

Áramkört a fritőzből – a gőzfázisú forrasztásról

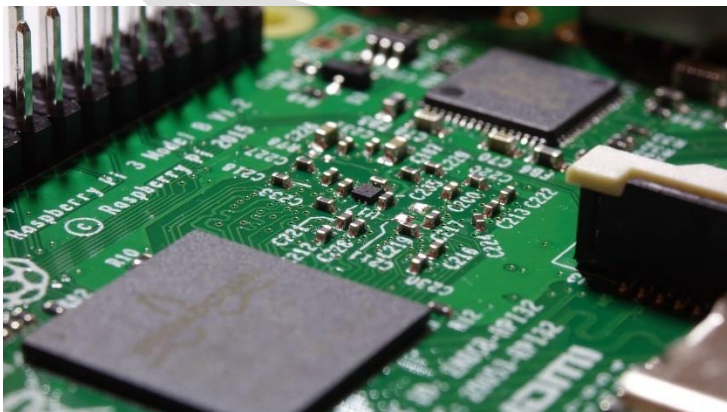
írta: Dr. Géczy Attila, BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Elektronikai Technológia Tanszék, egy. docens

LEAD: Az elektronikai tömeggyártás fontos lépése a forrasztás, amire az iparnak többféle megoldása létezik. A modern kemencék az „Ipar 4.0” digitális irányelvei alapján egyre több szenzort, kinyerhető adatot, és vezérlési lehetőséget kínálnak. Az újraömllesztéses forrasztás kompetenciája már több évtizedre nyúlik vissza a BME Elektronikai Technológia Tanszékén, körülbelül egy évtizede pedig gőzzel is forrasztunk.

Jól jellemzi a villamosmérnök hallgatóink digitális orientációját és az informatikai térnyerését, hogy a forrasztás témaköréhez egyre kevesebbeknek van személyes kötődésük. Pedig nyomtatott áramköri szerelvény nélkül nincs modern hardver, anélkül pedig a szoftver és a virtuális tér sem létezne.

Áramkört azért mindenki látott már a hallgatók közül is, de nem mindenki számára egyértelmű, hogy miként is készül egy modern kütyü szerelőlemeze. A hordozó sík kontaktusaira paszta formában forrasztótvözetet nyomtatnak, amire beültető robotok pozícionálják a gyakran milliméteres jellemzőkkel bíró alkatrészeket, chipeket. Aztán jön a tényleges lágyforrasztás, amit a gyárak futószalagjai forró gáz befúvásos kemencékkel végeznek. Hőt közölnek, a paszta megolvad, majd visszadermedéskor kialakul a fémes kötés, ami áramot vezet és rögzít is. Ezzel a módszerrel (amit újraömllesztéses forrasztásnak is hívnak) napi több millió kötés készülhet egy modern gyáregységben, például az első ábrán is bemutatott, népszerű málnás kártyaszámítógép gyártósorain. Speciális esetekben, csatlakozóknál még az is előfordulhat, hogy pákával, kézi módszerekkel történik a forrasztás.

Hogy visszatérjek a kezdő gondolathoz, zsenge doktorandusz koromban még szinte minden laborgyakorlatra érkező mérnökpalántának volt valami korábbi emlékképe vagy tapasztalata a kézi bütykölésről. Néhányuk ma is ismeri a pákás forrasztást, de az ő létszámuk is egyre csökken. Az a jó egyébként a hosszú laborgyakorlatokban, hogy mindig van lehetőség sztorikat mesélni, egy kicsit bevezetni a hallgatókat az iparszagú dolgok mélységeibe. Ahogy a pákától indulok, eljutunk addig, hogy adott esetben fritőzben, gőzzel is lehet forrasztani! Ilyenkor látom, hogy a szakma irányába érzékenyedő, de még magabizonytalan fejek eldobják a gépszíjat...

