Kutatás és innováció 2021

GAMF Közlemények tanulmánykötete

Felelős kiadó: Neumann János Egyetem GAMF Műszaki és Informatikai Kar
Kecskemét

Szerkesztők: Johanyák Zsolt Csaba,
Kovács Lóránt,
Pásztor Attila,
Ferenczy Tibor,
Weltsch Zoltán,
Tóth Ákos,
Dobjánné Antal Elvira

ISBN 978-615-5817-97-7

Machining of composite materials

Gábor Kónya [1]

[1] ***Department of Innovative Vehicles and Materials, GAMF Faculty of Engineering and Computer Science, John von Neumann University***

Summary

At the present time composite materials are used in many areas of industry. The main bearing is still in the aircraft industry. Company, I cooperate with, produces little composite parts for the aircraft industry and deals with problems of composite materials machining. The main problem by the composite materials machining is tool-wear, tool life and temperature during the machining of polymer composite materials. In first part of the paper I deal with tool wear of HSS milling tools at various cutting conditions. The next part deals with the problematic of a cutting temperature by the machining GFRP composite materials, four milling tools and three cutting conditions. In the end of this paper I evaluate these results illustrated in a graph and figures.

Keywords: Composite materials, GFRP, Milling, Flank wear, Cutting temperature

1. Review of composite materials

The composite materials, or the composites, are the construction materials made of two or more components with significantly different physical and chemical properties. Combinating this two components we create a new material with unique properties that cannot be reached by none of these components separately neither by simply summarization [6],[7],[13],[14],[15].

As a composite it can be understood such a material that meets following conditions:

– Was made artificially,
– Consists of at least two chemically different components,
– The components have homogenous distribution throughout the volume from the macroscopic point of view,
– Consequential properties of composite are different from the properties of the individual components [6],[7].

These conditions exclude the natural materials (eg: wood as associated material to lignin matrix, reinforced by celluloid fibers, further bamboos, bones, etc.) [6],[7].

At present time the composite materials can be divided by a type of matrix and by a production method. Division by a type of matrix is following:

– Polymers,
– Metallic,
– Ceramic [6], [7], [8].

Motivation to work out this topic was my cooperation with company producing composite parts for the aircraft industry.

We can see some examples of their products on the “Fig. 1 – 3”.

Within the cooperation I deal with the composite materials, their processing, mostly the machining of the composite materials.

Figure 1. Composite wing

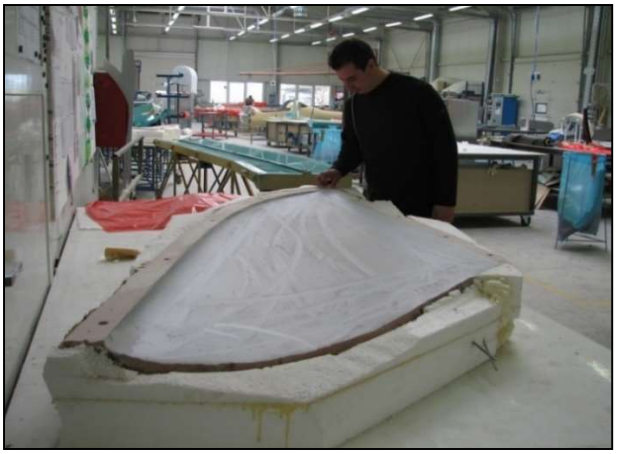


Figure 2. Prototype form

Figure 3. Mass of small composite parts

2. Machining of composite materials

The glass in the Mohs scale of hardness neighboures with cemented carbide, carbide of silicon and with boron carbide. Therefore all the materials besides PCD (polycrystalline diamond) will be intensively worn by the machining of glass reinforced composite materials [1],[5].

The filler of the composite materials can be oriented differently so the material is anisotropic. The process of machining influences a binder too, as the carrying-off heat is poor and “sticks” the function surfaces of the cutting tool, mainly the cutting face [1],[5].

It is possible to machine the reinforced composites on the standard metal or alternatively wood processing machine tools without cooling, but with sucking dust and chips [1],[5].

Very low carrying-off heat of the machined material (glass reinforced composite) causes that the heat is not getting through to the chip and the work piece so extensively as by the metal machining. Therefore it must be carried-off by tool. This significantly increases the tool wear. To use the cooling system is not possible, alternatively only in few rare cases [1],[5].

It is possible to use cemented carbide with high quality coat or diamond (PCD) [2], [3].

As the composites are low resistant to temperatures (100 to 300 °C) they are not constant and so the cutting conditions need to be adjusted not to reach the critical temperature [1],[5].

The physical properties of the fiber and the basic material are completely different and together with the fiber orientation predestinate the cutting power and machinability of composite material [8].

Reinforced fibers have strong abrasive effect and are a main source of a very intensive tool wear. Therefore it is necessary to achieve advanced durability choosing the tool material with high resistance to the abrasion (for example: cemented carbide with coat, diamond) [3],[4].

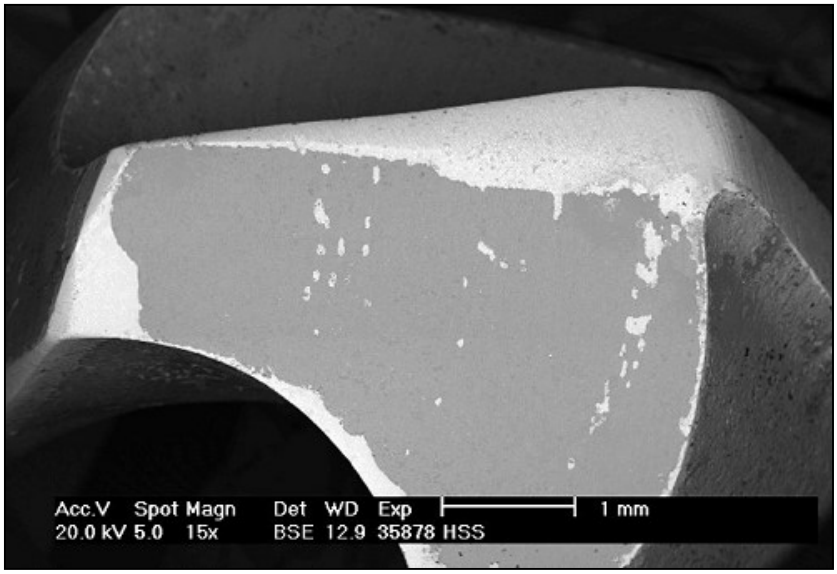


Figure 4. Microscopic view on the cutting tool from high speed steel, VB = 1,33 mm [3]

It is possible to use tools made of high speed steel for the machining of composite materials [9], [10]. Then we can await lower cutting speed and tool life combined with repeated changing and grinding of tool. Also is possible to use laser [16], [17] technologies (like femtosecundum laser), but the heat area was very dangerous from the side of the composite.

High speed steels compared to other cutting materials are characteristic by lower hardness and are less resistant to the abrasive wear (Fig. – 4).

Most of the composite materials have a very low heat conductivity (except: composite materials with metal matrix). Therefore the heat must be carried-off the cutting zone in maximum rate by a tool. The heat conductivity of high speed steels is relatively low, three to four times lower then cemented carbide. The high temperature in the area of a tool spike causes low tool life [3].

The most frequent form how to increase the wear resistance and so the tool life of high speed steel tools is application of various wear resistant coats. In this case the intensity of the tool wear is still relatively high (Fig. – 5) [3].

Cemented carbide tools achieve better results compared to the high speed steels tools. The hardness is increased by a higher proportion and ultrafine grain of a carbide phase. Contrary the big grains and the higher proportion of a binder increase the toughness of the cemented carbide.

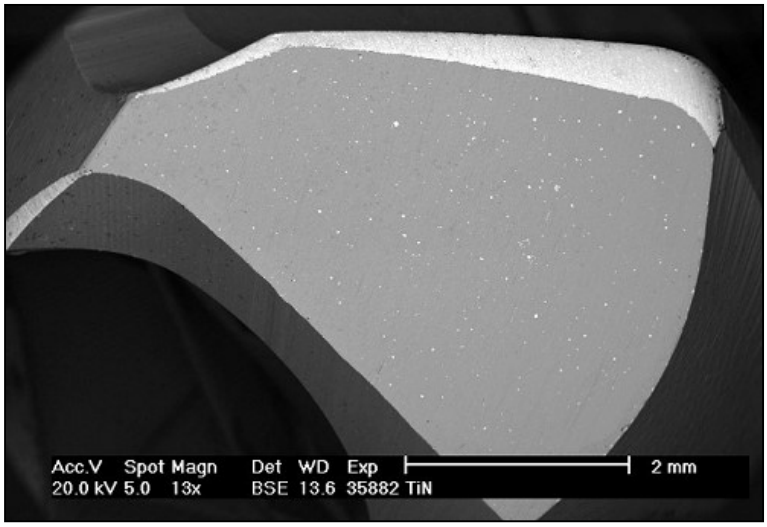


Figure 5. Microscopic view on the cutting tool from high speed steel,
VB = 1,04 mm [3]

Therefore the ultrafine grain cemented carbide are more suitable for abrasive reinforced composit materials machining that have better hardness and so the higher tool wear. These cutting materials are covered by various kinds of coats on the carbides, nitrides, oxides or diamond base to increase the tool life (Fig. 6) [3].

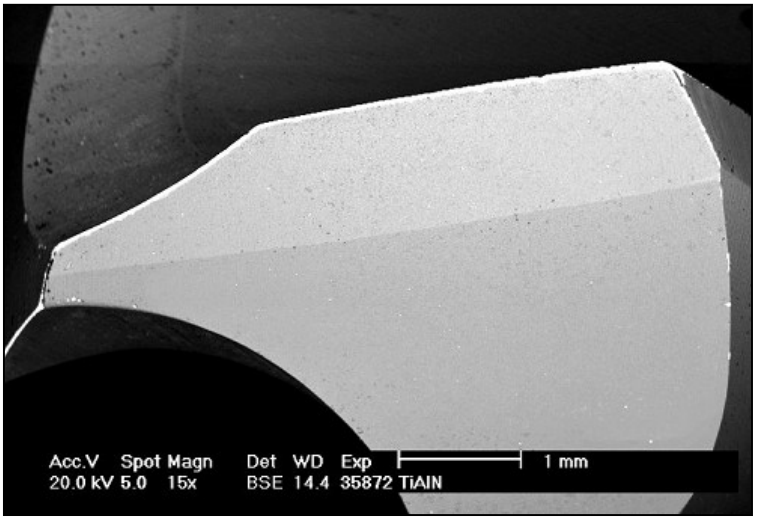


Figure 6. Microscopic view on the cutting tool from cemented carbid, VB = 1,04 mm [3]

The best results by the composite materials machining is achieved using the polycrystalline diamond tools. The high hardness allowing resistance to highly abrasive wear. The very good heat conductivity anables good carrying-off heat from the cut area. The tool life is multiply higher than by a cemented carbide. The above alows significant increase of the cutting conditions (mainly the cutting speed) [3].

3. HSS tool wear by the machining GFRP

The experimental tests of HSS tool wear were practised at Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology in Trnava, Institute of Production Technologies, Department of Machining and Assembly. The machine used was VMC 1000 Eagle. The cutting materials were of the diameter 6 mm, the work piece was Glass Fiber Reinforced Plastic laminate (next only GFRP) with 60% glass volume. At the product laminated stocks there was used epoxy resin L285. A microscope with CCD camera connected to PC was used for the width of the flank wear land measurement (WB). The experiments were utilized by a method based on one factor experiment (at constant conditions

was modified only cutting speed). The cutting conditions used at the experiments we can see in the 'Table 1':

Table 1. Cutting conditions by GFRP machining

N.o.	Revolution (min^{-1})	Cutting speed (m/min)	Feed (mm/min)	Feed per tooth (mm)	Tool life criteria-VB (mm)	Depth of cut (mm)	Tool life (min)	Nr. of tooth
1	1000	18.84	200	0.05	0.3	1.5	11.5	4
2	1500	28.26	300	0.05	0.3	1.5	3.9	4
3	2000	37.68	400	0.05	0.3	1.5	3.2	4
4	2500	47.1	500	0.05	0.3	1.5	2.1	4
5	3000	56.52	600	0.05	0.3	1.5	2	4

a) b) c)

Figure 7. a) b) c) Example of GFRB milling

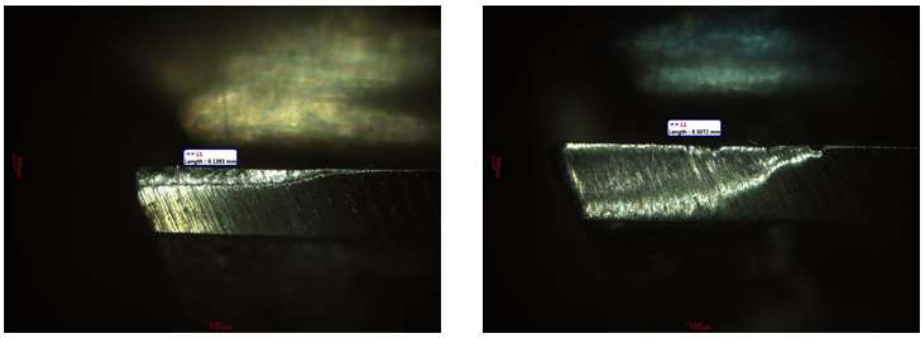


Figure 8. HSS tool wear in the various cutting conditions

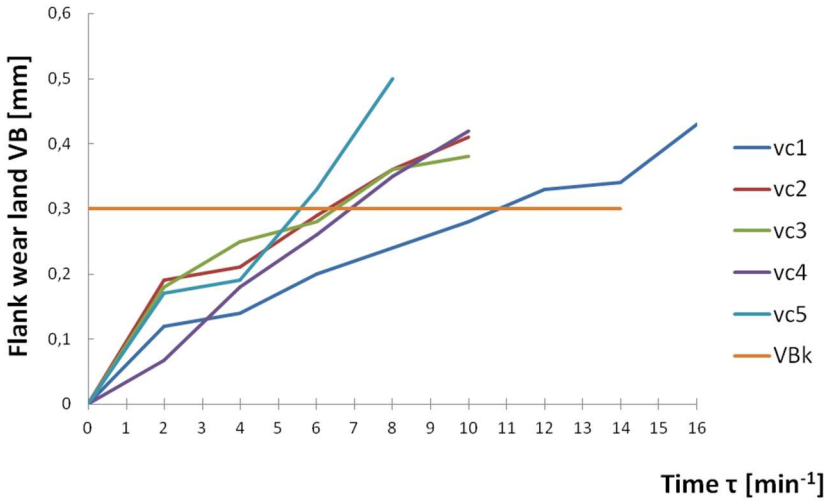


Figure 9. HSS tool wear curve

Figure 10. Machining by HSS tools – the chip and resin mixture stick to the tool, burned out resin on the cutting faces of the tool. a – v_{c1}, b – v_{c2}, c – v_{c3}, d – v_{c4}, e –v_{c5}

4. HSS tool wear by the machining GFRP

Considering the tool life and surface conditions of the work pieces, the investigation on the thermal phenomena of cutting processes is essential, moreover, it is a basic duty in the research work concerning the high speed and ultra-precision machining.

In spite of the fact that is this issue is known for about 80 years, there are some unanswered questions due to imperfect measuring methods [2].

According to Koening, the most reliable method for the measuring of the cutting temperature (Θ) is measuring by thermocouple into the cutting tool, and on the other hand, the thermocouple has to be calibrated for every tool work piece material (figure 11) [2].

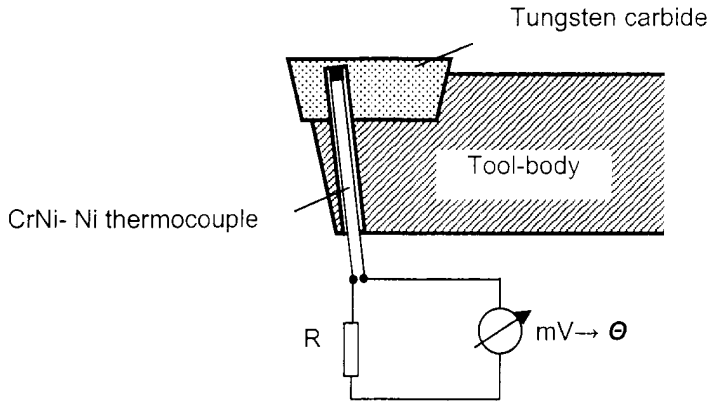


Figure 11. Measuring the cutting temperature by thermocouple [8]

There are measuring methods using infrared temperature indication that detects the infrared radiation coming from tool-chip interface without direct contact. A thermo-map could be taken on any designed part of the cutting zone by the infrared camera and it is also possible for the data to be separately evaluated. In this case, the sophisticated camera must be positioned far from the cutting zone, otherwise te removed tool-chips may disturb the continuous sensing during cutting. Further disadvantage is that continuous data recording is possible with the camera. These disadvantages, however, can be eliminated by transmitting the infrared radiation in fibre-optics [2].

4.1. Cutting temperature measurement in the machnining GFRP with the infrared camera

In Figure 12, the positioning of the FLIR T360 infrared camera, the 2D thermo-map and the 3D thermo-map on designated part can be seen. The 3D thermo-map is taken by FLIR Quick Report 2.1 software.

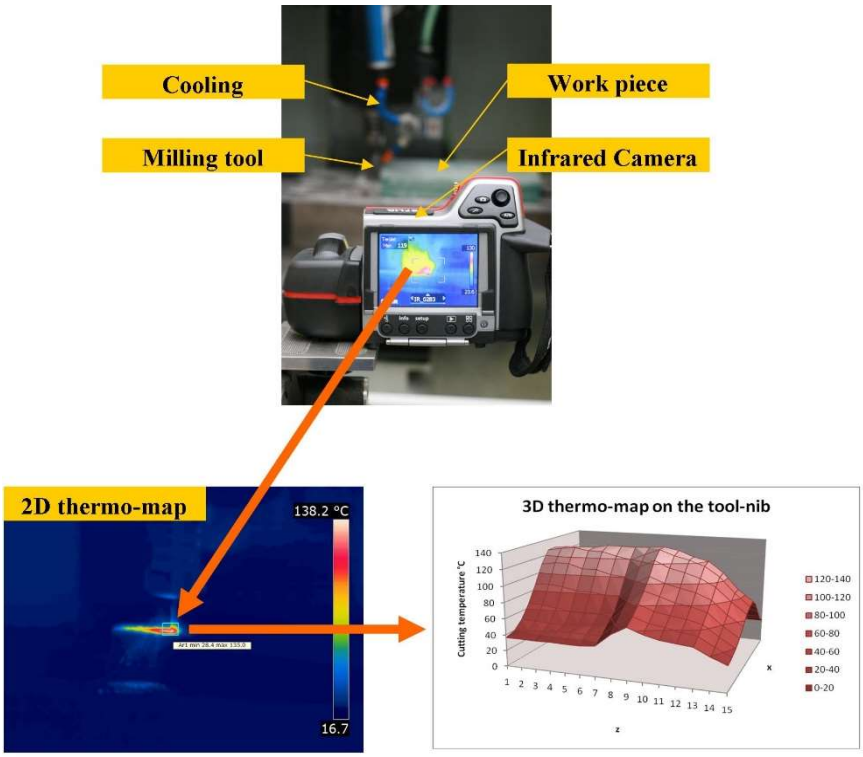


Figure 12. Cutting temperature measuring system with infrared camera [11], [12]

Experiments were provided at the Kecskemét College Faculty of Mechanical Engineering and Automation. The main aim of the experiments was to find out the temperature during the GFRP materials machining with different cutting tools and cutting speeds without and with cold air cooling. During the experiments there were used milling tools with diameter 6 mm. The cutting materials were: High Speed Steel, Monolith cemented carbided cutting tool from company Pramet Šumperk, s .r. o. with mark 06E6R50 – 15A06 KIVA and Monolith carbide mill with diamond coat from company SECO Tools, s. r. o. with mark 640V060R050 – DIAMOND. Machining center Tomill 250 3D CNC was used to provide this experiment.

We can see the cutting conditions in ’Table 2’:

Table 2. Cutting conditions by the machining GFRP with various cutting materials

Tool	Cutting speed (m/min)			Feed (mm/min)			Depth of cut (mm)	Width of cut (mm)	Number of teeth	Feed per tooth (mm)
	v_{c1}	v_{c2}	v_{c3}	v_{f1}	v_{f2}	v_{f3}				
HSS	28.26	47.1	56.52	300	500	600	1.5	3	4	0.05
Sinthered Carbide	100	113.4	150	1392	1805	2388	1.5	3	6	0.05
Diamond coated	100	113.4	150	1061	1203	1592	1.5	3	4	0.05

On the 'Figure 13 – 15' we can see dependance of cutting temperature on cutting speed by the milling of GFRP using different cutting materials. As we can see the highest temperature was achieved by milling with HSS cutting tool 'Figure 16'. The reason is that HSS have much lower thermal conductivity than cemented carbide or diamond. Results indicate it is not convenient to use HSS during the machining GFRP not even with cold air cooling. Almost the same results we achieve with using monolith diamond coated cutting tool without cooling and with the highest cutting speeds 'Figure 17'.

