh/kg-os érték is)
- A jövőben a Li-levegő cella is ígéretes megoldás lehet (fejlesztést igényel)
- Kötésben részt vevő leggyakoribb anyagok: hilumin, a réz (és ötvözetei), az alumínium (és ötvözetei); valamint ezek kombinációi
- Figyelni kell, hogy az IMC vastagsága a kritikus szintet ne haladja meg – Megoldást a megfelelő anyagválasztás jelentheti

Köszönöm a figyelmet!

Munkánkat az EFOP-3.6.1-16-2016-00014 számú, *„Diszruptív technológiák kutatásfejlesztése az e-mobility területén és integrálásuk a mérnökképzésbe”* című pályázat támogatja.