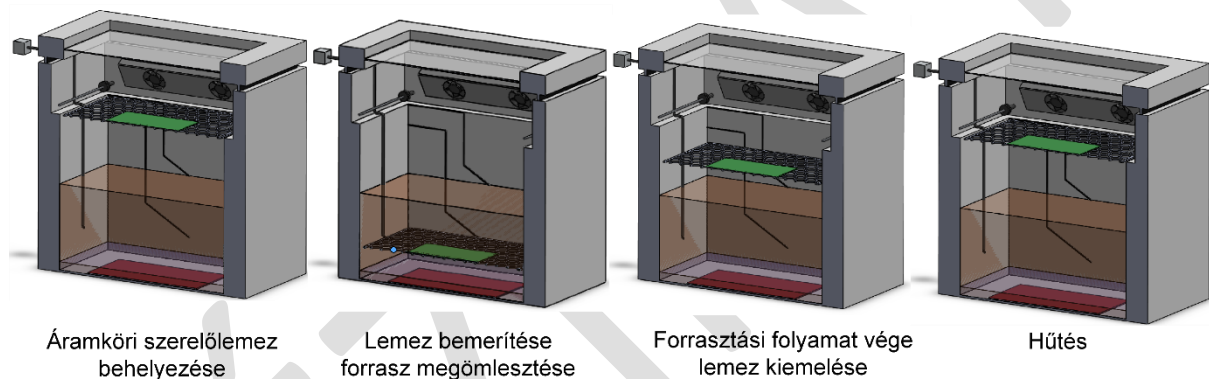


1. ábra - Népszerű kártyaszámítógép áramköri hordozója felületszerelt alkatrészekkel

Pedig a módszer létezik, és úgy hívják: gőzfázisú forrasztás. Magam Illyefalvi-Vitéz Zsolt mentorom tudományos műhelyében futottam először össze egy „fritőzzel”, ami tényleg egy olajsütő volt, forrasztási művelethez, pontosabban gőzfázisú forrasztási művelethez módosítva. A téma azóta is a fő kutatási területem.

GŐZZEL FORRASZTANI

Mit is takar ez a „gőzfázisú” forrasztás, angolul Vapour Phase Soldering (VPS)? A korábban említett hőátadás történik a gőzben, ezzel melegítjük fel a szerelvényt, így olvasztjuk meg a forrasztanyagot. A folyamat elején a már forrasztal felnyomtatott, alkatrészekkel beültetett áramkört forró gőzbe helyezünk, aminek hőmérséklete a forrásponthoz igazodik. Az áramköri hordozó merítésénél hirtelen lecsapódás következik be, azaz kondenzáció történik a lemez és az alkatrészek felületén. A lecsapódás során felszabadul a gőz látens hője (az a többlet energia, amit az elforrálásánál adtunk át a közegnek), a szerelvényen kialakuló filmszerű folyadékréteg pedig addig melegíti a lemezt, amíg annak hőmérséklete el nem éri a forráspontot. A második ábra be is mutatja a folyamatot egy ipari kemence keresztmetszeti ábráján keresztül.



2. ábra - A gőzfázisú forrasztás folyamata ipari kemence keresztmetszeti ábrázolásával