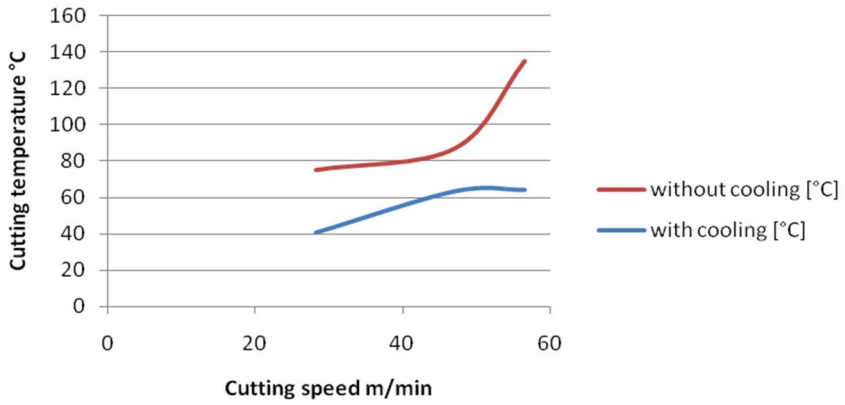


Figure 13. Influence of cutting speed by machining GFRP with HSS cutting tool

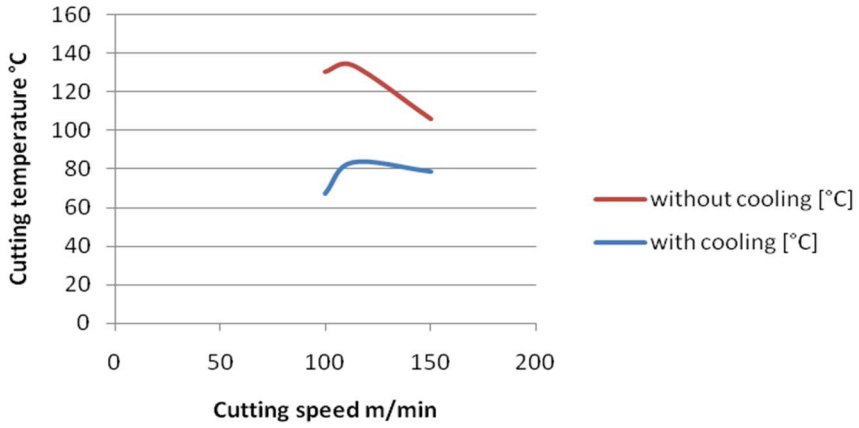


Figure 14. Influence of cutting speed by machining GFRP with cemented carbide cutting tool

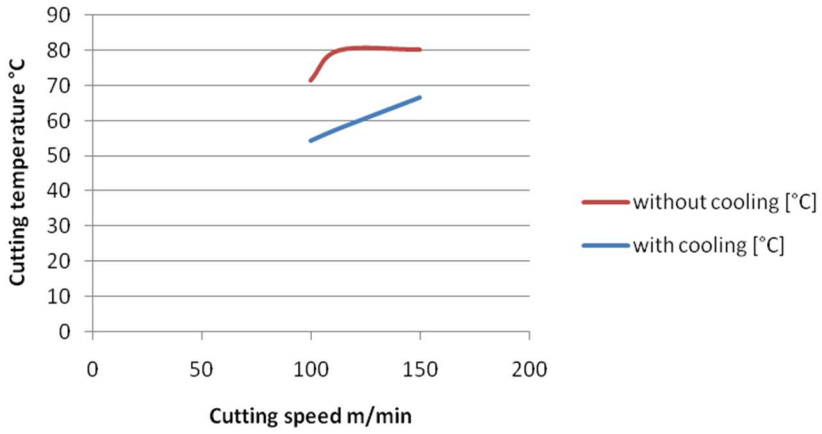


Figure 15. Influence of cutting speed by machining GFRP with diamond coated cutting tool

5. Results

During the experiments there was found that high speed steels are not convenient from economical neither from technological aspect by the machining of GFRP. The tool life of these tools is very low. During the machining process there occured unwanted effects (eg. sticking of resin – chip mixture to the functional tool surfaces, at high cutting speeds comes to the resin burn out). From the environmental point of view there is also danger of chips distribution in atmosphere (in shape of powder). These problems need to be solved.

The next unwanted phenomenon is heat during the machining. It known from the technology and theory of metal machining the heat in biggest quantity carries-off by the chips. Composites with polymer components are very low thermal conductive materials therefore also in this example the chip carries-off only a small quantity of heat. The arised heat must be carried-off in big quantity by a tool. This requires the cooling with cold air, good choice of the cutting material and suitable cutting conditions.

With this results we can confirm that monolith diamond coated cutting tool is highly more efficient than cutting tool from HSS. As the epoxy resin has the melting point from 85°C to130°C (depends on kind of hardener) we proved to machine without melting the resin and we prevented stick of the chip and resin mixture on the functional parts of the cutting tool.

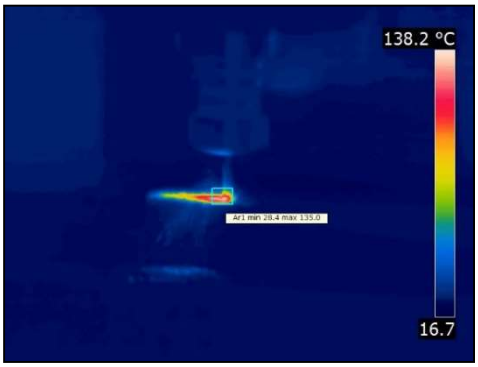


Figure 16. Cutting temperature at milling GFRP with HSS cutting tool

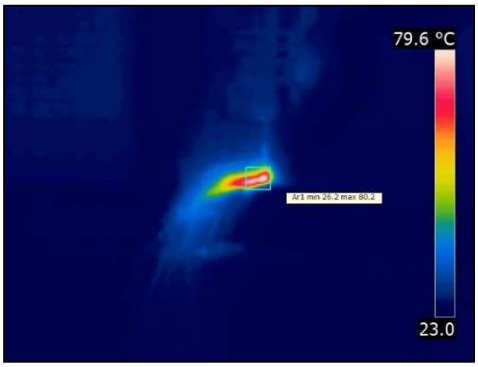


Figure 17. Cutting temperature at milling GFRP with diamond coated cutting tool

REFERENCES

[1] BUBLAVÝ, J. (2003): Obrábanie kompozitných materiálov a PVC., Záverečná práca na TnUA.D. – TŠT v Trenčíne

[2] KODÁCSY, J. (2009): Investigation on the thermal phenomena of cutting processes, Academic Journal of Manufacturing Engineering Vol. 7 (3/2009), pp. 30-35.

[3] SEDLÁČEK, J. (2007): Nástroje pro obrábění kompozitních materiálů. MM Spektrum

[4] SEDLÁČEK, J. (2007): Problémy při obrábění kompozitních materiálů. MM Spektrum

[5] SEDLÁČEK, J. (2006): Nástroje na obrábění kompozitných materiálů. In: MM Průmyslové spektrum, č.6, pp. 28 – 31. ISSN 1212 – 2572,

[6] SKOČOVSKÝ, P. a kol. (2006): Náuka o materiáli pre odbory strojnícke. 2 vydanie, EDIS, Žilina

[7] TÁBORSKÝ, L., ŠEBO, P. (1982): Konštrukčné materiály spevnené vláknami, Alfa

[8] VASILKO, K. a kol. (1990): Nové materiály a technológie ich spracovania. Alfa, Bratislava

[9] Líska, J., Kovács, Zs. F., Sándor, R. (2015): Üvegszál erősítésű Kompozit fúrásának vizsgálata gyorsacél és keményfém szerszámmal, GRADUS 2:2, pp. 168-173.

[10] Líska, J., Kovács, Zs. F., Sándor, R. (2015): Optimális technológiai paraméterek megválasztása kísérletek alapján, GRADUS 2:2, pp. 147-151.

[11] J, L. & J, K., 2011. Tool wear and cutting temperature at machining of composites. ADVANCED MATERIALS RESEARCH, 325, pp.381–386.

[12] Liska, J. & Kodácsy, J., 2011a. Cutting temperature at machining of composites. In TEAM 2011. pp. 143–146.

[13] Kun, K., Kodácsy, J., Vaczkó, D., & Kovács, Z. F. (2019). Ni-bázisú szuperötvözetek megmunkálhatósága váltólapkás marószerszámok alkalmazásával.

[14] Krisztián, Kun., & Tamás, S. (2021). Szénszálerősítésű kompozit lengőkar rétegrendjének optimalizálása verseny-motorkerékpárhoz: Layer optimization of a carbon fiber reinforced composite swingarm for a racing motorcycle. Nemzetközi Gépészeti Konferencia–OGÉT, 126-131.

[15] Kun, K., & Sárkány, T. Development of an Active Aerodynamic System for a Racing Motorcycle. Műszaki Tudományos Közlemények, 15(1), 65-70.

[16] Kun, K. (2021). Design of an Experimental Injection Moulding Tool for Testing Microstructured Cavity Surfaces. Acta Materialia Transylvanica, 4(2), 97-102.

[17] Kun, K., & Boza, P. (2018, November). Investigation of inserts surface structures on injection moulded parts. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 448, No. 1, p. 012052). IOP Publishing.

[18] Hepp, B., Ádámné Major, A., Lantos, G. (2017). Reverse engineering process of yarn strengthened pressure regulator diaphragms. Vehovszky, B., Takács, J., Bán, K. (szerk.) 34th international Colloquium on Advanced Manufacturing and Repairing Technologies in Vehicle Industry. pp. 57-60.

[19] Ádámné Major, A., Boja, D. (2018). The influence of cosmic radiation on the mechanical properties of different polymers. Ferdynand, Romankiewicz; Remigiusz, Romankiewicz; Robert, Ulewicz (szerk.) Advanced Manufacturing and Repair Technologies in Vehicle Industry : Monograph 35th international colloquium. pp. 215-224.

[20] Ádámné Major, A. (2017). Interesting behavior of polymers containing multiwall carbon nanotubes. IOP Conference Series: materials Science and Engineering 1: (1) paper 012027

Egyenletes szerszámterhelést biztosító szerszámpálya alkalmazhatóságának vizsgálata nikkel-bázisú szuperötvözet esetében

Investigation of the applicability of a toolpath providing uniform tool loading for nickel-based superalloy

Kónya Gábor [1*], Miskolczi István [1], Kókai Eszter [1]

[1] Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék

Összefoglaló (absztrakt)

Jelen kutatómunka a Rene 108 jelű nikkel-bázisú szuperötvözet horonymarása során alkalmazott egyenletes szerszámterhelést biztosító szerszámpálya alkalmazhatóságát vizsgálja. Számos kimeneti paramétert (forgácsoló erő és a megmunkált hornyok felületi minősége) elemeztek a szerzők annak érdekében, hogy meghatározzák, mely technológiai paraméterek vannak főként hatással a forgácsolási folyamatra.

Kulcsszavak: Ni-bázisú szuperötvözet, horonymarás, forgácsolhatóság, egyenletes terhelést biztosító szerszámpálya, erőmérés

Summary

The present research investigates the applicability of a toolpath to ensure uniform tool loading during slot milling of the Rene 108 nickel-based superalloy. A number of output parameters (cutting forces and surface quality of machined slots) were analyzed by the authors in order to determine which technological parameters have a major impact on the cutting process.

Keywords: Ni-based superalloy, slot milling, machinability, tool path for even tool loading, force measurement

1. Bevezetés

A nikkel-bázisú szuperötvözetek felhasználásának mértéke évről-évre drasztikusan nő, hiszen olyan innovatív és gyorsan fejlődő iparágak

alapanyagaként szolgál, mint a jármű – és energetikai ipar [1],[2]. Ezen ötvözetek közös jellemzője a rendkívül nagy szilárdság, a rossz hővezetőképesség, a hő – és korrózióállóság [4],[5],[6]. Ezekből a tulajdonságokból adódóan rendkívül nehéz ezen ötvözetek megmunkálása, azonban a legtöbb alkatrészt mégis forgácsolással állítják elő. A CAM stratégiák hatását a maráson kívül hengerlésnél is vizsgálják, ahol a maráshoz hasonlóan pozitív eredményeket kaptak [7],[8],[9].

A kutatás során egy egyenletes szerszámterhelést biztosító szerszámpálya esetén vizsgálják a szerzők a technológiai paraméterek hatását a megmunkálási folyamatra.

2. Kísérlettervezés

2.1. Kísérlethez felhasznált alapanyag

A horonymaráshoz a Rene 108 típusú nikkel-bázisú szuperötvözet került felhasználásra, mely mechanikai tulajdonságai az 1. táblázatban láthatók. A táblázatban látható nagy keménység és szakítószilárdság rendkívül megnehezíti a forgácsolhatóságot.

1. Táblázat. GTD-111 mechanikai tulajdonságai [4]

Szakítószilárdság, R_m (MPa)	**Nyúlás, A_s (%)**	**Kontrakció, Z (%)**	**Keménység, HRC**
1310	5	5	41,4

2.2. Technológiai paraméterek

A kutatás során minden egyes szerszámmal egy darab 12 mm hosszú, 12 mm széles és 4 mm mélységű hornyot munkáltak meg a szerzők. A kísérletek során a forgácsoló sebesség és az előtoló sebesség változott, így egy 9 kísérletes Taguchi-kísérletterv készült, mely a 2. táblázatban látható.

2. Táblázat. Taguchi-kísérletterv

Paraméter	v_c (m/min)	v_f (mm/min)
1	25	30
2	25	40
3	25	50
4	50	30
5	50	40
6	50	50
7	75	30
8	75	40
9	75	50

Ezen kísérletterv mentén folyt a kutatás mind az új, mind az újraélezett szerszám esetében, így 18 db megmunkálás volt elvégezve.

2.3. Kísérlethez használt berendezések

A kísérletek a NCT EmL-850D 5AX típusú megmunkáló központon kerültek elvégzésre kellő merevsége és pontossága miatt.

A megmunkálás Walter Proto max$^{TM}_{ST}$ H4038217-8-1 típusú 8 mm átmérőjű, 4 élű, tömör keményfém hosszlyukmarókkal történt, melyekből 9 db új és 9 db újraélezett és újrabevonatolt szerszám állt rendelkezésre. Erre azért volt szükség, mert korábbi kutatások is alátámasztják, hogy az újraköszörülés és újra bevonatolás hatással van a megmunkált felület minőségére és a forgácsolási jellemzőkre egyaránt.

A forgácsolás során fellépő erők mérésére az alábbi berendezések voltak alkalmazva:

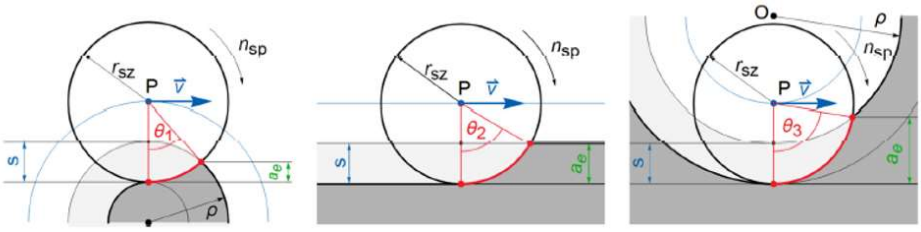
– Kistler 9125A24 típusú forgó erőmérő,
– Kistler 5237A típusú jelerősítő egység,
– Kistler 5697 típusú jelfeldolgozó egység.

A mérési eredmények Dynoware szoftver segítségével voltak rögzítve.

A megmunkált hornyok felület érdességei Mitutoyo S3000 érdességmérő géppel lettek megmérve.

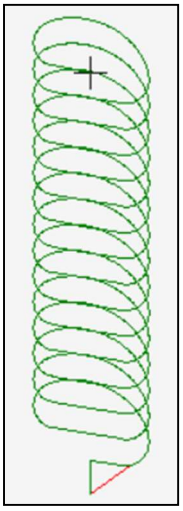
2.3. Kísérlethez használt CAM stratégia

A kísérlet során Dr. Jacsó Ádám által készített egyenletes szerszámterhelést biztosító stratégia volt alkalmazva. Különlegessége a szerszámpályának abban rejlik, hogy a kontaktszöget folyamatosan állandó értéken (1. ábra) tartja, ezáltal a forgácsleválasztás egyenletessé válik, mely következtében megszűnik a szerszám nagymértékű dinamikus terhelése [3].



1. ábra. Kontaktszög alakulása konvex ív, egyenes és konkáv ív mentén [3]

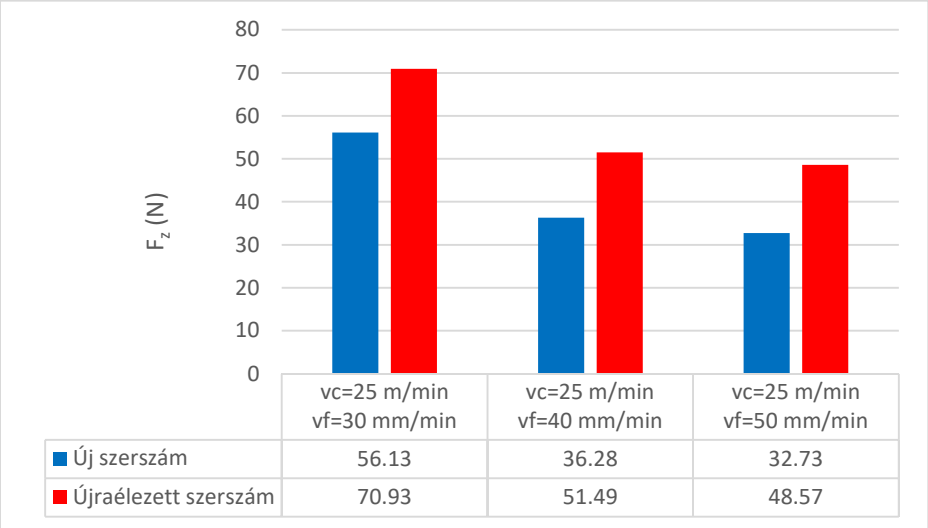
A megmunkálások során 18°-os kontaktszög volt alkalmazva, amelyhez tartozó szerszámpálya a 2. ábrán látható.