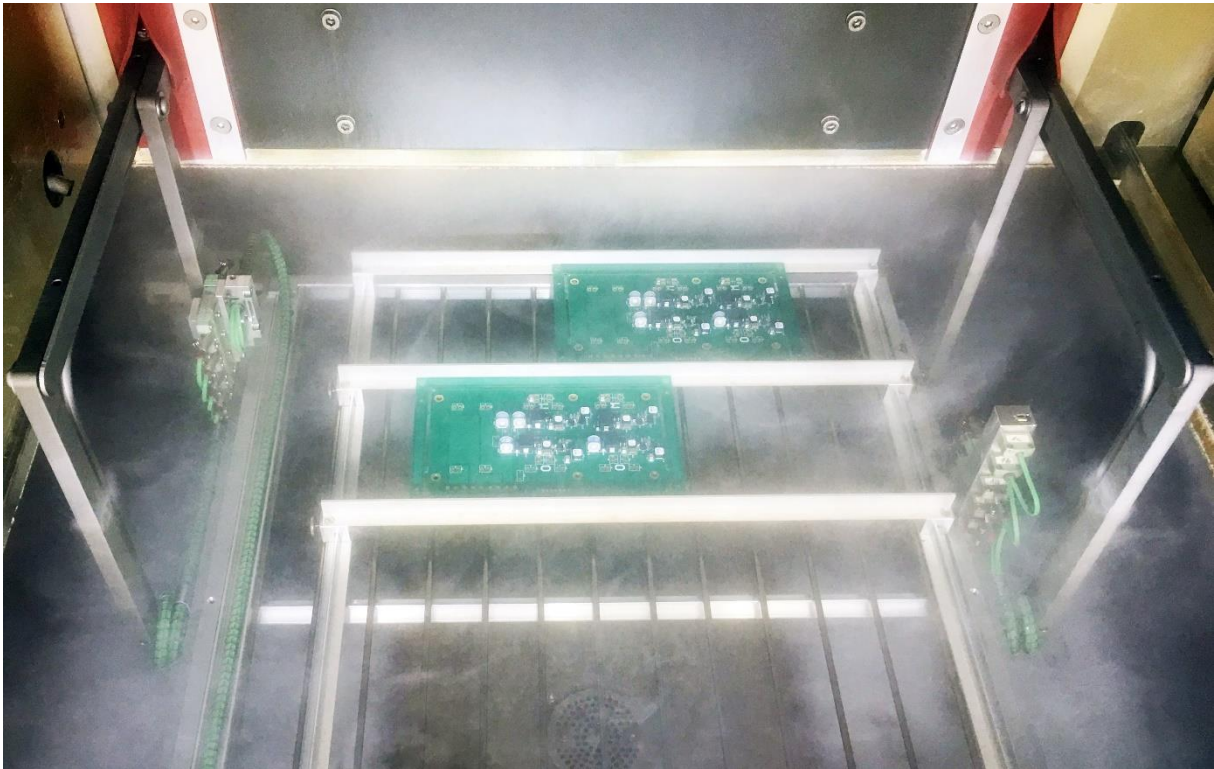
Nem akármilyen folyadék gőze alkalmas a célra – fontos, hogy a forrásponti hőmérsékletnek magasabbnak kell lennie a forraszt fémötvözetének olvadáspontjánál. Aztán az sem szerencsés, ha a folyadék korrodál, vagy szennyez, esetleg bárminemű más reakcióba lép az áramkör anyagi rendszerével. Az évek során egy speciális műanyag folyadék mellett tette le a voksát az ipar. A Galden (PFPE – perfluor-poliéter) folyadék polimerláncát a forráspont szerint konfigurálja a gyártó, így különböző forrasztóötvözetekhez különböző hőfokon forralható folyadékot választhatunk, 170 °C-tól a modern, környezetbarát ólommentes ötvözetekhez passzoló 230°C-240°C hőmérsékletekig.

Úgy lett tehát az olajsütőből forrasztóállomás, hogy a merülőforralóra étolaj helyett Galdent öntöttünk, a fritőz kosarát mintatartónak preparáltuk, a villamos teljesítmény szabályzását külső egységre bíztuk, a munkateret pedig hőmérő szenzorokkal vértettük fel. Egy fontos dolgot hagytam csak ki az előző felsorolásból. A tartály tetejére egy vízkeringetésű hűtőkört is elhelyeztünk, így a rendszer zárt lett, a többlet gőz ennek a magassági szintjén egyszerűen kicsapódik és visszafolyik a tartály aljába.

A fritőz tökéletes kiinduló pont volt, mondhatni lelkes tanulók fizikai makettje, ami a nagy ipari folyamatokat mímelte. Segítségével hőátadási modelleket ellenőriztünk, nyomásmérő módszeren alapuló kemence-vizsgálati módszert hoztunk létre, mintamozgató liftvezérlést alkottunk, diplomázó hallgatókkal alacsony hőűrésű, komposztálható áramkörökön forrasztottunk sikeresen.

KÜLÖNBÖZŐ ELVEKEN

A fenti módszer és a modell-kemence igen szigorú korlátokkal bír már csak a geometriai kialakításból fakadóan is. Emellett a telített gőzben való forrasztás során hirtelen nagy hőkülönbségek léphetnek fel az áramkörön. A hideg szerelvény forró gőzre adott hőmérsékleti ugrásválasza jól modellezhető, de a gyakorlatban nagy gondot jelent a hirtelen melegedés, ami miatt a rétegszerkezetek például különböző hibaképeket produkálhatnak. Ezek a tömeggyártásban elfogadhatatlanok. Ezért is variálták tovább a kemencegyártók a gőzfázisú forrasztás vezérlési lehetőségeit és a berendezések (3. ábra) kialakítását.