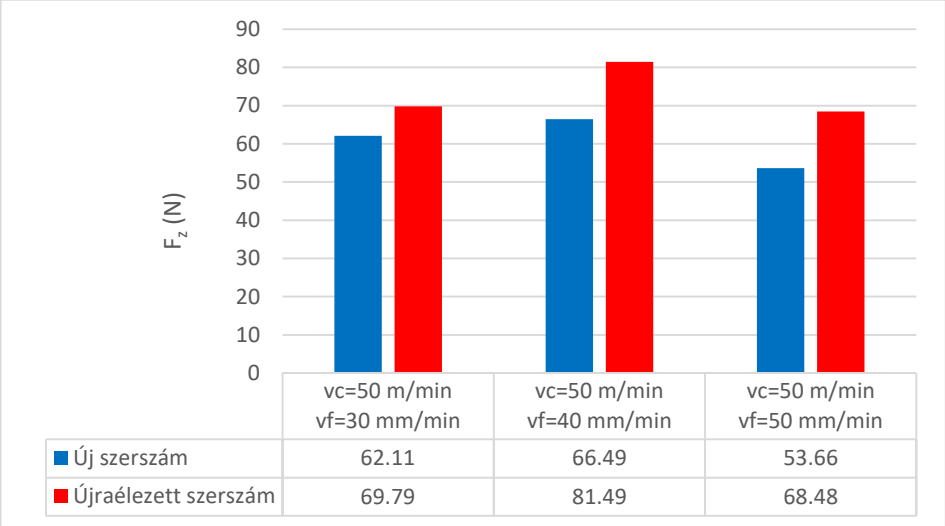
2. ábra. Kontaktszög alakulása konvex ív, egyenes és konkáv ív mentén

3. Eredmények kiértékelése

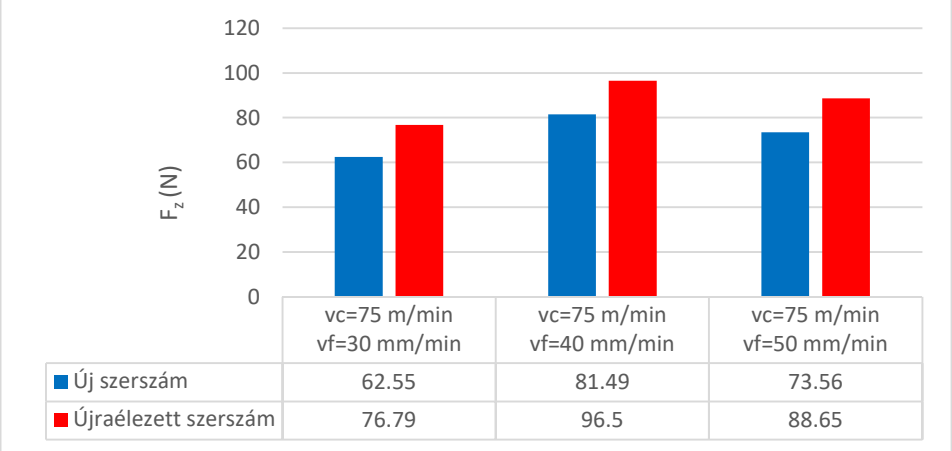
3.1. Kísérletek során fellépő forgácsoló erők



3. ábra. F_z értékek $v_c = 25$ m/min forgácsoló sebesség esetén



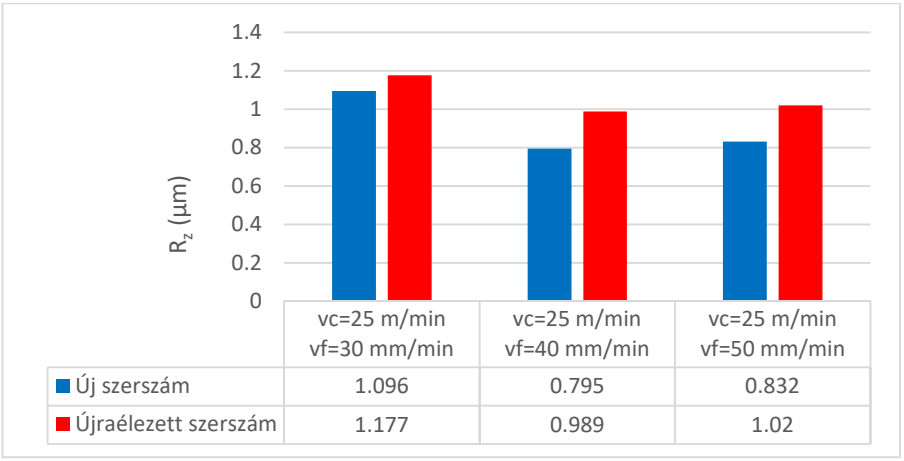
4. ábra. F_z értékek $v_c = 50$ m/min forgácsoló sebesség esetén



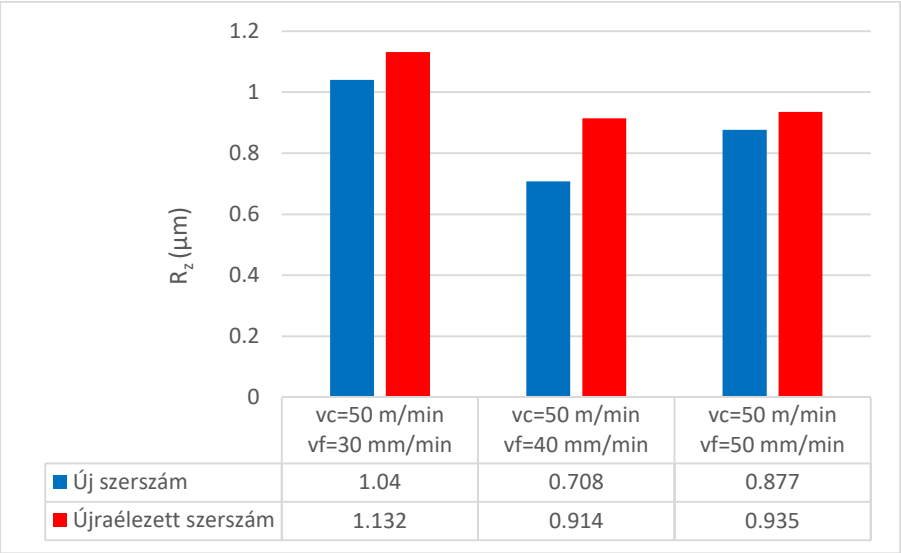
5. ábra. F_z értékek v_c = 75 m/min forgácsoló sebesség esetén

A fenti diagramokon (3-5. ábra) jól látszik, hogy a forgácsoló sebesség növekedésével a megmunkálás során mért erők is folyamatosan növekedtek. Az új és az újraélezett szerszám között átlagosan 14 N-os forgácsoló erő növekedés figyelhető meg, azonos mennyiségű forgácsleválasztás mellett. Az előtoló sebesség változásnak jelentős negatív befolyásolása nem látható a kapott eredményeken, sőt sok esetben kedvezőbb hatása volt a forgácsoló erőre nézve.

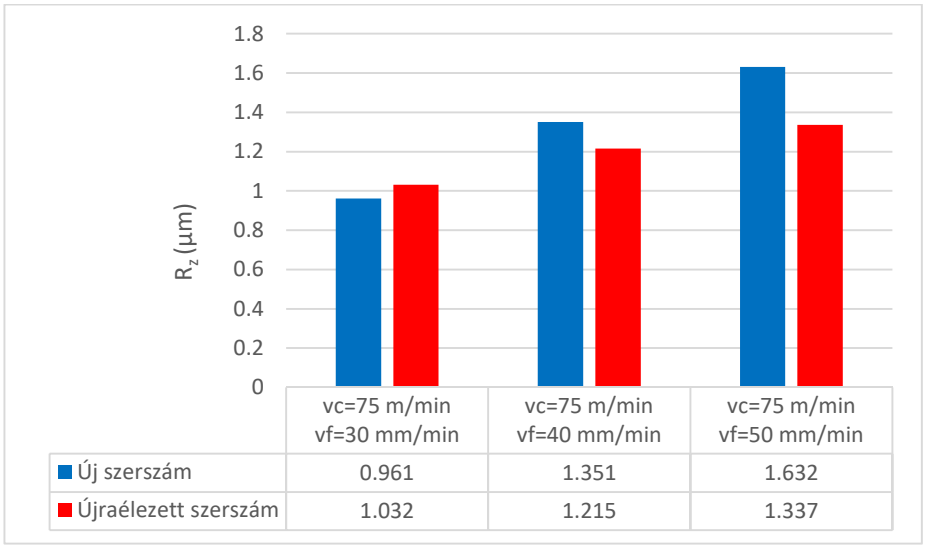
3.2. A megmunkált hornyok felületi minősége



6. ábra. R_z értékek v_c = 25 m/min forgácsoló sebesség esetén



7. ábra. R_z értékek v_c = 50 m/min forgácsoló sebesség esetén



8. ábra. R_z értékek v_c = 75 m/min forgácsoló sebesség esetén

Az eredmények alapján elmondható, hogy a 25 m/min és 50 m/min forgácsoló sebességek esetében az előtoló sebesség növelése a felületi érdesség javulását

eredményezte. A 75 m/min-es forgácsoló sebesség esetében azonban a rontott a felületi érdességen.

A 25 és 50 m/min-es forgácsoló sebesség esetén látható az a tendencia, hogy az új szerszámokkal jobb felületi minőséget sikerült elérni, mint az újraélezett szerszámokkal. Ez azonban a 75 m/min-es forgácsoló sebesség esetében fordítva van, ahol az újraélezett szerszámok hoztak jobb eredményeket. Ennek az oka az lehet, hogy a szerszám köszörülés során módosítottak az élgeometrián az eredeti kialakításhoz képest, amely kedvezően befolyásolta a megmunkálás eredményét. Így 75 m/min-es forgácsoló sebesség esetében forduló tendencia nem releváns, hiszen a szerszámok felhasználási sorrendje tetszőleges volt, így bármely más technológia esetén alkalmazni lehetett volna a szerszámot, ezáltal abban az eredménysorban módosítva a folyamat irányultságát.

4. Összegzés

A kutatómunka során az egyenletes szerszámterhelést biztosító szerszámpálya kapcsán vizsgáltuk a Rene 108 típusú Ni-bázisú szuperötvözet horonymarás során létrejövő kimeneti paramétereket. Összehasonlítottuk, hogy az új – és az újraélezett szerszámokkal való megmunkálás során fellépő forgácsolási erőket és a kapott hornyok felületi érdességét.

A kísérlet alapján megállapítható, hogy a forgácsoló sebesség növelésével az új – és az újraélezett szerszám között forgácsolóerő növekedés figyelhető meg az újraélezett, megváltozott geometriájú szerszám javára. Általános tendencia, hogy az előtoló sebesség növelése javítja a felületi érdességet, míg a forgácsoló sebesség növelés hatására romlik.

IRODALOM

[1] W. Chrzanowski, E. A. A. Neel, D. A. Armitage, J. C. Knowles (2008): Effect of surface treatment on the bioactivity of nickel-titanium, Acta Biomaterialia Vol. 4, pp. 1969-1984.
DOI: 10.1016/j.actbio.2008.05.010

[2] E.O. Ezugwu (2005): Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys, International Journal of Machine Tools and Manufacture Vol. 45, pp. 1353-1367.
DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2005.02.003

[3] Á. Jacsó, Gy. Mátyási, T. Szalay (2021): Trochoidal Tool Path Planning Method for Slot Milling with Constant Cutter Engagement, Advances in Industrial and Production Engineering Vol. 1, pp. 659-668.
DOI: 10.1007/978-981-33-4320-7_59

[4] J. Kodácsy, Zs. F. Kovács, Zs. J. Viharos (2015): A Ni-bázisú szuperötvözetek megmunkálhatósága horonymaráskor, Gradus Vol 2, pp. 142-146. ISSN: 2064-8014

[5] K. Kun, J. Kodácsy, D. Vaczkó, Zs. F. Kovács (2019): Ni-bázisú szuperötvözetek megmunkálhatósága váltólapkás marószerszámok alkalmazásával, Acta Materialia Transylvanica Vol. 1, pp. 49-54. DOI: 10.33923/amt-2019-01-08

[6] K. Kun, J. Kodácsy, D. Vaczkó, Zs. F. Kovács (2019): Machinability of Ni-based superalloys by indexable end mills, Acta materialia transylvanica 2:1 pp. 49-54.

[7] Katarína, S., Líška, J. et al., 2010. CAM strategies at milling of shaped surfaces. In International Doctoral Seminar Proceedings. pp. 453–459.

[8] Kovács, Zs F; Viharos, Zs J; Kodácsy, J: Surface flatness and roughness evolution after magnetic assisted ball burnishing of magnetizable and non-magnetizable materials, Measurement vol. 158, Paper: 107750, (2020)

[9] Kovács, Zs; Viharos, Zs J; Kodácsy, J (2018): The effects of machining strategies of magnetic assisted roller burnishing on the resulted surface structure, IOP CONFERENCE SERIES: Materials science and engineering 448, Paper: 012002.

Kavaró dörzshegesztés különböző szerszámainak kísérleti úton történő vizsgálata

Investigation of Friction stir welding tools by experimentals

***Kovács Patrik*[1]**

[1] Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék

Összefoglaló (absztrakt)

A modern járműgyártásban egyre nagyobb szerepet kapnak a különféle dörzshegesztéssel készült alkatrészek. A kavaró dörzshegesztési technológia, a gyártási emisszió csökkentésében is szerepet játszik, ezért szükséges olyan szerszámokat fejleszteni, amik a megfelelő beállításokkal több szempontból is hatékonyabbá tehetik a termelést. Különböző beállítási paraméterek eltérő eredményeket hozhatnak, ezért fontos meghatározni, hogy az adott beállítással, milyen területen akarunk javulást elérni.

A kutatás témája ezeknek a paramétereknek, a termelési minőségre gyakorolt hatása, valamint a különböző beállításokkal készült varratok összehasonlítása.

Kulcsszavak: kavaró dörzshegesztés, hatásvizsgálat, varrat, járműgyártás, minőség, hegesztési paraméterek, hegesztő szerszámok

Summary

In modern vehicle manufacturing, various types of friction-welded parts are playing an increasingly important role. Friction stir welding technology, which also plays a role in reducing manufacturing emissions, requires the development of tools that, with the right adjustments, can make production more efficient in many ways. Different set-up parameters can produce different results, so it is important to determine in which area you want to improve with a given set-up.

The research will focus on the impact of these parameters on production quality and the comparison of welds made with different settings.

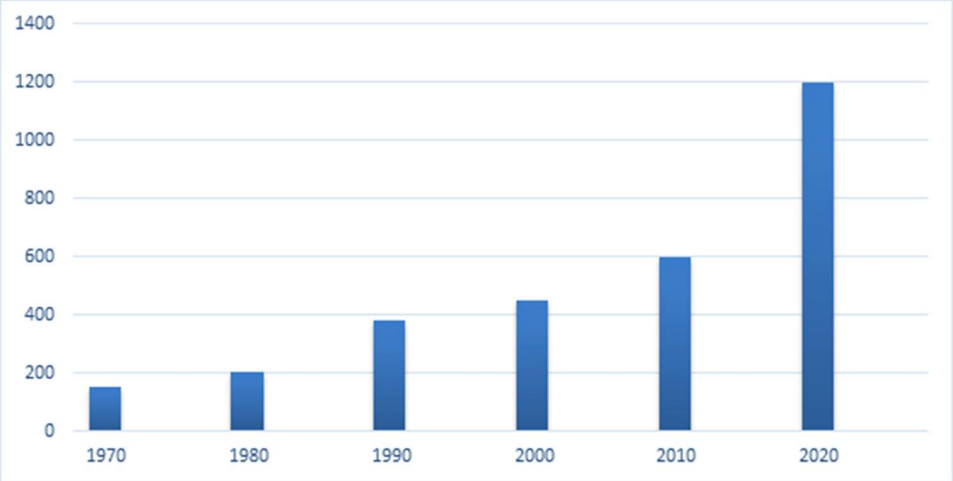
Keywords: friction stir welding, impact test, weld, automotive, quality, welding parameters, welding tools

1. Bevezetés

A modern, XXI. századi gyártástechnológia területén, a gyártók egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek, a különféle gyártásból és használatból eredő emissziós értékek csökkentésére [16].

A járműiparban, elsősorban a gépjárművek, a repülőgépek és a vasúti járműszerelvények piacán, a leghatásosabb módszer az emissziós értékek csökkentésére a súlycsökkentés.

A gyártók a súlycsökkentést, a különböző karosszéria elemek alumíniumból vagy alumínium ötvözetből való legyártásával igyekeznek elérni, mivel, a modern nagyszilárdságú alumíniumötvözetek mechanikai tulajdonságaikban közel azonosak, a hagyományos szerkezeti acélokkal, azonban ugyanazt a szilárdságot harmad akkor súllyal képesek elérni. A járműgyártás során felhasznált alumínium mennyiségének folyamatos növekedését követhetjük nyomon tonnában, 1970 és 2020 között (1.ábra).



1. ábra. Az alumínium felhasználás alakulása 10 éves ciklusokban

A kavaró dörzshegesztés olyan eljárás, amelyet úgy terveztek, hogy a mechanikai energiát a munkadarabok közötti relatív mozgást felhasználva, elektromos energia vagy más külső forrásból származó hő felhasználása nélkül alakítja át a hegesztéshez szükséges hővé. Ezek a tényezők, a gyártási költségeket és emissziós értkékeket is tovább csökkentik, ezért ez a technológia egyre szélesebb körben alkalmazott, a különféle járműgyártások során. Ezért döntöttünk úgy, hogy a kutatás témájaként, a kavaró dörzshegesztési eljárás különböző paramétereinek változtatásával, valamint egyedileg tervezett és gyártott szerszámokkal létrehozott hegesztési varratokat vizsgálunk meg, így optimalizálva az eljárást.

2. Különféle dörzshegesztési eljárások

2.1. A dörzshegesztés ismertetése

A dörzshegesztés alapja a súrlódásból keletkező hő felhasználása. Az eljárás, két tetszőleges munkadarab között súrlódás hatására hőt termel. A keletkező hő meglágyítja a munkadarabok érintkezési felületét. Ezzel egy időben a két munkadarabot egymásnak szorítjuk, így létrejöhet a kötés.

Fontos szempont, hogy dörzshegesztéssel készült varratoknál hozaganyag nélküli hegesztés történik.

Kavaró dörzshegesztési eljárás alkalmazásával jelentős mennyiségű sorja keletkezik, ezért az elkészült alkatrészek minden esetben utómegmunkálásra szorulnak. A jó kötés feltétele a szimmetrikus alakváltozás, amit a szimmetrikus sorja is jelez. Ezért az itt keletkező sorja nem csupán melléktermék, hanem a szemrevételezésnél segítő szerepe van a kész kötés hibásságának meghatározásában [2] [3].

2.2. Állandó hajtású dörzshegesztési eljárások

2.2.1. Rezgő dörzshegesztés

A legtöbb esetben négyzetes kialakítású profilokhoz alkalmazzák. Az eljárás során a két munkadarabot az illesztési felületüknél egymáshoz nyomjuk. Ezután folyamatos ellentétes irányú rezgetés hatására, létrejön a hegesztéshez szükséges hőmennyiség [1] [4] [5].

2.2.2. Forgó gyűrűs dörzshegesztés

Ez a rotációs hegesztési eljárás, az egyik legszélesebb körben alkalmazott dörzshegesztési módszer. Azon munkadarabok egyesítésére alkalmas, amelyek forgásszimmetrikusak. Egyaránt használatos tömör, valamint üreges hengeralakzatok összeillesztésére, valamint sokszög alakú forgásszimmetrikus darabok egyesítéséhez is alkalmazható [1] [5].

2.2.3. Felrakó dörzshegesztés

Felrakó dörzshegesztésről akkor beszélhetünk, amikor az eljárás során a munkadarab sík vagy akár hengeres felületére, vékony bevonatot viszünk fel, egy ehhez használatos célszerszám által. Az egyéb dörzshegesztési eljárásokhoz képest, ez a technológia kevésbé ismert [1] [5].

2.2.4. Orbitális dörzshegesztés

Az orbitális hegesztő eljárás, a rezgő dörzshegesztéshez hasonlítható. Ezt a módszert főként profilok illesztéséhez fejlesztették ki. A forgásszimmetrikusság nem feltétel, viszont a munkadaraboknak egy tengelyvonalban kell mozogniuk, így a lengő mozgás során nem probléma az összetettebb geometriájú alapanyagok megmunkálása. Ezért ez az eljárás szélesebb körben alkalmazható [1] [5].

2.2.5. Forgó mozgású dörzshegesztés

Forgómozgású dörzshegesztés alatt, a két munkadarab közül a hegesztés során az egyik forgó mozgást végez, míg a másik álló helyzetben van. A hegesztett kötés az érintkező felületek közötti súrlódás hatására jön létre. Az eljárás legnagyobb az előnye, hogy képesek vagyunk nem forgásszimmetrikus munkadarabok egymáshoz csatlakoztatására, bár a szerszámszükséglet költsége növekedhet, a bonyolultabb befogókészüléket igénylő alakzatok miatt. [1] [6].

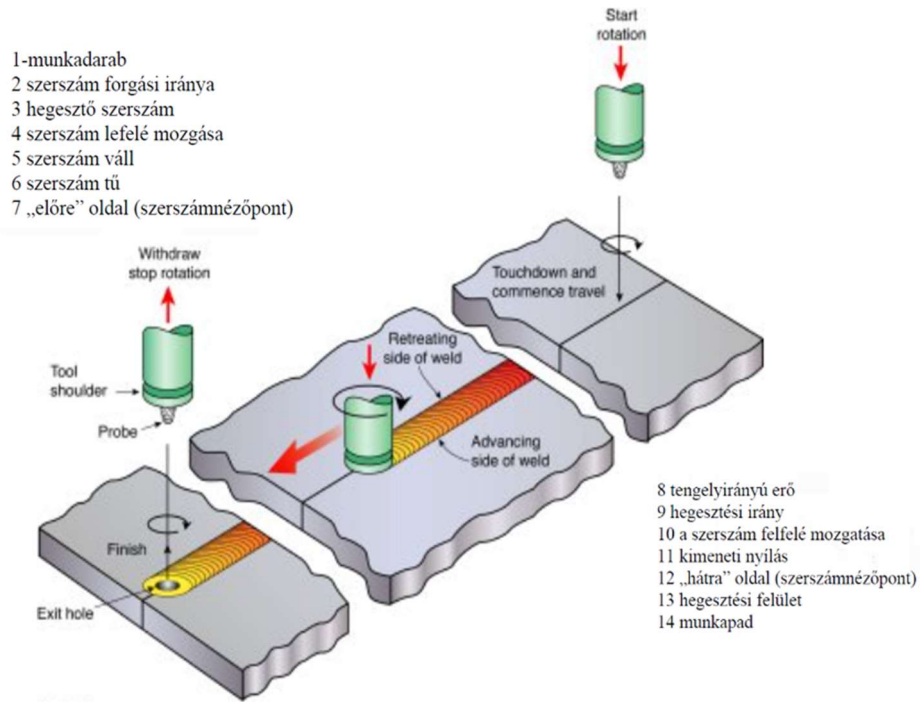
2.2.6. Kavaró dörzshegesztés

A kavaró dörzshegesztés egy olyan eljárás, amely során egy dörzshegesztő célszerszám segítségével egyesíteni tudunk két éleiknél összeillesztett munkadarabot.

A folyamat során, a két lefogatott munkadarab közötti résen vezetjük keresztül a szerszámot, ami felmelegíti, ezáltal meglágyítja a munkadarabjainkat és lineáris mozgással előre haladva, a keletkező olvadék kavarásával és zömítésével egyesíti őket.

Fontos alapfeltétel, hogy a megmunkáló szerszám anyagának keményebbnek kell lennie az egyesítendő alkatrészekénél, ellenkező esetben a szerszám megsérülhet, illetve a hegesztett kötés deformálódhat.

A kavaró dörzshegesztési eljárás elvi vázlatát a 2. ábra mutatja be [1] [7] [8].



2. ábra. Kavaró dörzshegesztés menete

3. Kavaró dörzshegesztés szerszámai

Az eljáráshoz használt szerszámok nagy behatással bírnak a megfelelő varratminőség elérésében. Mivel ezek a célszerszámok felelősek az optimális hő létrehozásáért, valamint a megfelelő hőmérséklet hatására meglágyuló alapanyag egységes elkeveredéséért. Az ilyen hegesztéshez használt szerszámok készülhetnek gyorsacélból vagy valamilyen keményfémből is.

A szerszámalapanyag választás fő szempontja mindig az, hogy a szerszám keményebb anyagból készüljön, mint a megmunkálni kívánt munkadarab. A szerszámok készülhetnek egy anyagból, de találunk olyan helyzeteket, ahol a váll és a tű különböző anyagból készül. Az utóbbi kivitel gazdaságosabb, hiszen a tű cseréjével meghosszabbítható a szerszámkészülék élettartama. [9].

3.1 Szerszámfelépítés

A kavaró dörzshegesztéshez használt célszerszámok három fő részből állnak. Ezek a szerszámtest, a váll, valamint a tű. Ezekből a fő egységekből áll össze a hegesztéshez használatos szerszám. Mindegyik résznek különféle típusai vannak, ezáltál igen széles körben változtathatóak a szerszám kialakítások, amivel a

kötésminőséget, szerszámélettartamot és a költséget is a megmunkálandó alapanyag figyelembevételével együtt lehet optimalizálni [8].

3.2.1. Szerszámváll kialakítások

A szerszámváll kidolgozására igen nagy hangsúlyt kell fektetni, mivel a hegesztés során a legnagyobb súrlódás a váll és a megmunkálandó anyag között lép fel. Ennek következtében a hegesztés során termelődő hő nagy része itt alakul ki, így fontos a megfelelő alapanyag kiválasztása.

A szerszámváll feladata az anyagáramlás segítése, továbbá az áramló meglágyult anyag visszanyomása a kavaró folyamatba, ezért a váll érintkező felületének kialakítása pontos tervezést igényel.

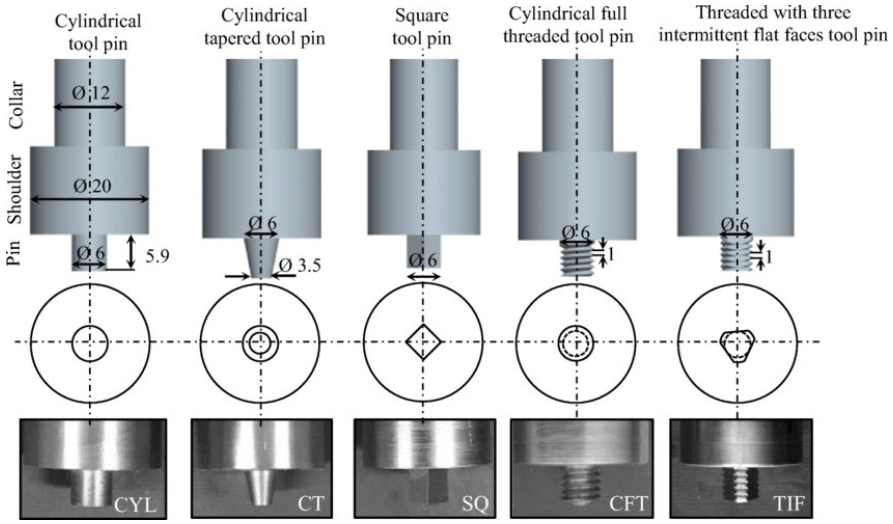
A váll átmérője, a hegesztési varrat szélességét is befolyásolja. Az ideális átmérő függ a hegeszteni kívánt anyag típusától és vastagságától, illetve a hegesztési paraméterektől. Azonban a paraméterek minimális és maximális értékei nagymértékben függhetnek a szerszámváll homlokfelületének geometriájától.

Olyan geometria által, ahol a váll munkadarabbal érintkező felülete bevágásokkal van ellátva, nagyobb hőfejlődést érhetünk el, kevesebb nyomóerő kifejtésével, ezáltal bizonyos vállkialakítások révén a jobb anyagáramlás elérése mellett, az erőbevitelt, így a bevitt energiákat is csökkentjük. [9]

3. ábra. Szerszámváll geometriák

3.2.1. Szerszámváll kialakítások

A tűgeometriák kiemelkedő szerepet játszanak a hegesztési kötés minőségének kialakításában. Ezek a geometriák nagyban meghatározzák a meglágyult anyag áramlásának minőségét. Annak érdekében, hogy a legoptimálisabb kötés jöhessen létre különböző bonyolultságú és kialakítású eszközök közül tudunk választani annak függvényében, hogy milyen a munkadarabunk alapanyaga.



4. ábra. Szerszámtű kialakítások

4. Hegesztési varrat kialakítása

Ahhoz, hogy két munkadarabot egyesíteni tudjunk, szükségünk van a szerszámgép megfelelő beállítására, a használatos szerszám ismeretének függvényében. A kavaró dörzshegesztő gépet számos paraméter szerint állíthatjuk a szerszámmal együtt. Főbb beállítandó tulajdonságok a dörzshegesztőgépen az előtoló-sebesség, fordulatszám, a befogott szerszám dőlésszöge, a nyomóerő és a fogásmélység [10, 11, 12].

4.1 Előtoló-sebesség és fordulatszám hatása a varratra

Az előtoló-sebesség és a fordulatszám igen meghatározó paraméter a hőfejlődés és az anyagáramlás befolyásolásában.

Többnyire igaz, hogy a bevitt hőmennyiséget tudjuk szabályozni mindkét irányban: amennyiben az előtoló-sebességet csökkentjük és ezzel párhuzamosan növeljük a fordulatszámot azzal az anyagáramlást felgyorsítjuk így növeljük a munkadarabok hőmérsékletét; ha pedig ennek ellenkezőjét végezzük, akkor csökkenthetjük a hőbevitelt.

Fontos megjegyezni, hogy a nagyobb hőbevitel nem feltétlen vezet jobb varratminőséghez, pedig elméletben a hőmérséklet növelése jobb anyagáramlást eredményez. Viszont elérve a munkadarabok olvadáspontját, könnyen anyagtulajdonság romlást idézhetünk elő [10] [13].

4.2 Szerszám dőlésszög által gyakorolt hatás a hegesztés minőségére

A szerszám dőlésszögének változtatása alatt azt értjük, hogy a befogott szerszámkészülék a munkadarabhoz viszonyított merőlegestől mennyiben tér el. Ezen szög jellemzően néhány fokos (1°-3°) kitérés a függőleges tengelytől, ami az előbb említett merőleges hatásvonal lenne [13].

Ezen érték változtatása a megadott határon belül igen fontos, hiszen, ha túlságosan eltérünk a merőlegestől, akkor nagyobb hibát viszünk bele a varratba, mint amilyen egy függőleges pozícióból eredne viszont, ha túl kis mértékben döntjük meg hasonlóan fennál a varrat minőségének túlzott mértékű károsítása. [14]

5. Dörzshegesztéshez alkalmas szerszám tervezése

A dörzshegesztés során használatos készülék három fő elemből áll, melyek a befogószerszám, váll és a tű. Ezen elemek közül a legnagyobb hangsúlyt a váll és befogó szerszámra fektettem, mivel ezen alkotórészek hatékonyabbá tételével, úgy gondolom, hogy jelentős költségcsökkentést érhetek el.

A tű geometriájának változtatására is látok néhány opciót, amelyekkel megfelelő esetekben a hegesztés minőségét javíthatom, azonban ahhoz, hogy a tű geometriáján változtassak különleges megmunkálógépekre és egy megvalósult szerszámkoncepcióra van szükségünk. Elsődleges cél, hogy egy működő, 3 egységből álló hegesztéshez alkalmas szerszámot hozzunk létre, amelyben könnyen cserélhetőek a különböző komponensek, így a kopás okozta folytonos felesleges szerszámcserét megelőzzük. Sok esetben a tű és a váll egy anyagból van kimunkálva, mivel a két feladatot ellátó szerszám nem egyenlő mértékben kopik, a tű elhasználódásával adott esetben egy még tökéletesen használható vállrész is leselejtezésre kerül. Így tehát nincs kihasználva egy szerszámban lévő potenciál az üzemórákat tekintve, ami gazdasági szempontból jelentős hátrányt jelent.

5.1 Befogó egység

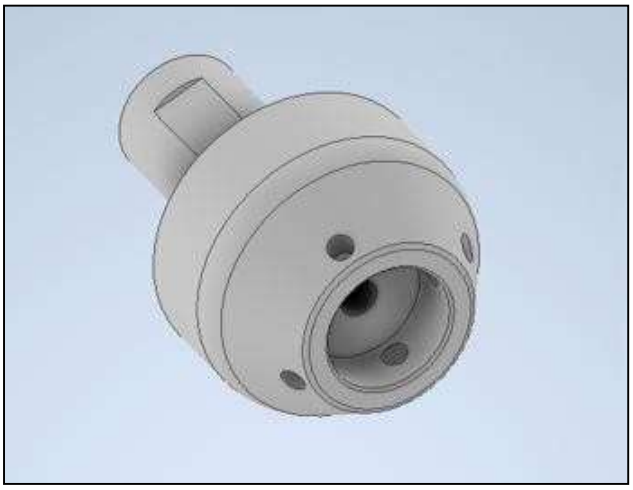
Ezen alkotó elem kapcsán figyelembe kellett venni, hogy több szerszámgép is be tudja azt fogadni, tehát ne legyen specifikus. Ehhez egy általános marógépen használatos befogó patront vettünk alapul. A befogószerszám feladata, hogy megtartsa és átadja a főorsó forgási sebességét a vállnak, valamint a tűnek. Azonban, hogy átadja a megfelelő fordulatszámot, olyan vállperselyt kell kialakítani, ami az ébredő erők hatására is képes az előre beállított pozícióban tartani a vállrészt a készülékben.

Továbbá a tervezés során fontos szerepet játszott az egyszerű és átlátható kialakítás. Szempont volt, hogy ne lenegyen olyan él rajta, amely a technikusra nézve balesetveszélyes így a szerszám biztonságosabban szerelhető. Annak

érdekében, hogy az előzőleg említett biztonsági foknak a szerszám eleget tegyen, lekerekítésekkel és letörésekkel tűzdelve terveztük meg a befogószerszámot.

Mindezek mellett a gyártás egyszerűségére is törekedtünk, mivel fő cél volt, hogy ennek a szerszámnak a költségét minimalizáljuk, így több opció is szóba jöhet. Az alapanyag, amit optimálisnak tartok ezen elem legyártásához az a húzott köracél.

A készülék a hegesztés során felhevül, azonban közel sem arra a hőfokra, amelyre a váll és a tű. A folyamat végén ugyan magas hőmérséklettel rendelkezik majd, tehát azonnal szabad kézzel nem fogható meg, de az elkészült munkadarab kivétel után a befogó szerszám hőmérséklete mérséklődik, így már kézzel is hozzáférhetővé válik. Közvetlenül a hegesztés után nem lehet a szerszámbefogóhoz tartozó váll és tű részt változtatni, minden bizonnyal meg kell várni, míg visszahűlnek az alkatrészek.



5. ábra. Megtervezett befogószerszám

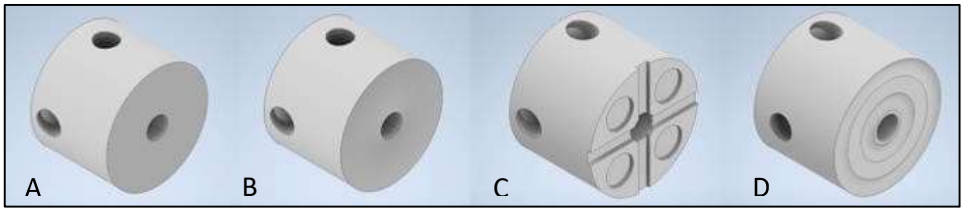
5.2 Szerszámváll kialakítások

A tervezett váll-kialakításokat a tervek szerint, a befogószerszám fogadórészébe kell süllyeszteni a stabilitás végett, továbbá több oldalról a befogadószerszámnál említett hernyócsavarokkal megsegítve pozícionálni kell.

A szakirodalmi áttekintés rávilágított arra a fontos tényre, hogy minél több a dolgozó élek száma, annál hatékonyabbak lehetünk a hegesztés során. Azonban ezt nem lehet a végletekig kisarkítani, ugyanis a túlságosan bonyolult homlokfelületek jelentősen növelnék a gyártási költségeket. Jelen esetben, a tervezett vállak homlokfelületének területe mindössze 301,6 mm2. Ebből a területből kell a megfelelő mennyiséget kimunkálnom, és a legjobb hegesztési

kötést elérnem oly módon, hogy közben a gyártás továbbra is gazdaságos maradjon.

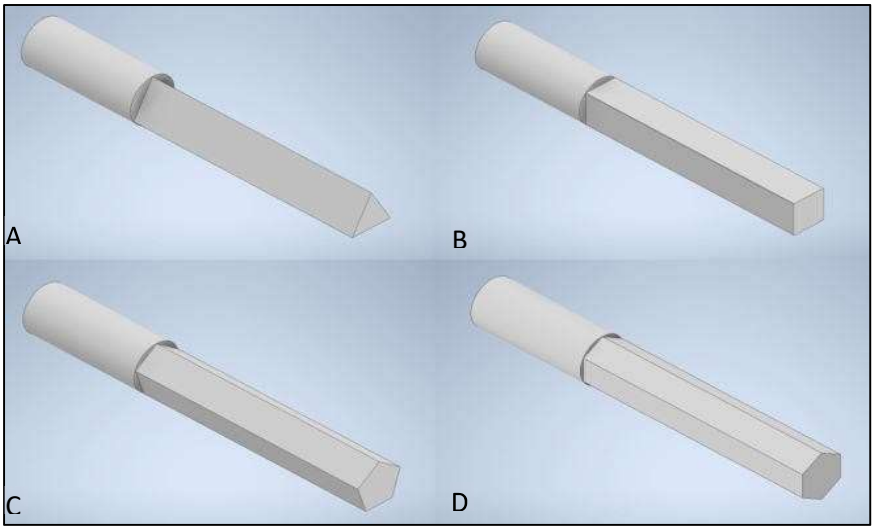
A 5.2-as ábrán láthatóak azok a geometriák, melyek a költséghatékony, de mégis megfelelő kötésminőséget képesek eredményezni, egyelőre csak elméleti síkon. A látható négy illusztráció közül az A jelzésű már létező és használatos vállkialakítás, ugyanis az iparban leginkább sima homlokfelületű vállakat alkalmaznak, azonban fontos számunkra a referenciaeredmények előállításában.



6. ábra. Tervezett vállkialakítások

5.3 Tűgeometria tervezés

A tű kialakítása nagy szerepet játszik az olvadt alapanyag megfelelő kavarodásában. A tervezés során előtrébe helyeztük azon formával rendelkező kialakításokat, amelyek valamilyen sokszög alakzatot vesznek fel. Ennek oka, hogy pulzáló hatást keltenek, ami előnyös lesz a hegesztési varrat kialakításánál. Azonban, hogy a költségeket minimalizálni tudjuk, úgy vélem, nem érdemes a 7. ábrán láthatónál bonyolultabb tűgeometria megalkotása, mivel ezek a sokszögalakzatok megfelelő tulajdonsággal bírnak, egy bonyolultabb kialakítás csak a költségeket növelné. Így ennek hatására az alap tűalakok segítséget nyújtanak számomra a megfelelő váll és befogószerszám meglelésében esetleges következtetésre. Az általunk használni kívánt sokszögminták a 3-4-5 és 6 szög alakok. Ezen kialakítások a 7. ábrán láthatóak.



7. ábra. Tervezett tűgeometriák

6. A hegesztésre alkalmas szerszámok legyártása

Elsőként a befogószerszámot gyártottam le az elkészült műhelyrajz alapján. A szerszám fizikai megvalósításához az egyetemi anyagraktárban található fémalapanyagok közül választottam nyersanyagot. Ez az alapanyag egy hengeres köracél volt, amelynek átmérője 50 mm és hossza 600 mm. A gyártás CNC gépen történt esztergálás majd marás révén. A gyártási folyamatot a 8. ábra szemlélteti.

8. ábra. Befogószerszám gyártási folyamata

6.1 Szerszámváll gyártása

A gyártás második fázisában a vállgeometriák kimunkálását végeztem el. Ezen alakzatokat egyetemes eszterga és marógépeken gyártottam le, nem pedig CNC-szerszámgépeken.

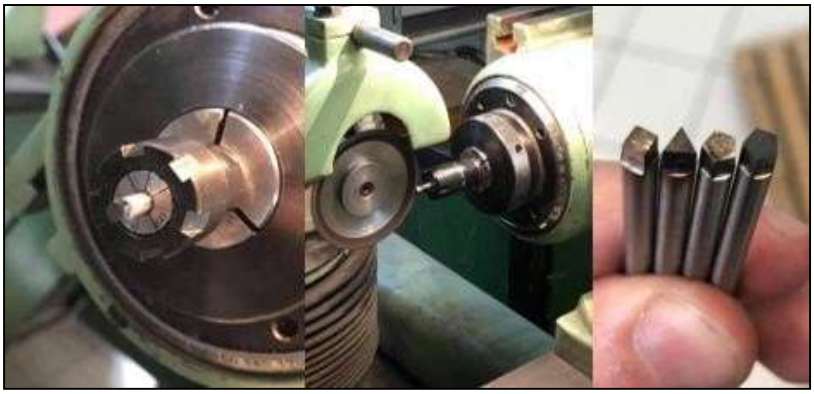
A legyártott vállak között szerepel a hagyományos sík homlokfelülettel rendelkező, továbbá a homorú, a dupla rádiusszal ellátott és az innovatív, horonnyal és mart körkeresztmetszettel ellátott váll. A hagyományos síkfelülettel bíró geometria azért fontos, hogy referencia felületmegmunkálásként összehasonlítási alapot nyújtson számomra. A megvalósított szerszámvállakat, már tűkkel felszerelve a 9. ábrán láthatjuk.

9. ábra. Legyártott váll geometriák

6.1 Tűgeometriák készítése köszörűgép segítségével

Végső lépésben a tűszerszámok kimunkálását hajtottam végre. Az említett szerszámokat 4 mm átmérőjű 0.8% Co-val erősített HSS köracélból a Tos-102-es megnevezésű szerszámköszörű gépen készítettem el. Ilyen alapanyagra a tűk megfelelő keménysége miatt volt szükségem.

A köszörűkorong segítségével a műhelyrajzok alapján elkészítettem a lelapolásokat a munkadarabokon. A köszörülés menetéről és a tűkről készült képek a 10. ábrán láthatóak.



10. ábra. Szerszámtű gyártási folyamata

7. Hegesztési folyamat

A dörzshegesztési kísérletek elvégzéséhez számos eszközre és anyagra volt szükségem. A próbahegesztés célja, annak megállapítása, hogy a legyártott szerszámok munkavégző képességét leellenőrizzem, valamint a megfelelő hegesztési paramétereket megtaláljam.

A kavaró dörzshegesztést a Neumann János Egyetem GAMF Karának Innovatív Járművek és Anyagok Tanszékén végeztem. Az első próbahegesztésnél 1000 fordulat/perc értékű főorsó fordulatszám mellett, 115mm/perc értékű előtolási sebességet alkalmaztam.

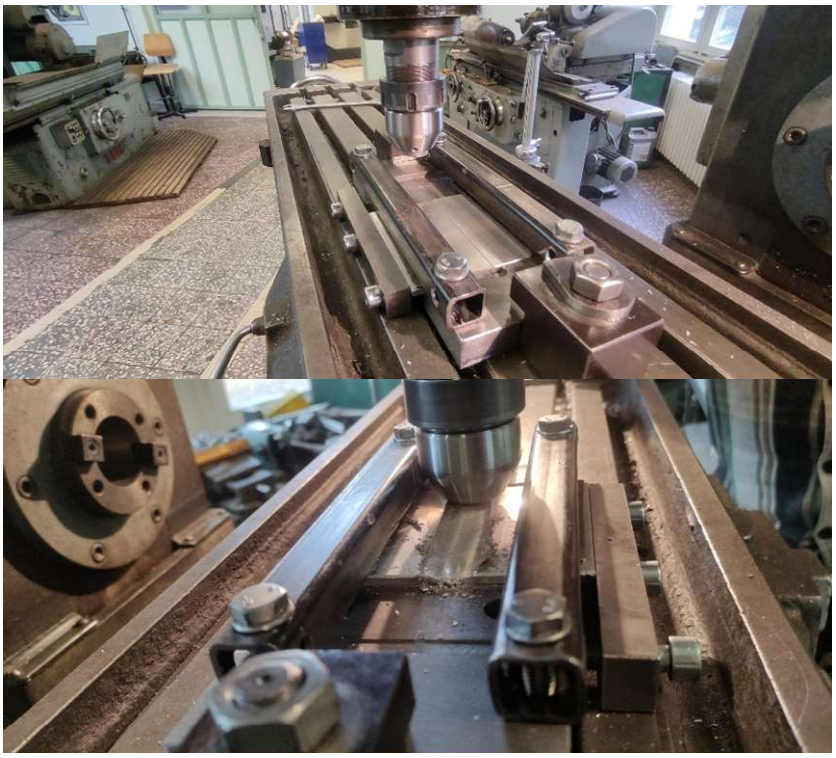
A kísérletek lebonyolításához AL6060 jelölésű AlMgSI alapanyagot használtam. Azért ezt az alapanyagot választottam, mert tulajdonságát tekintve könnyen alakítható, jó korrózió állósággal rendelkezik, továbbá felülete jól festhető és lakkozható, valamint ipari alkalmazásban rendkívül elterjedt.