3. ábra - Áramköri hordozók egy modern ipari gőzfázisú kemencében (Forrás: Newbury Electronics)

Az egyik legfontosabb továbbfejlesztést „hő-szintezett” módszernek lehetne hívni magyarul, mivel egy kijelölt mélységi szintre merítik a szerelvényt a kemencében. Ilyenkor a telített Galden gőz még nincs jelen a kemence munkaterében, azt alulról a forralás során fejleszti a gép, meghatározott teljesítménnyel. A mintatartó rácsra helyezett hideg áramkörök a folyamat során „elfogyasztják” az alulról érkező gőzt. A folyamat akkor fejeződik be, amikor az áramkörök már nem csapatnak le több Galdent. A berendezésben egy magasabb pozícióba beépített hőmérő szenzor jelzi a felfelé törő hőátadó közeget, egyúttal a folyamat végét. Ennek a módszernek nagy előnye, hogy a fűtési teljesítmény visszaszabályzásával lassítható a melegedés, valamint a csúcshőmérsékleten töltött idő is kordában tartható. Ezek a megoldások mind előnyösek lehetnek az áramköri anyagok szempontjából.

Természetesen a konkurens vállalatok más-más megoldásokkal rukkoltak elő a szabályzás tekintetében. Az hő-szintezésre a konkurenciának a „puha” gőzfázisú forrasztás volt a válasza. Az úgynevezett „soft-VPS” folyamatban telítetlen gőzteret hozunk létre. Itt az a lényeg, hogy a gőz sűrűsége átmenettel bír; minél lejjebb merítjük a kemencében az áramkört, annál sűrűbb gőzzel

találkozik. Ha ezt megfelelő lift-vezérléssel hajtjuk végre, akkor precíz forrasztási hőmérsékletet állíthatunk be egy hőmérsékleti visszacsatolás segítségével.

A harmadik főbb újítás a vákuumkamra bevezetése volt – ez természetesen nem azt jelenti, hogy vákuumban forrasztunk, hanem azt, hogy a forrasztóanyag megömlése után a munkatérrel alacsony nyomásra szívja le a kemence, ezzel a gőzt kivonjuk a munkatérből és a megolvadt forraszkötésben rekedt gázzárványokat (buborék-jellegű hibaképek) is eltávolítjuk. Ez kifejezetten előnyös a magas minőségi igényű elektronikáknál, például az autóiparban vagy orvosi műszereknél.

TELJES GŐZZEL KUTATUNK-FEJLESZTÜNK

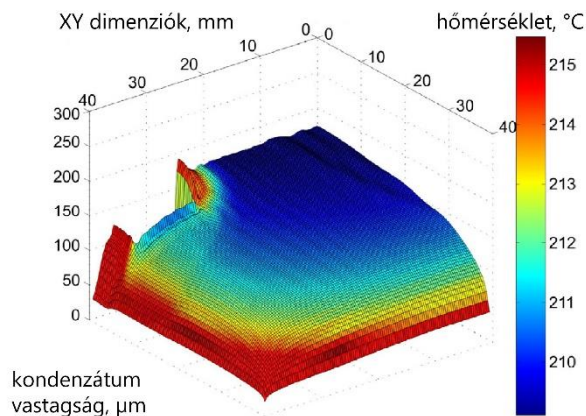
Hogyan tudunk ehhez mi, egy egyetemi tanszéken hozzátenni? Például az Ipar 4.0 szellemében történő fejlesztések, újítások bevezetésével. Laborunk hallgatói, doktoranduszai bő évtizede dolgoznak a technológia érzékelési lehetőségeinek finomításán. A modern szemléletben az érzékelők adják az „okos gyártás” egyik alapkövét. A folyamatok visszamért paramétereit használhatjuk a szabályzásban, ezeket az adatokat vizsgálhatják mérnökök akár távoli munkaállomásokon, sőt, a gyártósori berendezések egymást is képesek szabályozni, ha a folyamat egyik lépése a másikra rossz hatással lenne. Ebben a szemléletben egy különös közeg a gőz. A forró gőzbe helyezett hideg érzékelők ugyanis képesek komolyan megzavarni, úgymond perturbálni a rendszert. Ezzel addig nincs gond, amíg az érzékelők együtt melegednek a gőztérrel, hiszen így legfeljebb egy kicsit tovább tart a munkatér készenlétebe helyezése.