A gépi előtolás értékét a próbahegesztés eredményének megfelelően 115mm/perc értékűre állítottam, továbbá a szerszám Z-tengelyét 1.5-fokkal bedöntöttem a jobb hegesztés elérésének érdekében. A megfelelő paraméterek beállítása után a gépágyon lévő próbatest felfogató egységbe a méretre vágott próbatesteket behelyeztem. Ezen munkadarabokat előzetesen méretre szabtam, majd a vágás következtében kialakuló sorjás éleket köszörüléssel eltávolítottam. Miután a gép beállítása és a munkadarabok lerögzítése is sikeresen megtörtént, a hegesztés előtt már csak az előzetesen legyártott szerszámok összeszerelése, a tű túlnyúlásának beállítása és szerszámkészülék befogópatronba való behelyezésére volt szükség.

A hegesztéshez használatos szerszámot összeszereltem oly módon, hogy először a befogókészülékbe helyeztem a vállat, majd a hernyócsavarokkal rögzítettem azt, hogy ne tudjon elfordulni. Majd ezt követően a tűt, úgy helyeztem bele a

szerszámkészülékbe, hogy a hegesztésben részvevő vállfelülettől 3,3 mm-re lógjon ki, a pontos értékre állítás után lerögzítettem a szerelőnyíláson keresztül.

A hegesztőszerszám patronba helyezése előtt minden rögzítési pontot újra ellenőriztem, és kellően a hernyócsavarokat meghúztam. Így ezek után a marógép tokmányába helyeztem a készülékem.



11. ábra. Hegesztési folyamat

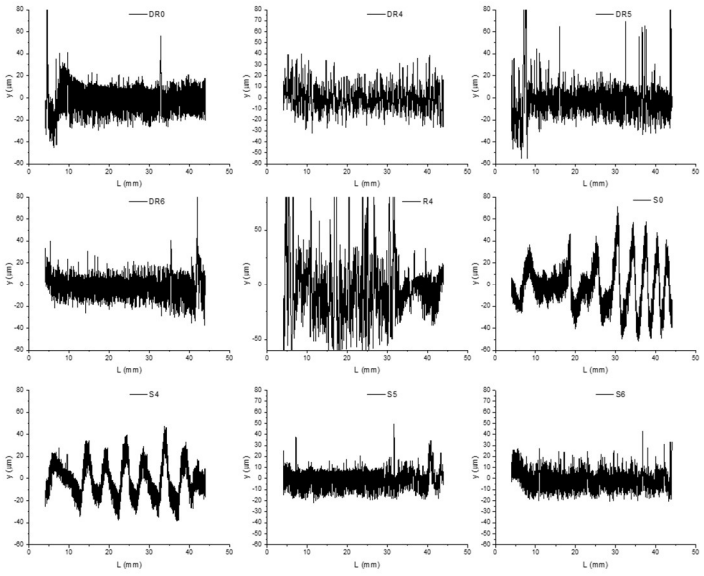
A további próbatestek hegesztésének menete megegyezik az előzőekben részletesen kifejtett munkamenettel. A hegesztések elvégzése között szüneteket kellett tartanom, ugyanis a felhevült szerszámon a tűk és vállak cseréje nem volt lehetséges. A hegesztési kísérlet során 12 próbát hajtottam végre. Annak érdekében, hogy az összes legyártott vállal és tűvel tudjak valamilyen kötési eredményt vizsgálni.

8. A kísérletek által létrehozott kötések vizsgálata

8.1 Érdességmérési vizsgálatok

Az elvégzett hegesztési kísérletek után annak érdekében, hogy a későbbiekben melegbeágyazással mikroszkopikus vizsgálat alá vegyem az arra érdemes darabokat, megfelelő méretűre kellett szabnom az összeillesztett munkadarabokat. A varrat szélességem 20-22 mm, azonban a két munkadarab befoglaló szélessége meghaladja a 90 mm volt. A melegbeágyazó gép számára a maximum szélességű próbatest 37 mm lehet, így a varrat szélétől 5-5 mm távolságban levágtam a felesleges anyagot.

Az így kialakított keskeny varratokon érdességmérési vizsgálatokat hajtottam végre, amelyek csupán kilenc esetben vezettek valós eredményre. Az érdességmérő gép három próbatest estében nem tudott megfelelő értékekkel szolgálni, ugyanis ezeknek a daraboknak az érdessége meghaladta a berendezés mérési tartományának maximális értékét.



12. ábra. Összesített érdességmérési eredmények

8.2 Metallográfiai vizsgálatok

Érdességmérés után a munkadarabokat metallográfiai vizsgálatoknak vetettem alá. Az ehhez szükséges maximum 37 mm széles, 4 mm vastag és 10 mm hosszú kimetszett darabokat a GAMF Anyagtechnológiai laboratóriumában precíziós korongos vágógép segítségével állítottam elő.

Ezt követően a darabokat előkészítettem a melegbeágyazáshoz. Ezen eljárás során a nyers próbatestet műanyag burkolatba ágyazzuk, ami megkönnyíti a későbbi munkafolyamatok elvégzését. Melegbeágyazással előkészítettem a csiszolható próbatesteket.

A vizsgálandó felületeket először P400-as, P600-as, P800-as, P1200-as, végül a polírozás előtt P2400-as csiszolólapon megmunkáltam, automata csiszolóberendezés segítségével. Csiszológép használatára azért volt szükség, hogy a csiszolatok minősége azonos legyen, ami kézi csiszolással nem, vagy csak nagyon nehezen lenne elérhető.

A mikroszkopikus vizsgálat előtt a próbatestek polírozott felületét meghatározott vegyülettel meg kell marni. A marószer kikeverését az egyetem kémia laboratóriumában végeztem el, vegyületkeverésben jártas szakember biztonsági felügyelete mellett. A királyvízzel történő maratás 7 másodpercig tartott, ezután a csiszolatot azonnal lemostam vízzel, majd metanollal, így az összes marószer és egyéb szennyeződés is eltávozott a felületről. A pontos marási idő betartása azért fontos, mert a nem eléggé vagy éppen túlmart felület nem ad megfelelő eredményt [15].

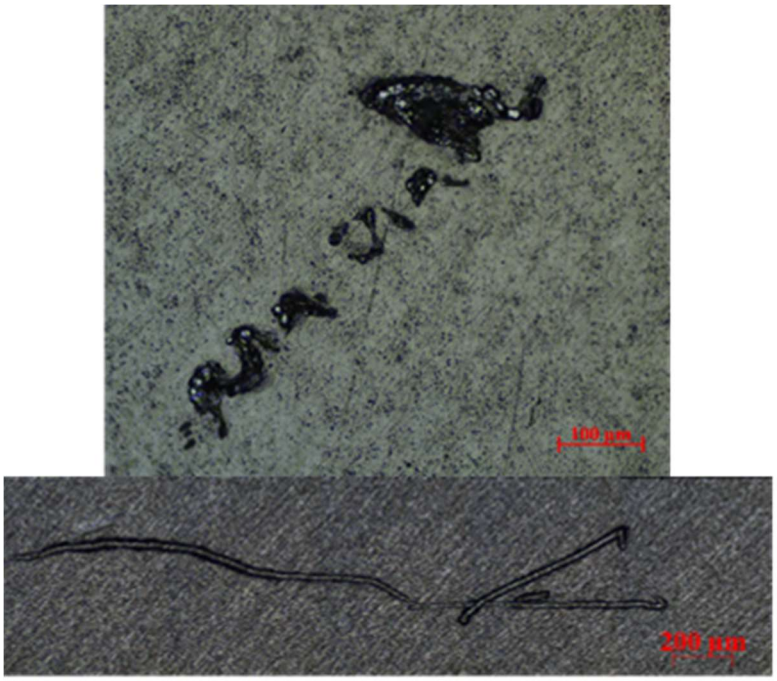
Végső lépésben Zeiss típusú mikroszkópon a vizsgálhatóvá vált a melegbeágyazott korongokat elemeztem, a felismert hibákról és varratmezőkről pedig fényképet készítettem.

13. ábra. Melegbeágyazó, csiszoló és mikroszkóp

A próbadarabok vizsgálata során számos zárvány- és alagúthibát véltem látni. Továbbá a varratkeresztmetszetet tovább vizsgálva egyes daraboknál törés volt

látható, amely nagyon gyenge kötésre utal. Ezen hibák többnyire a hatszög tű és dupla rádiusszal ellátott váll esetében alakultak ki.

Az öt és a hatszög tűvel készített hegesztéseim vizsgálata során több kisebb és néhány nagyobbnak mondható repedést fedeztem fel. Ezek a repedések a tű haladási irányával megegyező irányban alakultak ki, így a tű nem megfelelő kavaró hatására lehet következtetni.



14. ábra. Varrathibák mikroszkópi képe

IRODALOM

[1] „CNC Media,” 2016. [Online]. Available: https://www.cnc.hu/2016/09/dorzshegesztesi-technologiak-diohejban/.

[2] C. Meran and O. Canyurt, “Friction Stir Welding of austenitic stainless steels,”ResearchGate, pp. 432-439, 2010.

[3] M. Sonne, C. C. Tutum, H. J. Hattel, A. Simar and B. de Meester, “The effect of hardening laws and thermal softening on modeling residual stresses in FSW of aluminum alloy 2024-T3,” ScienceDirect, pp. 477-486, 2013.

[4] K. Faes, “Belgian Welding Institute npo,” [Online]. Available: https://bil-ibs.be/en/publicatie/friction-welding.
[5] Dr. Palotás B. „Digitális tankönyvtár,” [Online]. Available: https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0013_hegesztes_technologia_2/a_dorzshegesztes_tovabbi_valtozatai.html.
[6] L. Wenya and P. Vivek, “Solid State Welding for Fabricating Metallic Parts and Structures,” ScienceDirect, pp. 0-12, 2020.
[7] D. Milčić-J, B. Andjelković, B. Kramberger, M. Milčić, T. Vuherer and I. Radisavljević, “Mechanical behaviour of Al 2024 alloy welded by friction stir welding, IOP Conference Series Materials Science and Engineering 393(1):012107, 2018
[8] M. Chiumenti, M. Cervera, N. Dialami and C. Agelet de Saracibar , “Challenges in Thermo-mechanical Analysis of Friction Stir Welding Processes,” Springer Link, p. 189–225, 19 január 2016.
[9] W. Z. Chen and S. CUI, in Tool-workpiece interaction and shear layer flow during, AUT University, New Zealand, Department of Mechanical and Production Engineering, 2007, pp. 258-261.
[10] Kovács, Zsolt Ferenc; Hareancz, Ferenc: A kavaró dörzshegesztés alkalmazási lehetőségei alumínium kompozitok esetén, GRADUS 8:1, 2012. pp. 294-298.
[11] Kovács, Zsolt; Hareancz, Ferenc: Nem hegeszthető AA7075 és hegeszthető AA6082 alumínium ötvözetek hegesztése kavaró dörzshegesztéssel, GRADUS 6:1, 2019. pp. 110-116.
[12] Kovács, Zsolt; Hareancz, Ferenc: Joining of non-weldable AA7075 and weldable AA6082 aluminium alloy sheets by Friction Stir Welding, IOP Conf. Ser. Materials science and engineering, vol. 448, 2018. 012001
[13] „KUKA,” [Online]. Available: /www.kuka.com/hu-hu/termékek-szolgáltatások/eljárástechnológiák/kavaró-dörzshegesztés. [Hozzáférés dátuma: 10 03 2021].
[14] B. Carter, Writer, Introduction to Friction Stir Welding (FSW). [Performance]. NTRS - NASA Technical, 2013.
[15] Gábor, B., & Zoltán, W. (2018). Estimation of Strength Properties from Microhardness Results in Dual Phase Steels with Different Martensite Volume Fraction. PERIODICA POLYTECHNICA TRANSPORTATION ENGINEERING, 46(ONLINEFIRST), 1–7. http://doi.org/10.3311/PPtr.12113
[16] Hlinka, J., Berczeli, M., Buza, G., & Weltsch, Z. (2017). Wetting properties of Nd: YAG laser treated copper by SAC solders. SOLDERING & SURFACE MOUNT TECHNOLOGY, 29(2), 69–74. http://doi.org/10.1108/SSMT-01-2016-0003

Tool selection in case of drilling composite material

Sándor Roland [1]

[1] ***Department of Innovative Vehicles and Materials, GAMF Faculty of Engineering and Computer Science, John von Neumann University***

Summary

This article is presents the optimal cutting tool selection effective forms of research. The aim was to create a practical help that can chose an optimum tool for the process. This is of great importance especially for series production. The manufacturer's recommendations and based on the experience of technologists there is huge difference between the suitable tool and economy. During the research, we were looking for a method, which can be selected among the possible tools that is apply in the most economical and really fulfill the expectations of the quality of machining.

Keywords: tool selection, optimization

1. Introduction

During the research were tested two different edge geometry and material tool based on which is economical according to machining the glass fiber reinforcement composite material [1-4]. The first tool was a conventional HSS drill, while the other was a specially designed for processing composite solid carbide drill. Studied the bores of cylindrical, tool wear, powers during machining and the delamination of examined material. The input technological parameters are included in the following table.

Table 1. Input parameters

Input parameters									
			Materials	Technological parameters					
marking	Tool diameter	Tool price (Ft)	Tool material	Processed material	Cutting speed v_c (m/min)	Feed per tooth f_z (mm/teeth)	Feed per revelation f_n (mm/rev)	Feed rate v_f (mm/min)	speed n_s (1/rev)
1,1	6	1000	HSS	GFRP	40	0,025	0,05	107	2123
1,2					55	0,025	0,05	146	2918
1,3					60	0,025	0,05	160	3184
2,1	6,35	15000	Carbide		60	0,025	0,05	151	3008
2,2					100	0,025	0,05	251	5013
2,3					150	0,025	0,05	376	7520

2. Calculation table

The task was that based on the technological of date by test we can decide easily and quickly, which tool suit for the expectations. An excel table was created for this. The user must fill three fields in the order to be able to determine the optimum tool and technological parameters.

Number of the necessary holes		pieces		
Length of cut		mm		
Delamination		-		
Cylindricity		µm	v_c	f_z
Tool mark				
Lifetime of one tool		min		
Number of necessary tools		pieces		
Cost		Ft		

Figure 1. Calculation table interface

We can think about different ways when filling the first field of the table (number of required hole). You can type here that a work shift or even a year how many

bores you want to manufacture. The second field (bore length) need to the program is able to calculate how much time is needed to prepare a bore. The next two fields are required to give the delamination and cylindrical expectations. After filling out each of the four fields in the table we can see the results. The results contain the right tool, technical parametric, lifetime of a tool, the number of required tools and tool cost. If the tool bank do not contain the right tool you see an error message: "There is no solution ". Preparation of the calculation table the first step was to definite test results such as cylindricity, delamination, wear, power.

3. Cylindricity

It has been found that the value of cylindricity increase slightly from tool wear. We must consider that because of the structure of material changes the cylindricity value. For this reason we characterized the cylindricity function of time by constant. This constant is the highest cylindrical value that each drills (with given technological parameters) achieved. This is the value that the tool can ensure in life time with the specified parameters. Can see all of it in the following graphs.

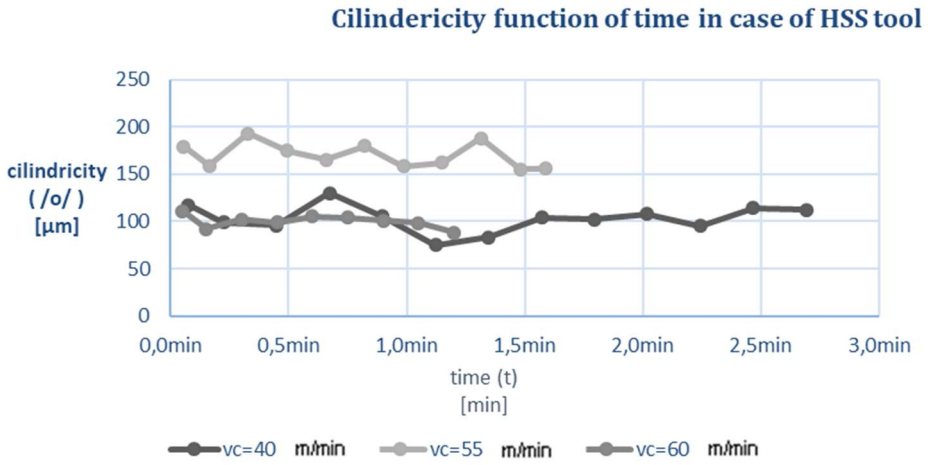


Figure 2. Cilindericity function of time in case of HSS tool

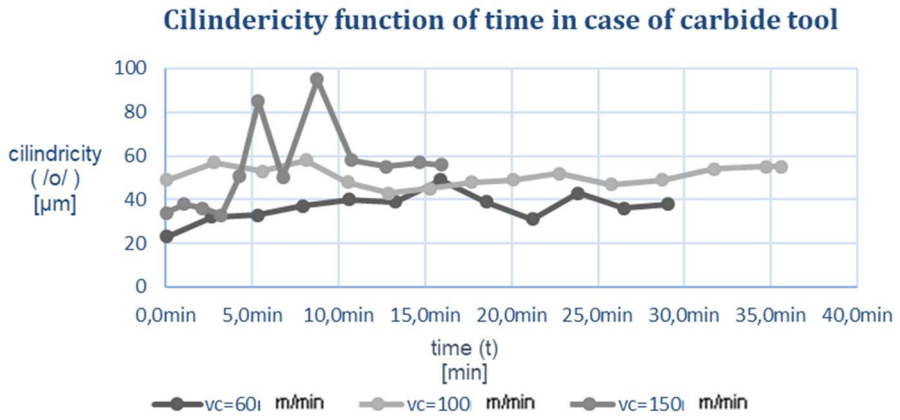


Figure 3. Cilindericity function of time in case of carbide tool

4. Delamination

The rate of delamination is strongly influenced by the structure of the material so that the measured value has a range scale. In this case we had more time could measure more. The changes of delamination value of bores by HSS and carbide can be approximated by third polynomial.

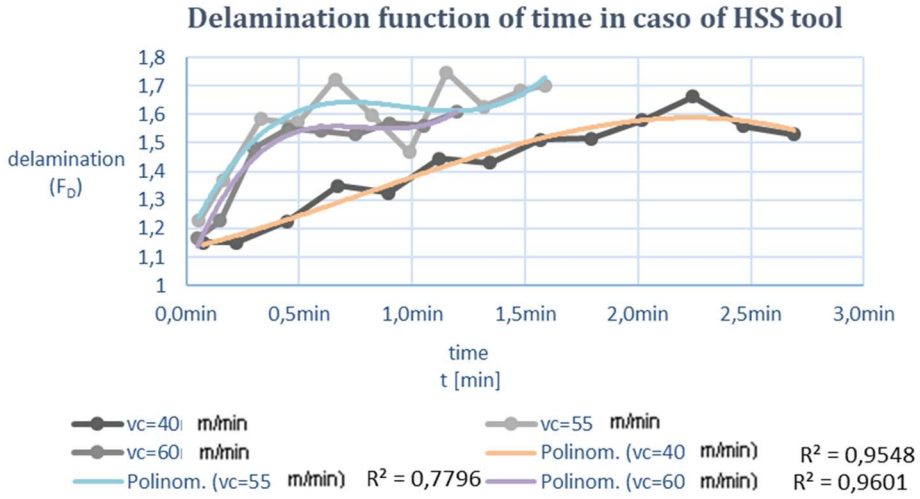


Figure 4. Delamination function of time in caso of HSS tool

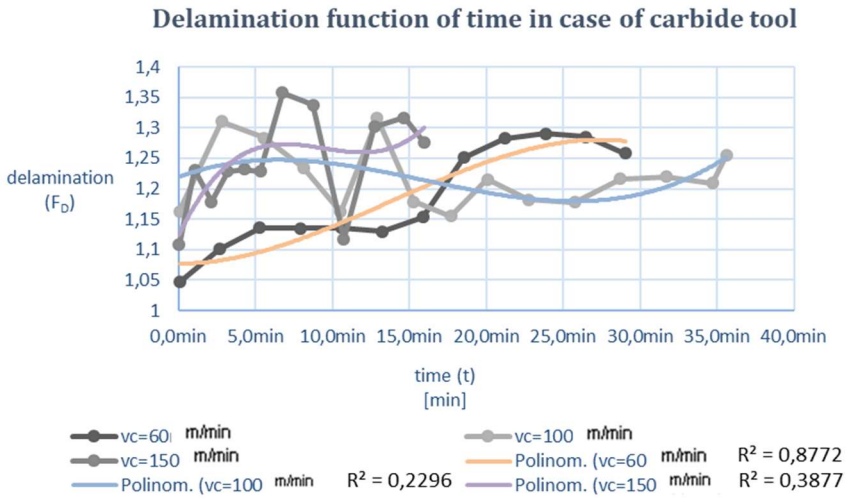


Figure 5. Delamination function of time in case of carbide tool

5. The operation of calculator table

As a first step, the program determines how long can be cutting in each case while not exceed value of the delamination. This solution done by a third equation as the delamination was approached with third polynomial. To can be the equation the calculator table should be reducate to zero it by our value of delamination.

In some case, the equations has three solution. The task is to select the first of these positive value. The problem is that the equations has also and in this case the equation-solving method just shows the real part of the result. To filter out it, solve the paste of reducate to zero of the result and each equation select the first positive solution which is true that the result of substitution is zero. In other cases the solution is not real and additional we can calculate with it.

After the table calculated that how long can drill until reach the acceptable delamination then calculate how many drill we need to prepare the specified number of bore by length of bore and feed rate, further more calculates the tool cost too. Then separates those tools which not able to provide this requirements.

The finale step to selects the base on the given tool price and the drillable number of bore to the cheapest tool among those that meet all required quality parameters.

REFERENCES

[1] Liska, J. & Kodacsy, J., 2012. Drilling of glass fibre reinforced plastic. ADVANCED MATERIALS RESEARCH, 472–475, pp.958–961.

[2] Líska, J., 2012a. Kompozitok forgácsolása. GAMF KÖZLEMÉNYEI, 25, pp.77–88.

[3] Líska, J., 2009. Present situation of machining composite materials in the company. In Proceedings of International Doctoral Seminar 2009. pp. 382–390.

[4] Líska, János; Kun, Krisztián; Kovács, Zsolt (2021): Attendants at MMC composite milling, Advances in Manufacturing Engineering and Materials II Springer International Publishing, Chapter 27, pp. 332-342.

Quality parameters of drilling composite material

Sándor Roland [1]

[1] ***Department of Innovative Vehicles and Materials, GAMF Faculty of Engineering and Computer Science, John von Neumann University***

Summary

The purpose of this research is the analysis of glass-fiber-reinforced composite (GFRP) materials of drilling with two different edge geometry and materials (high-speed steel and carbide) tool. During the research tested the tool wear (VB), awakening cutting feed force (Fz), the prepared holes form error (cylindrical of / o /) and the drilled delamination of material (FD). After all measurements were available we set up the usability of the tool features. This article aims to win clear picture about of the results that which tool used economically under different conditions.

Keywords: tool selection, optimization

1. Introduction

The optimized manufacturing is rarely done in practice. The companies engaged in production in many cases do not pay enough attention to the right tools and to determine the optimum technical parameters. In fact, finding the optimal technological parameters is a time-consuming and costly operations, but during serial or mass production, the invested money will be returned.

Today, composite materials are becoming more widely in industries such as aerospace and automotive industries. The industry sectors as these, where particularly importance the productivity and accuracy. However, the machining of composite materials is raising some problems. These problems include the delamination of material, which may worsen the mechanical properties of the manufactured parts, and quick abrasion of the tool, which has a negative impact on the quality of the prepared holes and the economical of production.

2. Material and tools

The machined material is a glass-fiber-reinforced composite (GFRP). In the test material fiberglass and resin ratio of 60% to 40%.[3] The choice of two drilling

tool is one of a standard high-speed steel drill and the other one is special solid carbide which designed for drilling composite materials [4].

It should be noted that the carbide drill fifteen times more expensive than the simple HSS so it is also important that you have to choose the right tool. In practice, both tools are used for machining of glass-fiber-reinforced composite materials, however, manufacturers' recommendations and on the basis of the literature it is so difficulty to choose the right tool that can be used economically and make good quality holes. The basic question was that when you have to buy the more expensive tool.

3. Technology parameters

It should be noted that the carbide drill fifteen times more expensive than the simple HSS so it is also important that you have to choose the right tool. In practice, both tools are used for machining of glass-fiber-reinforced composite materials, however, manufacturers' recommendations and on the basis of the literature it is so difficulty to choose the right tool that can be used economically and make good quality holes. The basic question was that when you have to buy the more expensive tool.

Before beginning cutting was determined to the technological parameters. The experimental design of this stage the main point was that the chosen parameters are suited for tool material and geometry. In this case this means that the HSS of 40 m/min and the carbide of 60 m/min the cutting speed. The other parameter contain the following table.

Table 1. Technology parameters

Input parameters									
Marking	*Tool diameter*	*Tool price (Ft)*	*materials*	*Technological parameters*					
			Tool material	*Processed material*	*Cutting speed* v_c *(m/min)*	*Feed per tooth* f_z *(mm/teeth)*	*Feed per revelation* f_n *(mm/rev)*	*Feed rate* v_f *(mm/min)*	*Speed* n_s *(1/rev)*
1,1	*6*	*1000*	*HSS*	*GFRP*	*40*	*0,025*	*0,05*	*107*	*2123*
1,2					*55*	*0,025*	*0,05*	*146*	*2918*
1,3					*60*	*0,025*	*0,05*	*160*	*3184*
2,1	*6,35*	*15000*	*Carbide*		*60*	*0,025*	*0,05*	*151*	*3008*
2,2					*100*	*0,025*	*0,05*	*251*	*5013*
2,3					*150*	*0,025*	*0,05*	*376*	*7520*

4. Measuring tool wear

When measure the main edge abrasion of the tool we should ensure that all measurement point will be the same place of main edge, because the amount of abrasion (in drills) from the cross edge to end of the main edge is growing, because there the maximum of cutting speed and therefore the cutting power. After the measurement we continued the machining.

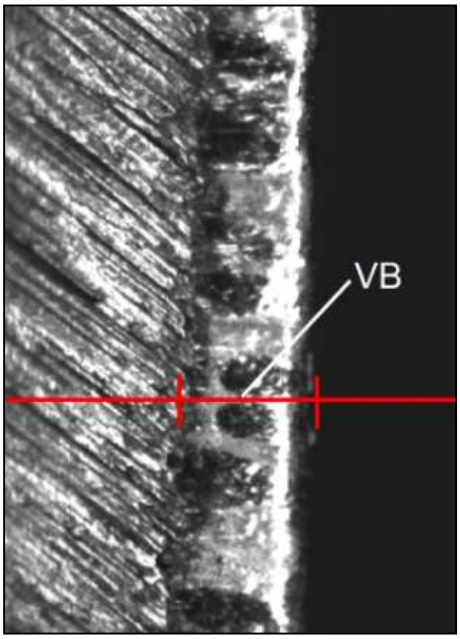


Figure 1. Tool wear measuring

In the case of HSS tools, the degree of allowed abrasion (VB allowed) of 0,2 mm, because this time the danger of breakage and high heat generated during cutting, which can damage the glass fiber reinforced composite material, so that the tool becomes unusable. In the case of carbide tools the VB allowed is 0,05 mm because we had to 35 minutes cutting time to reach it while to achieve the value of 0,2mm it was necessary for 2,6 minutes.

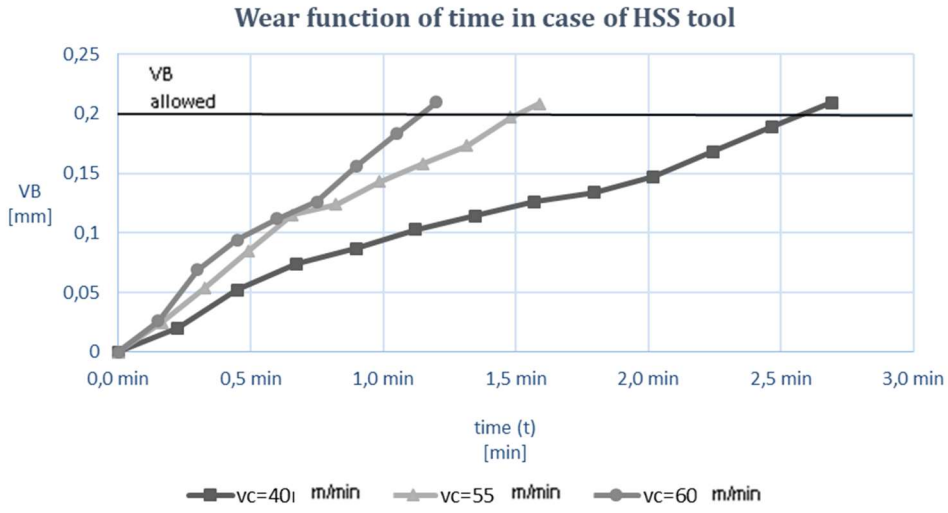


Figure 2. Wear function of time in case of HSS tool

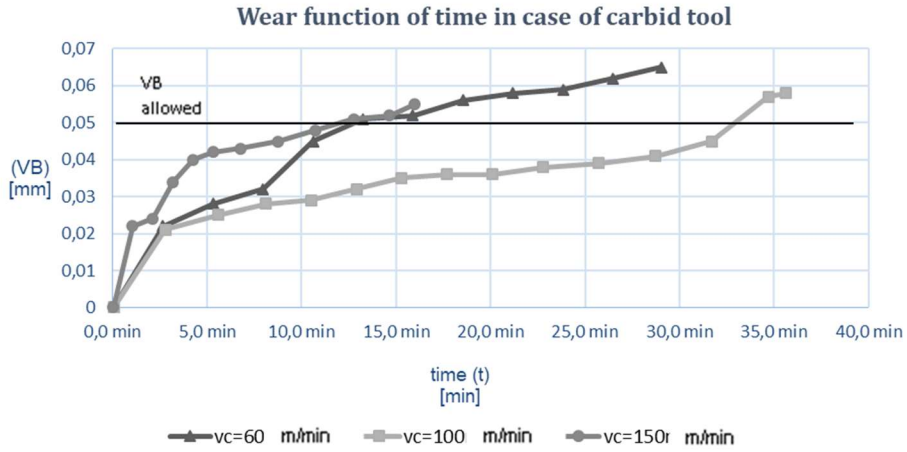


Figure 3. Wear function of time in case of carbid tool

5. (Fz) Force measurement

The extent of tool abrasion will clearly increase the feed force. Therefore, during machining of the machine tool spindle we installed a power and torque measuring equipment, which measured the feed force (Fz).

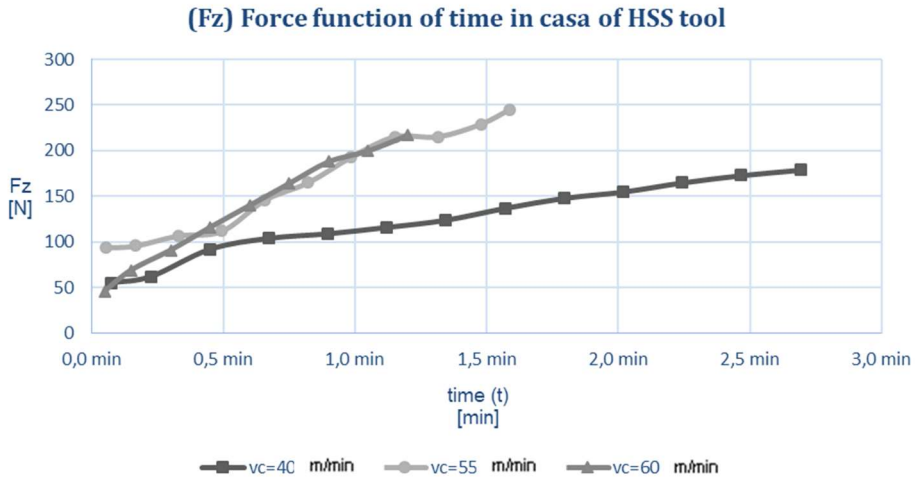


Figure 4. Force function of time in casa of HSS tool

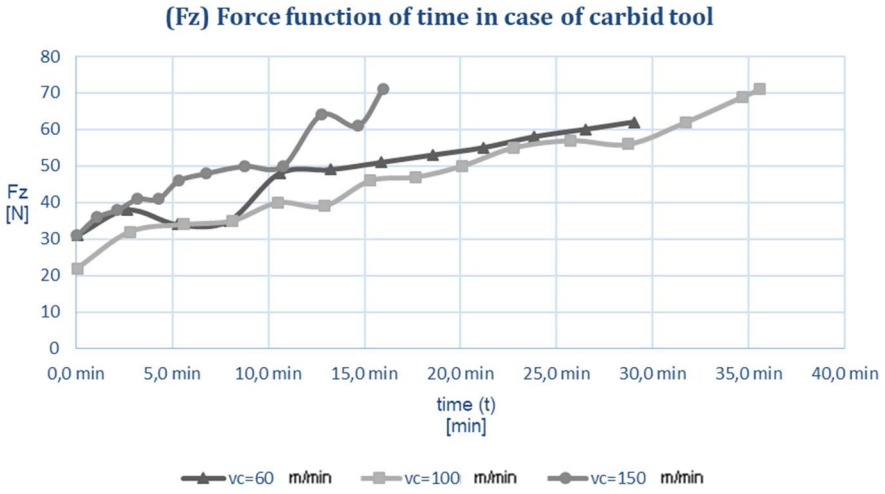


Figure 5. Force function of time in case of carbid tool

The forces of growth increases the temperature and tool abrasion which affects the cylinder of bores and delamination. The primary use of the cylindrical of bores is also important, so this is also examined.

On the circuit diagram by the shape error measurement can be seen that the output side of the bore (the upper part of the figure) was narrowing. The reason is that the drill of the last layers, not only cutting, but also form plastically. This narrow of bore not formed Most likely this phenomenon is only in the HSS tool because of the lower cutting speed and the angle of carbide drill has precision ground, reducing the front cover and the tip of the drill.

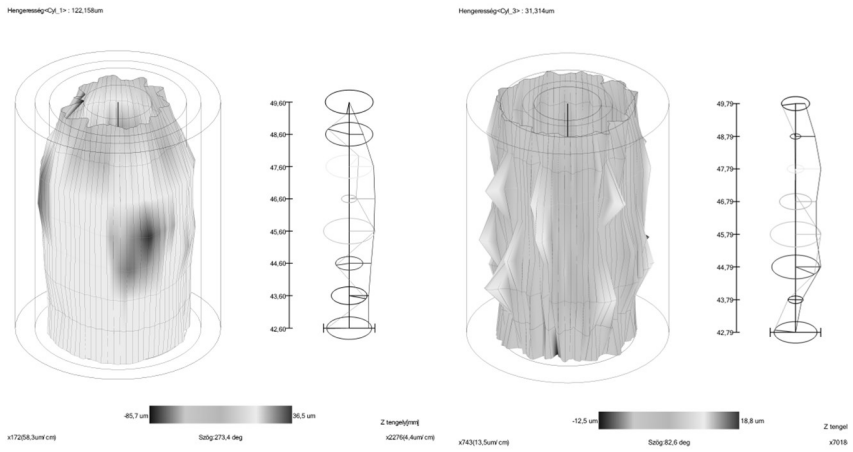


Figure 6. Shape error diagram examples

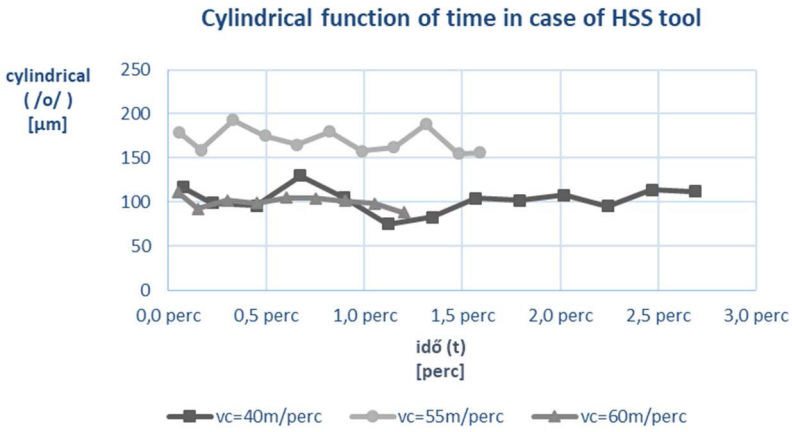


Figure 7. Cylindrical function of time in case of HSS tool

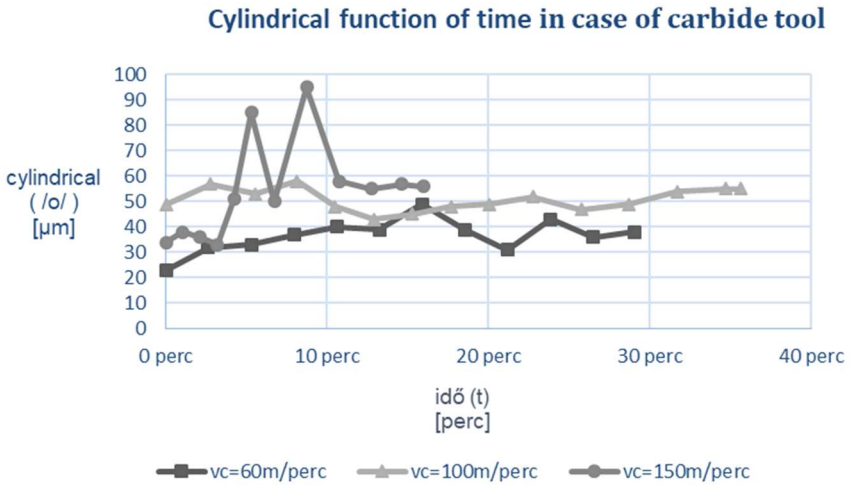


Figure 8. Cylindrical function of time in case of carbide tool

6. Delamination

The composite materials are rarely used without mechanical machining in practice. This is a risk that during cutting (especially drilling) is create delamination in the material. The delamination means that separated from each other the layers of the material. This phenomenon reduces the life-time of composite which is a big problem. In this case, we had use a digital image processing system to create a point cloud (A_delamination) in the damaged region.

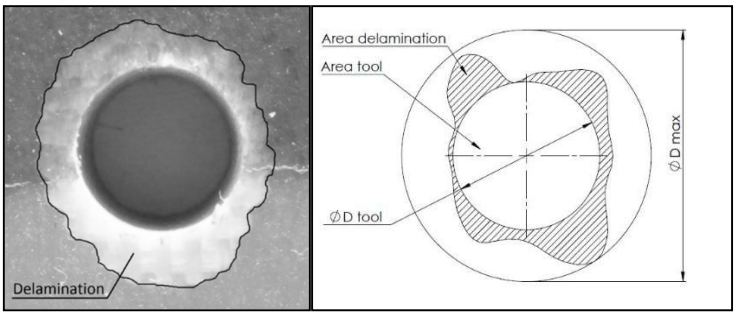


Figure 9. Delamination [1], [2],

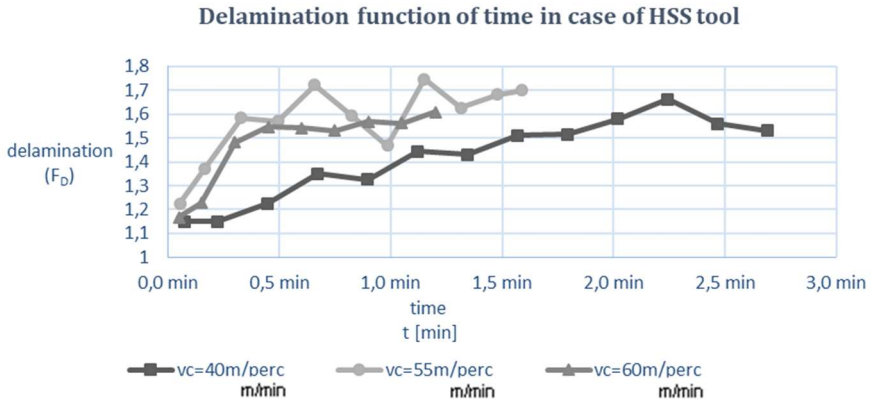


Figure 10. Delamination function of time in case of HSS tool

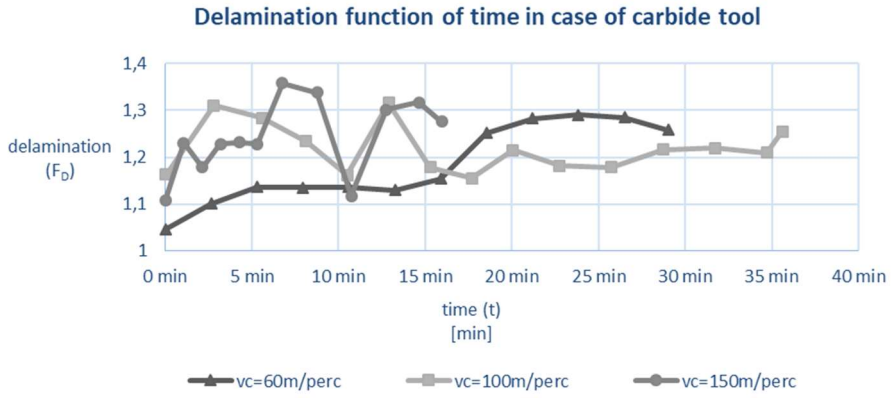


Figure 11. Delamination function of time in case of carbide tool

7. Conclusion

The results clearly shows that the HSS despite more ideal condition also it can cause higher delamination. And also shows that the delamination grows over time. This reason for the tool abrasion. The more abrasive tool the greater cause delamination. Can also be concluded that more better the bore geometry which was drilled with carbide then the bore by HSS. About the summary can be said the HSS is a perfect choice for a small amount of bore.