A komolyabb probléma akkor jön elő, amikor egy új gyártmány melegítésének folyamatát minősítenénk például hőelemekkel. A minősítésnél használt hőelemek a tömeggyártásban később már nincsenek jelen – mást mérünk a folyamat kezdeti beállításánál, mint aztán ami a tömeggyártásban történik majd. Kimutattuk, hogy a szenzorok vezetékeinek komoly hatása lehet a beállításokra. Ez a jelenség kritikus pillanatokban, az optimalizáltnak vélt tételeknél rejtett problémákhoz vezethet. Amelyek aztán a forraszkötések minőségére, és hosszabb időben értelmezett megbízhatóságára is kihathatnak.

A munkatér telepített, fix hőérzékelőivel is lehetnek problémák. A gőz akkor is forrásponthőmérsékletre melegítheti a szenzorokat, amikor telített gőz még nincs jelen a munkatérben. A telítődés kimutatására nagy érzékenységgel többletnyomásmérőket alkalmaztunk. Hőálló, gőztérbe vezetett szilikoncső-szondákkal és a kemence munkatérén kívül elhelyezett szenzorokkal ugyanis kimutatható a vízpárához mérten nehéz Galden gőz hidrosztatikai nyomása, ezzel új leírási lehetőségek adódnak. Amíg a hőmérő szenzorok, közönséges termoelemek lassan felfutó melegedési görbét írnak le, addig a telített gőz megérkezését éles váltásokkal jelzik az alkalmazott többletnyomásmérő érzékelők. Az átfolyásmérő szenzorok is képesek a változás dinamikáját követni, de a többletnyomásmérők azonnal visszacsatolnak a telített gőzszlop kifejlődéséről, sőt, annak magasságát is vizsgálhatjuk velük bizonyos korlátok között. A nyomásmérők arra is alkalmasak, hogy a kvázi-zárt rendszer szigetelését, az esetleges szivárgását is jelezzék – ezzel munkavédelmi alkalmazhatóságukat igazoltuk. Az ipar még nem alkalmazza ezeket a szenzorokat a gőzfázisú kemencékben – reméljük kutatásunk és friss publikációink ezen a helyzeten változtatni fognak.

Az adatok nem csak a vezérlésnél elengedhetetlenek. A modellezés intézménye szükséges ahhoz, hogy egy ilyen komplex folyamatot részeiben vagy egészében is jól értelmezzünk. A melegedést leíró egyszerűbb szimulációtól a háromdimenziós térbeli munkatér-modellekig, vagy a negyedik ábrán is látható filmréteg-szimulációig többféle módon modellezzük a gőzfázisú forrasztást. Ha a modellek adatai összeérnek a szenzorok által mutatott értékekkel, akkor a digitális iker irányba mutató

eredményeket kaphatunk. Ez a szemlélet már nem csak a jelen, hanem a jövő fejlesztési trendjeihez is igazodik.



4. ábra - Kondenzátum vastagságának szimulációja egy alkatrész körüli torlódás esetében (negyed-tér ábrázolás)

NEM KÁR A GŐZÉRT

Azon túl, hogy a szakirodalom legfrissebb újdonságaihoz hozzá tudjuk tenni a magunkét, az ipar számára is értéket kell teremteni kutatásunkkal. A gőzfázisú forrasztást ma főleg a speciálisan magas igényű elektronikáknál használják, például a már említett autóiipari, orvosi, vagy éppen katonai, repüléstechnikai alkalmazásoknál. Mivel a kemencék energiaigénye egyes forrasztási kötésekre lebontva kisebb, mint a többi módszer esetében, a gőzfázisú forrasztás a környezetbarát irányelvekkel is párhuzamba állítható. Az ipar dolgozik a folyamat költség- és idővonzatával kapcsolatos hiányosságok áthidalásán, a gőzfázisú forrasztás egyre nagyobb szeletet haraphat ki a tömeggyártásban is. Ezzel a kutatásunk jelentőségének igazolása mellett egy további személyes előnyhöz is hozzájutok: a hallgatók számára további érdekes történeteket tudok mesélni a fritőzből kifejlesztett forrasztási módszer nagyszerűségéről.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS:

Köszönet illeti az összes kutatásban részt vevő kollégát, jelenlegi és volt hallgatót, akik az évek során öregbítették az iskola hírnevét!

A kutatás jelenleg az OTKA-FK 132186 pályázat keretein belül zajlik.