One explanation for this by the all data that the carbide drill fifteen times more expensive but also by the diagrams can see that twenty times performed better.

REFERENCES

[1] Liska, J. & Kodacsy, J., 2012. Drilling of glass fibre reinforced plastic. ADVANCED MATERIALS RESEARCH, 472–475, pp.958–961.

[2] Líska, J., 2012a. Kompozitok forgácsolása. GAMF KÖZLEMÉNYEI, 25, pp.77–88.

[3] Líska, J., 2009. Present situation of machining composite materials in the company. In Proceedings of International Doctoral Seminar 2009. pp. 382–390.

[4] Líska, János; Kun, Krisztián; Kovács, Zsolt (2021): Attendants at MMC composite milling, Advances in Manufacturing Engineering and Materials II Springer International Publishing, Chapter 27, pp. 332-342.

Alumínium ötvözet huzalelektródás szikraforgácsolásának technológiai optimalizálása

Technological optimization of aluminum alloys on wire electric discharge (WEDM) machines

Vaczkó Dániel [1*]

[1] ***Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék***

Összefoglaló (absztrakt)

Kutatásomban egy WEDM gép technológiai paramétereit vizsgálom. Vizsgálom a különböző paraméterek beállításának hatását a kész munkadarab minőségére és az elkészítési időre. A kutatás során kísérleti terveket készítek a szakirodalom és saját tapasztalataim alapján. A kísérletek során elkészített mintákat mérőlaboratóriumban kiértékelem, és ebből konzisztenciát vonok le. Kutatásom célja tehát, hogy megtaláljam az alumíniumötvözetek legoptimálisabb gyártását WEDM gépen.

Kulcsszavak: szikraforgácsolás, huzalszikraforgácsolás, alumínium megmunkálás

Summary

In my research I study the technology parameters of a WEDM machine. Investigation of the effect of setting various parameters on the quality of the finished workpiece and the time of preparation. In the research, I make experimental designs based on the literature and my own experience. I evaluate the samples prepared during the experiments in a measuring laboratory and deduce consistency from it. The aim of my research is therefore to find the most optimal production for aluminum alloys on the WEDM machine.

Keywords: EDM, wire EDM, aluminum machining

1. Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a különleges anyagleválasztási technológiákra. A szikraforgácsolás pontos és szép felületet képes létrehozni, azonban a viszonylag hosszú megmunkálási idő (főkén kis tűréseknél) megakadályozza a technológia szélesebb körű elterjedését. Célom, hogy olyan módon tudjam optimalizálni a huzalektródás szikraforgácsoló gépet, amely csökkenti az elkészítési időt megfelelő minőség mellett. Erre a legalkalmasabb a Taguchi féle kísérleti módszer, amely során egy kísérleti terv alapján végrehajtott kísérleteim később a mérőlaborban kiértékelésre kerülnek. A kapott adatok alapján megállapítható a változtatott paraméterek hatása a munkadarabra és kiválasztható a legoptimálisabb technológia paraméter beállítás.

2. Szikraforgácsolás

Ezen fejezetben bemutatom a különleges anyagleválasztási technológiákat, különös tekintettel a szikraforgácsolásra, illetve a huzalelektródás szikraforgácsolásra.

2.1. Különleges anyagleválasztási technológiák

A különleges anyagleválasztási technológiák csak egyes jellemezőik alapján illeszthetők a forgácsoló eljárások sorába. A megmunkálás során például közvetlen villamos energia vagy fény hatására válnak le nagy mennyiségben anyagrészecskék. Ezek a megmunkálások gyakran a hagyományos szerszámgépekhez hasonló gépekkel, berendezésekkel történnek. Más esetekben a módszer különleges (például az ultrahangos abrazív megmunkálás). [1]
A villamos megmunkálások során a villamosság hő- vagy vegyi hatása választja le az anyagot, ezért csak a villamos áramot vezető anyagok munkálhatók meg ilyen módon. A villamos megmunkálások szerszáma az elektróda. A munkadarab és a szerszám anyagának mechanikai tulajdonságai nem befolyásolják az anyagleválasztás folyamatát, egyéb fizikai tulajdonságok viszont igen például a vezetőképesség, hőkapacitás, olvadáshő satöbbi. [1]
A plazma-, lézer- vagy vízsugárral történő megmunkálások során a sugarak rendkívül nagy mozgási vagy hőenergiája (nagyenergiájú sugarak) rendkívüli gyorsasággal végzik el a szükséges alakításokat. [1]

2.2. Szikraforgácsolás

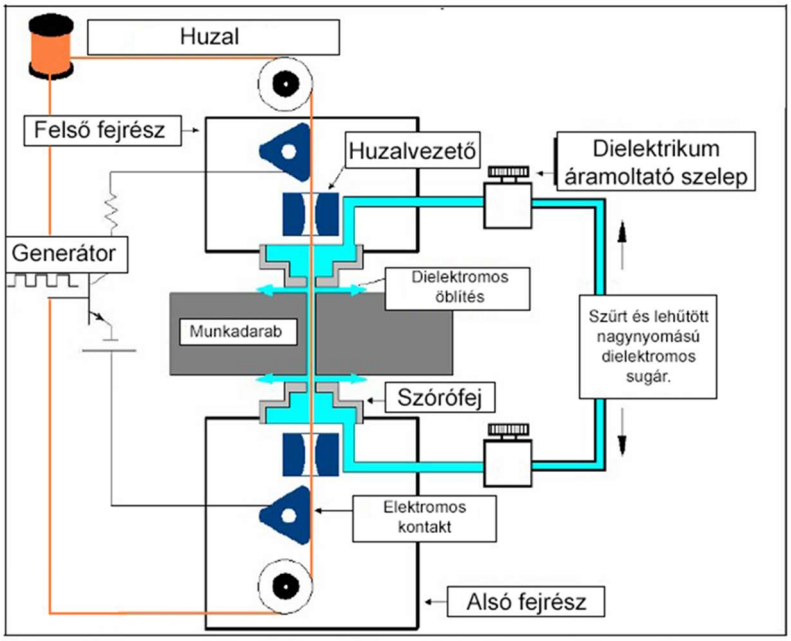
A szikraforgácsolás (EDM, Electrical Discharge Machining) elektroeróziós megmunkálás. Az erózió az anyag felületén az ismétlődő külső hatásokra létrejövő helyi roncsolás, amely az ismétlődések miatt fokozatosan kiterjed az anyag felületén, és egyre mélyebbre hatol. Szikraforgácsolás esetén a sorozatos szikrakisülések roncsolják, koptatják a felületet. Szikraforgácsolás a szikraeróziós

süllyesztés (tömb-szikraforgácsolás), a huzalvágás, a csiszolás (elektroeróziós köszörülés), a gravírozás és a mikro-szikraforgácsolás. [1] [2]
Szikraforgácsoláskor két, szigetelő folyadékba (dielektrikumba), úgynevezett munkafolyadékba merített villamos elektróda között kisülés sorozatokat hozunk létre, és ennek eredményeként az egyik elektródán (munkadarab) kialakul a másik elektróda (szerszámelektróda) alakjának lenyomata. [3]

A szikrakisülések akkor jöhetnek létre a két elektróda között, ha nem érintkeznek egymással, de a távolságuk akkora, hogy a közöttük levő feszültség átüti a közbülső teret kitöltő munkafolyadék szigetelési szilárdságát, az elektródákra nem állandó egyenfeszültséget, hanem feszültségimpulzusokat adunk, a két elektróda távolsága megmunkálás közben állandó (ezt az előtolás- vagy a szikraköz-szabályozó- berendezés szabályozza). [3][5]

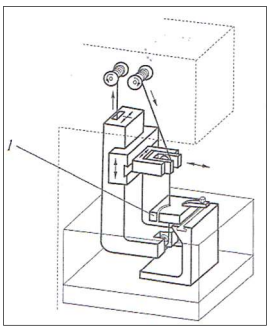
2.3. Huzalelektródás szikraforgácsolás

A huzalelektródás szikraforgácsolás (W-EDM, Eletrical Discharge Wire Cutting) során a vékony (0,1-0,5 mm) csupasz félkemény rézhuzal egy gyengén fékezett csévéről szálfeszítőkön, terelő görgőkön és zafírból készült vezető fejeken át a felcsévélő orsóra jut. Egy keményfém csúszó érintkező biztosítja az elektróda huzal elektromos kapcsolatát a tápegységgel. Zárt belső idom kivágása esetén először a munkadarabon úgynevezett startlyukat kell készíteni. Az alábbi ábrán a huzalelektródás szikraforgácsoló gép elvi részeit (1. ábra) láthatjuk. [4]



1. ábra. WEDM elvi részei. [4]

Az elektródahuzal folyamatos, tengelyirányú mozgatása csökkenti az elektróda fogyását. Az ioncserélt víz dielektrikum folyamatosan kering a szűrőn és ioncserélő gyantákon át és vissza a munkatérbe. Ezeket a mozgásviszonyokat tanulmányozhatjuk a következő 2. ábra segítségével. [1]



2. ábra. WEDM gép mozgásviszonyai. [1]

3. Kísérletek elvégzése

A kísérleteket az Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék gépgyártástechnológia részén végeztem el egy DK7740B típusú berendezésen.
Két különböző formájú próbatestet vágtam ki különböző paraméterek megadásával és a paraméterek befolyását vizsgáltam az elkészült munkadarabokra. [9]
Fontos, hogy olyan próbatesteket gyártsunk le, amiken jól lehet mérni különböző tulajdonságokat.

A következő paramétereket szeretnénk vizsgálni a munkadarabokon:
- Méretpontosság (szélesség, hosszúság, átmérő)
- Alakpontosság (párhuzamosság, merőlegesség, köralak, egyenesség, hengeresség, szimmetria, ütés)
- Felületi érdesség
- Elkészítési idő

A kívánt tulajdonságok lemérésére egy négyzet és egy kör alapú hasáb megfelelő alakzat lesz. A választott anyag a 7075-os alumíniumötvözet (AL7075) egy alumíniumötvözet, amelynek elsődleges ötvöző eleme a cink. Kiváló mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik, rugalmasság, nagy szilárdság és jó ellenállás jellemzi a fáradással szemben. A mikro szegregáció miatt érzékenyebb az áthatolásra, mint sok más alumíniumötvözet, de szignifikánsan jobb korrózióállósággal rendelkezik, mint a 2000-es ötvözet. Az egyik leggyakrabban használt alumíniumötvözet nagy igénybevételű szerkezeti alkalmazásokhoz, és széles körben alkalmazzák a repülőgépek szerkezeti részeiben. [6, 10]

Kilenc pár munkadarab került legyártásra kilenc féle technológiai változóval. Ezek az impulzus szélesség, impulzusköz és az áramerősség voltak. A változókat felhasználva kísérlettervet készítettem Minitab szoftver segítségével [7]. A 3. ábrán látható a kísérlet utáni állapota a munkadarabnak.

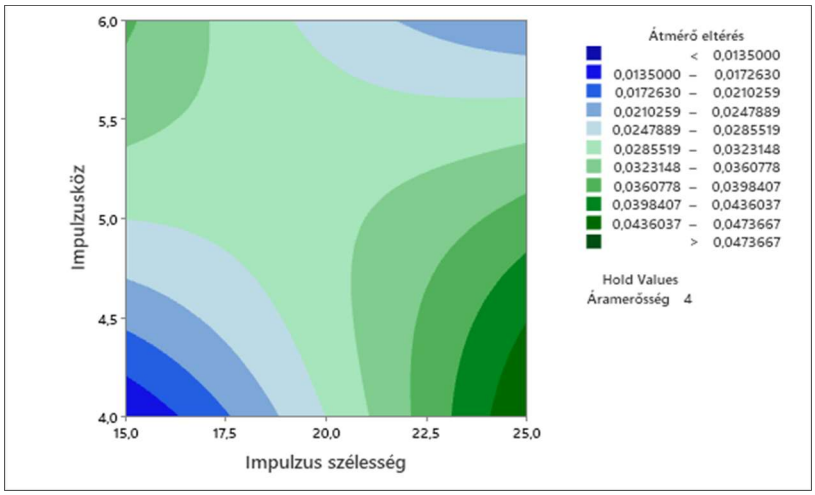
3. ábra. A kísérletek utáni állapot

4. Kísérletek kiértékelése

A kísérleteket elvégzésük után megfelelő módon ki is kell értékelni, ahhoz hogy a megfelelő konklúziót le tudjuk vonni. A próbatesteket hitelesített mérőlabori eszközökkel kell mérnünk. Fontos, hogy mind a kísérlet mind pedig az azt követő mérés reprodukálható legyen és ugyan azokkal a paraméterekkel ugyan azokat az eredményeket adja vissza.
A próbatestek legyártása után a tanszéken található akkreditált mérőlaborban történtek meg a geometriai mérések. A kiértékeléshez három mérési adat lett előre meghatározva: méret- és alakpontosság, illetve felületi érdesség. A laborban ezek vizsgálatára két gép lett kiválasztva, egy koordináta- és egy érdességmérő gép.

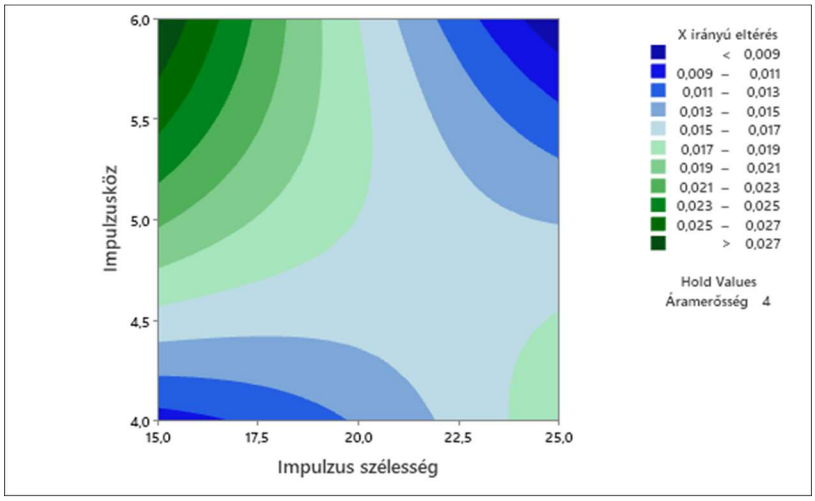
4.1. Kölcsönhatások vizsgálata regressziós egyenlettel

A regressziós egyenlet segítségével írhatjuk le a kölcsönhatások és a modellben szereplő kifejezések közötti kapcsolatot. A regressziós egyenlet a kölcsönhatások algebrai ábrázolása. [8]
A következő részben bemutatom a kölcsönhatások vizsgálatainak eredményét. Mindegyik esetben 4-es áramerősséget vettem konstans értéknek.
A 4. ábra segítségével meghatározhatjuk, hogy egy kívánt átmérő eltéréshez milyen impulzusközt és szélességet kell alkalmazni.



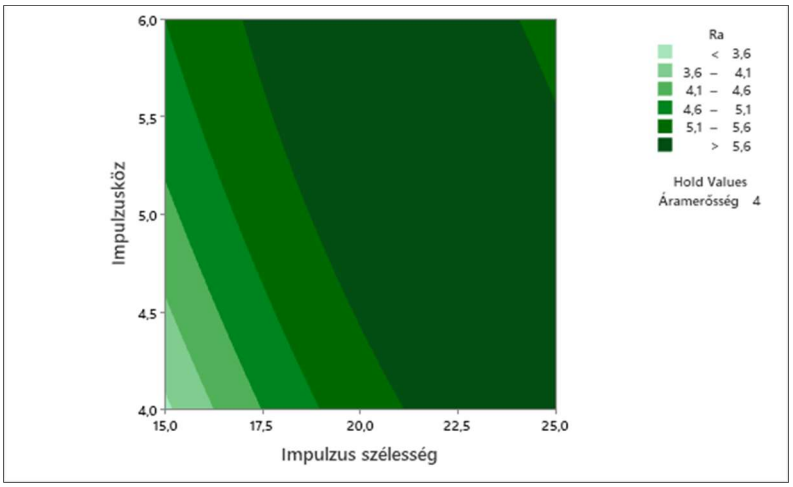
4. ábra. Átmérő eltérés ábrázolása válaszfelülettel

A regresszív egyenletek megoldásából látható, hogy nagy impulzusköz és kicsi impulzus szélesség beállítása esetén lesz legnagyobb az X irányú eltérés. (5. ábra)



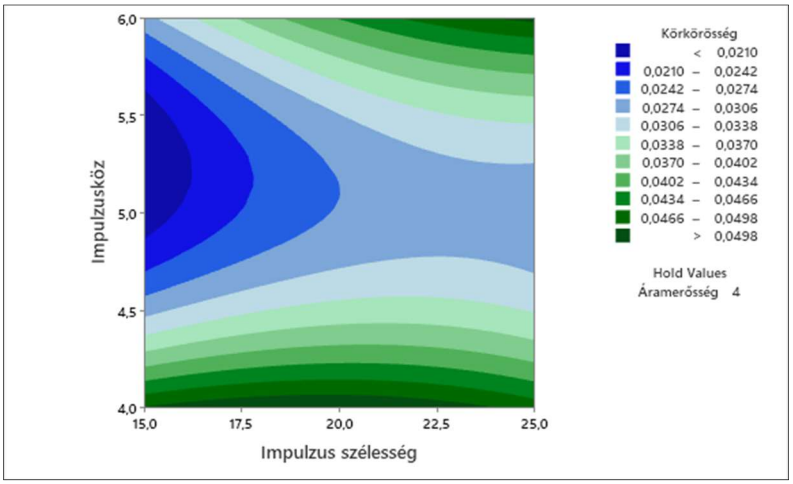
5. ábra. X irányú eltérés ábrázolása válaszfelülettel

Minél kisebb értéket adunk a két változónak, az impulzusköznek és az impulzus szélességnek annál jobb lesz a felületi érdesség. (6. ábra)



6. ábra. Felületi érdesség változás ábrázolása válaszfelülettel

Az alábbi ábrán megfigyelhető, hogy az impulzusköz 5-5.5, illetve az impulzus szélesség 15-17 beállításával a körközösségi hiba 0.025mm-en belül fog maradni.



7. ábra. Körkörösségi hiba ábrázolása válaszfelülettel

A regresszív egyenletekkel történő kiértékelés nagyon hasznosnak bizonyulhat egy adott technológia beállítására. Más anyagoknál kellő mérési adat ismeretében alkalmas lehet várható eredmények ábrázolására. Segítségével tervezhető lesz a megmunkált darab mérete, felületi minősége, végezetül csökkenthetjük a selejtszámot.

IRODALOM

[1] Ducsai János, Forgácsolási eljárások, Budapest: Tankönyvmester kiadó, 2008.

[2] T. Bergs, U. Tombul, T. Herrig, M. Olivier, A. Klink és F. Klocke, „Analysis of characteristic process parameters to identify unstable process conditions during wire EDM," Procedia Manufacturing, 2018.

[3] Ferenc Gergő, Szikraforgácsolás, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1986.

[4] N. L. de Lacalle és A. L. Mentxaka, Machine Tools for High Performance Machining, London: Springer-Verlag London, 2009.

[5] E. Salvati és A. M. Korsunsky, „Micro-scale measurement & FEM modelling of residual stresses in AA6082-T6 Al alloy generated by wire EDM cutting," Journal of Materials Processing Technology, 2020.

[6] R. Nunes, ASM Handbook Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, Iran: ASM International Handbook, 1990.

[7] Líska, János; Kovács, Zsolt Ferenc; Sándor, Roland (2015): Optimális technológiai paraméterek megválasztása kísérletek alapján, GRADUS 2:2, pp. 147-151.

[8] Kun, K., & Weltsch, Z. (2021). Effect of Femtosecond-Laser-Structured Injection Molding Tool on Mechanical Properties of the Manufactured Product. Polymers, 13(13), 2187.

[9] Kun, K. (2021). Design an Experimental of Injection Moulding Tool for Testing Microstructured Cavity Surfaces. Acta Materialia Transylvanica, 4(2), 97-102.

[10] Weltsch, Z. (2018). Comparative study of the joining technologies of vehicle bodywork sheets. IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING, 448. http://doi.org/10.1088/1757-899X/448/1/012061

Vékonyrétegű napelemek integrálásnak lehetőségei üvegszálas kompozitokba

Possibilities of integrating thin-film solar cells into fiberglass composites

Berczeli Miklós [1*]

[1] ***Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék***

Összefoglaló (absztrakt)

Napjainkban egy igen nagy iramban fejlődik a napelem technológia, rengeteg innovációs lehetőség rejlik benne, mind a lakóházaknál használt, mind a járművekben illetve a bármely egyéb területen. Járműiparban egyre jobb napelem rendszereket fejlesztenek annak érdekében, hogy növeljék a hatótávolságot, ezzel csökkentve a környezetre gyakorolt komoly szennyező hatások. A napelem technológia fejlesztések magukkal vonzzák a kötéstechnológiai fejlesztéseket is, azért hogy a panelek tökéletesen integrálhatók legyenek, és megfelelő hatékonysággal tudjanak működni.

Kulcsszavak: kötéstechnológia, ragasztás, kompozitok, napelem, hibrid anyagpárosítás

Summary

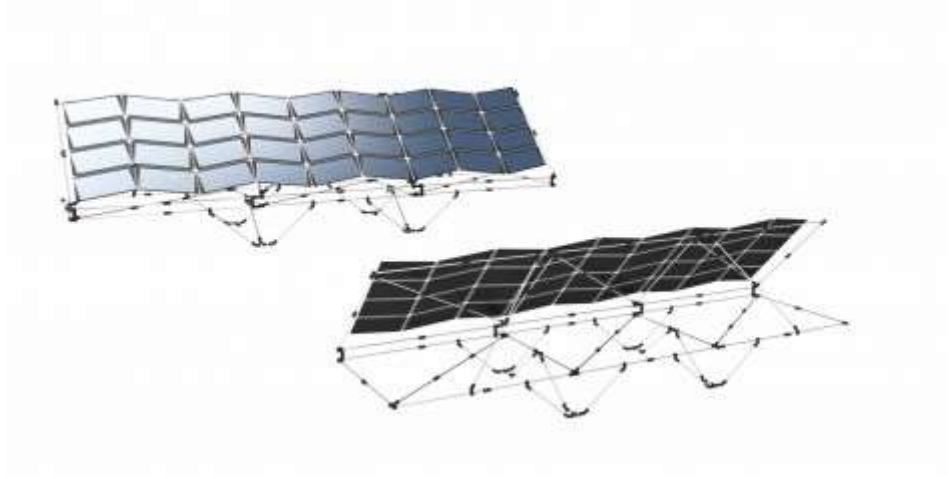
Nowadays, solar cell technology is evolving at a very fast pace, with a lot of potential for innovation, both in residential and automotive applications and in any other field. In the automotive industry, better and better solar systems are being developed to increase range, thereby reducing the serious polluting effects on the environment. Solar technology developments also attract bonding technology developments so that the panels can be perfectly integrated and operate with sufficient efficiency.

Keywords: bonding technology, adhesives, composites, solar cell, hybrid material pairing

1. Irodalmi áttekintés

Egyre nagyobb teret nyernek maguknak azok a járművek, legyen szó személygépjárművekről, hajókról vagy repülőgépekről, amelyek elektromos vagy hibrid hajtásrendszert tartalmaznak. Ennek oka, hogy az Európai szabályozások és a követelmény rendszerek előírják a járművek tömegcsökkentését és a káros anyag kibocsátásukat illetve, hogy csökkenteni kell azok üzemanyag fogyasztását [1-3]. Ezt a gyártók különböző módon végzik el, vannak olyan kutatócsoportok, akik az üzemanyag típusának változtatásával oldják meg ezt a problémát, vannak, akik a járműfelépítmény tömegének csökkentésével érik el a kívánt eredményt [4-8]. Egy kiemelkedő kutatási terület, amikor olyan hajtásrendszer kerül beépítésre, ahol egy nagyobb teljesítményű belsőégésű motor van kiegészítve egy elektromos hajtásrendszerrel. Ezt összefoglaló néven hibrid hajtásrendszereknek nevezzük [6-10]. Ezekben a járművekben az elektromos energia tárolására akkumulátorokat helyeznek el, amiket vagy öntöltő módban a motor tölt egy generátoron keresztül vagy pedig a hálózatról tölthető vagy akár a környezeti energiát felhasználva nyerhetünk vissza energiát [11-15].

Az összehajtható napelem kialakítása egy origami hajtogatási technikán alapul, amelyet „miura" hajtásnak hívnak. Ez lehetővé teszi a sorozat kibontását, egyszerűen kihúzva a két legkülső (hajtott felső és alsó) panelt (1. ábra) [16].



1. ábra. Összehajtható napelemek [17]

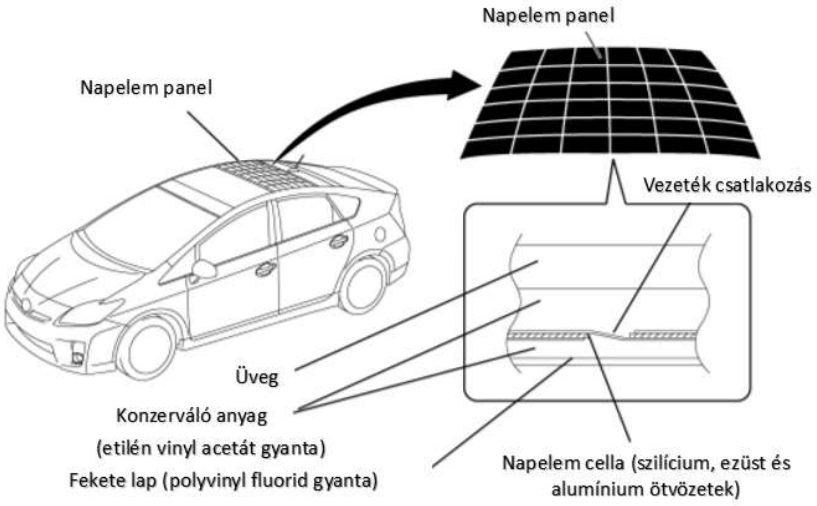
A csapat megtervezte az összecsukható paneleket, forrasztotta és laminálta őket. Olyan keretet terveztek, amelyre fel lehet szerelni őket, hogy a helyes szöget kapjanak a nap felé. A behajtás szükségszerű volt, mivel a tömbnek a héja körül kell tartaniuk. Ezután minden alkalommal, amikor az autó megáll, a csapat díjmentesen kinyitja a tömböt, majd vezetés előtt újracsomagolja. Lehet, hogy ez

az első földre hajtogatható napelem, mivel korábban az összecsukható tömbökre csak az űrben volt szükség. A lítium ionos akkumulátorokat egy 40 m²-es napelem tölti fel, amely 144 panelt tartalmaz, 1052 szilícium cellából épül fel. A sivatagban nincsen töltőállomások ezért a töltést a 40 m²-es napelem végzi, ami három óra alatt feltölti az akkumulátorokat, Az energiát az akkumulátor tárolja, akárcsak minden elektromos jármű. A kimeneti feszültség 650 V, teljesítménye 6 kW és 9,2 A áramerősséget visel el. Ezzel 3 órán belül teljesen fel lehet tölteni. Fejlesztők elmondása alapján 100-150 km-t képes megtenni egy feltöltés mellett [17].

1.1. Napelemek alkalmazása személygépjárművekben

A Toyota az elsők között mutatta be a gépjármű tetejébe integrált napelem megoldást, amelynek segítségével, nagyobb hatótáv érhető el mint tisztán fosszilis energiahordozók segítségével. A napelem a hátsó utastér felett a tetőn található. A napelem kimeneti vezetéke nincs elektromosan csatlakoztatva a 12 voltos kiegészítő akkumulátorhoz, az SRS légzsákhoz vagy a nagyfeszültségű akkumulátorcsomaghoz. A napelem kimenete nem táplálja vissza az áramot ezekbe az áramkörökbe. Így ezek nem használják a napelem által termelt áramot.

A napelemek törése vagy vágása általában nem jelent veszélyt, kivéve azokat a sérüléseket, amelyek az anyag folytonossági hibából származhatnak [7-9].

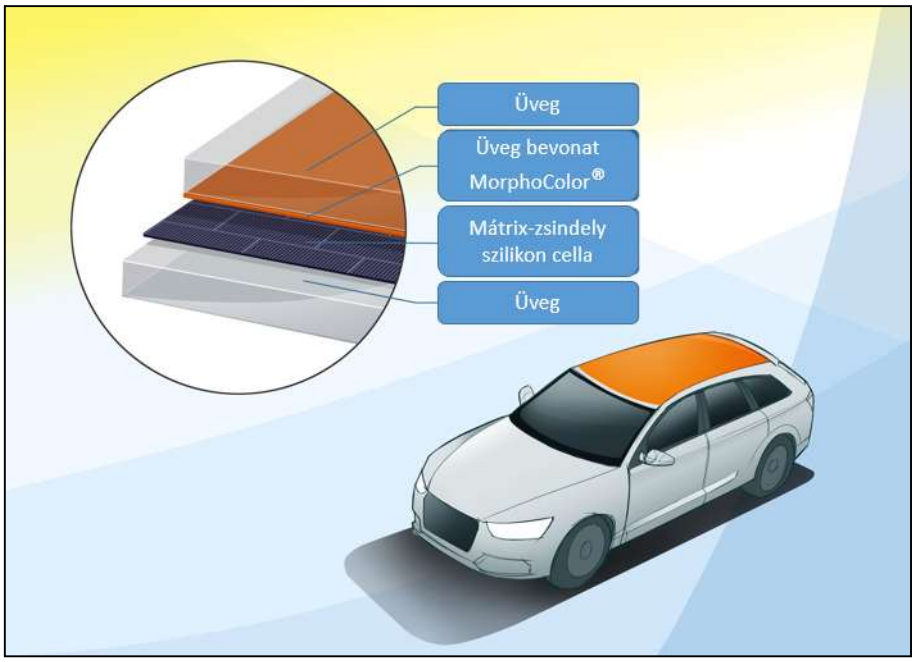


2. ábra. Napelem panel integrálása Toyota Prius személygépkocsi esetében [9]

A napelem névleges teljesítménye 60 watt, de nem termel magas feszültséget. A maximális kimenő feszültség 27 volt, és a maximális áramerősség 3,6 amper. Ezek

az értékek optimális körülmények között tapasztalhatóak. A feszültséget akkor generálódik, ha a napelemet napfénynek teszik ki. A kimeneti vezeték akkor is feszültség alatt áll, ha a járművet leállítják és a 12 voltos kiegészítő akkumulátort lecsatlakoztatják. Az áram csak akkor áramlik, ha a szolár szellőztető ventilátor áramköre be van kapcsolva (2. ábra) [9].

A tervezés során az aerodinamikai megfontolásból fokozatos görbe kialakítását alkalmaznak a teljes tetőre, így egy komplex szerkezetet hoznak létre háromdimenziós görbékből, a szélvédőtől és az oszlopoktól a motorház körül. A Panasonic kifejlesztett egy egyedülálló laminálási technológiát, amely megfelel ennek a komplex háromdimenziós íves tetőnek. Ez a technológia a felső és az alsó modul felületének rugalmas anyaggal (történő termikus kompressziós kötését jellemzi, ez egy innovatív technológia, mivel lehetővé teszi a gyártási folyamat számára, hogy a hagyományos síkfelületeken kívül háromdimenziós görbékkel is foglalkozzon. Ennek a technológiának a fejlesztése lehetővé tette az autóipari modulok gyakorlati felhasználását [10].



3. ábra. Színezhető integrált napelem [11]

A növekvő tendenciából kiindulva feltételezhetően 2028-ra az újonnan regisztrált gépjárművek egyharmada elektromos vagy hibrid hajtású lesz. Ezért a vállalatok jelentős erőforrásokat költenek fejlesztésekre. A fejlesztések egyik irányvonala a futóteljesítmény növelése, ennek egyik módszere a járművekbe integrált napelem

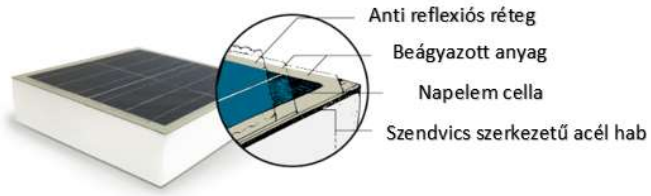
panelek fejlesztése, melyeket a tetőbe illetve más alkatrészekbe integrálnak (3. ábra) [11].

Egy különleges napelem laminálló technológiának köszönhetően két 3D ívelt üveglap közé helyezik a napelemeket, így integráljál a gépjármű tetejébe. A felső üveget egy speciális bevonattal kezelve elérhető hogy az integrált napelem színe megegyezzen a gépjármű fényezésével [9-11].

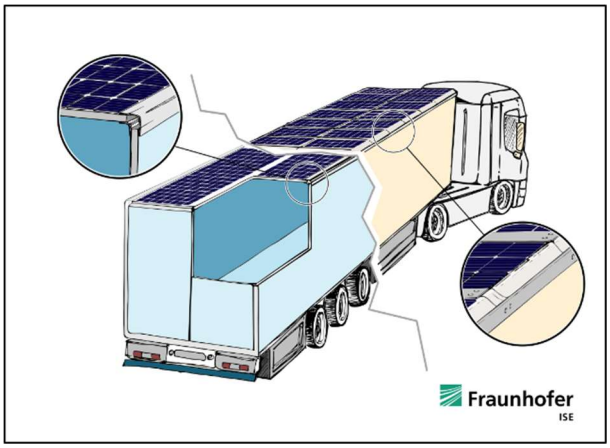
1.2. Napelemek alkalmazása haszongépjárművekben

A haszongépjárművekbe (például teherautók és buszok) hatékonyan integrálhatóak napelem cellák, viszont hogy a többlet súly ne korlátozza a gépjárművek teherképességét különösen a könnyű, vékony szerkezetű napelem cellák alkalmazhatóak. A Fraunhofer ISE által kifejlesztett könnyű modulok különösen jól alkalmazhatók nagy tetőtartományú hűtőkocsik számára. A napelemeket laminálhatjuk egy szigetelő panelre vagy hozzáadhatjuk a meglévő szerkezetekhez (4. és 5. ábra) [11-21], [26].

Egy kutatási projekt részeként a Fraunhofer ISE több teherautót felszerelt sugárzásmérő szenzorokkal, hogy feljegyezze a valós napenergia-hozamot a haszongépjárművek ágazatában. Meghatározták az átlagos villamosenergia-hozamot, amely egy év alatt 150 kWh / m² volt. Elektromos teherautó tetőterülettel megközelítőleg 38 m² így évente 5000 km a generált villamos energián. Napelemek teherautókba történő integrálának általános elvárása hogy vékony könnyű szerkezet legye, ellenálljon a dinamikus mechanikai igénybevételeknek, dízelfogyasztás csökkenése a generált napenergia felhasználásával, így csökkentve a széndioxid kibocsájtást [18], [25].



4. ábra. Haszongépjárműbe integrált napelem panel felépítése [18]



5. ábra. Pótkocsiba beépített napelem panelok [18]

1.3. Napelemek alkalmazása a hajózásban

6. ábra. Turanor PlanetSolar napelemes hajó [19]

A Turanor PlanetSolar névre keresztelt napelemes hajó ezzel az úttal beírta magát a rekordok könyvébe, hiszen ez az első napenergiával működő hajó, amely körbeutazta a világot (6. ábra). A napelemes technológia a legnehezebb körülmények kötött is alkalmazható, így tengeren is [19],[20],[21], [24].

A 95 tonnás, karbonszálas katamarán felszínére 530 négyzetméternyi felületű napelemet építettek, ezzel a rendszer 90 kilowatt elektromos áram előállítására

képes. Ezzel az árammal pörgette a villanymotor a propellert, miközben az elektromos energia tárolására 10 tonnányi lítium akkumulátor [19].

Napelemekkel számos eszközt mozgatnak manapság, a hajózás azért került az érdeklődés középpontjába, mert a vízi szállítás a leginkább energiahatékony közlekedési eszköz. Gregory Offer, a londoni Imperial College elektrokémikusa szerint ezzel magyarázható, hogy a világon szállított termékek 90 százaléka vízen jut célba. A tengeri hajókon rendszerint dízelmotorok dolgoznak, amelyek nagyon hatékonyak teljes terhelés mellett, ugyanakkor energiapocsékolásról kell beszélni részleges terheléskor, illetve a kikötői manőverezés során ezek a hajók rengeteg kén-dioxidot bocsájtanak ki. Offer becslése szerint a világ 15 legnagyobb teherhajója annyi kén-dioxiddal terheli a légkört, mint amennyivel 760 millió autó. Nyilvánvaló tehát, hogy a tengeri közlekedést korszerűsíteni, környezetbaráttá kellene tenni. Ennek előfutára a mostani kezdeményezés [19].

2. Kísérleti alapanyagok, berendezések és eljárások

2.1. Üvegszálas kompozit

4 db 200 x 300 mm területű üvegszál erősítésű kompozitot magamunknak gyártottuk le. Az üvegszál kompozit szendvics alul felül 1 x 1 mm-es 3 réteg üvegszál szövetből készül. A laminálás előkészületeként bekevertem a mátrix anyagként használatos Elan-tech EC 130-as epoxi gyantát és a hozzá ajánlott Elan-tech W 342-es epoxi térhálósítót. A két folyadékot egy keverési arányokat tartalmazó mérőpohárban kevertem össze 3:1 arányban.

2.2. Vékonyrétegű napelem

A kísérletek során aSi-μSi anyagú vékonyréteg napelemet használtunk, mely amorf szilíciumból (aSi) és mikromorf (μSi) szilíciumból készítenek. Ellentétben a kristályos napelemekkel itt kémiai reakcióval szilán (SiH4) gázból állítják elő. A hidrogént leválasszák a szilíciumról és az lerakódik, esetünkben műanyag fóliára.

2.3. Napelem ragasztására használt eszközök

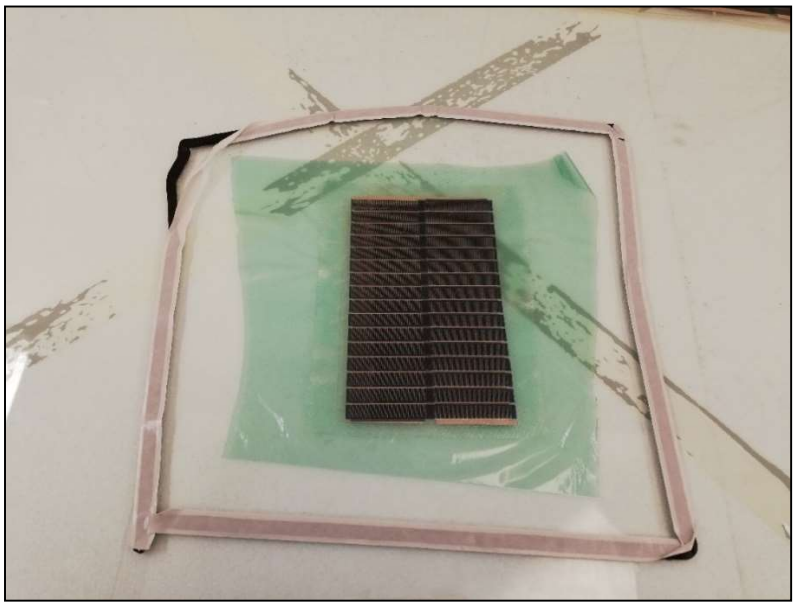
A kísérleteim elvégzéséhet az egyik ragasztó, amit választottam a TEROSON PU 8597 ragasztó, ez egy komponensű fekete színű ragasztó, amely elsősorban üveg felületek (szélvédők) ragasztására célzott, de remek kötéseket hoz létre műanyag és kompozit anyagokon is.

Továbbá a kísérletemben használt másik ragasztó a LOCTITE EA 9497, amelyet a jó tulajdonságai miatt választottam. Ennek a ragasztónak a tulajdonságai ellenállnak a vizsgálataimban szereplő igénybevételeknek és környezeti hatásoknak.

3. Eredmények

3.1. Napelem cellák kompozit anyagba laminálása

Gyártástechnológiailag nem különbözik az előzőekben ismertetett laminálási eljárástól. Egyetlen különbség hogy itt a laminálás első rétegeként nem üvegszál szövettel kezdek, hanem megfelelő méretre vágott vékonyréteg napelem cellákat használok (7. ábra) [22],[23], [27].



7. ábra. Napelem cellák laminálása üvegszál kompozit lapra

A napelem cellák a gyanta segítségével rögzülnek a kompozit lap felületére. A napelemek laminálását két módon hajtottam végre az egyik módszerben a napelemet a kereskedelemben vásárolt módon tisztítás és bármiféle felületkezelési eljárás alkalmazása nélkül készítettem el. A másik módszernél használtam egy speciálisan ragasztási felületekre szánt tisztítószert, és a napelem fólia felületét kis mértékben megérdesítettem az adhéziós kötés erősítése érdekében, ügyelve arra, hogy ne tegyek kárt a napelem cellákban.

3.2. Napelem cellák kompozit anyagra ragasztása

A ragasztási művelet során a kompozit lemez teljes felületére ragasztottam fel a vékonyréteg napelemet. A ragasztott kötést az alábbi lépések szerint hajtottam végre (8. és 9. ábra):

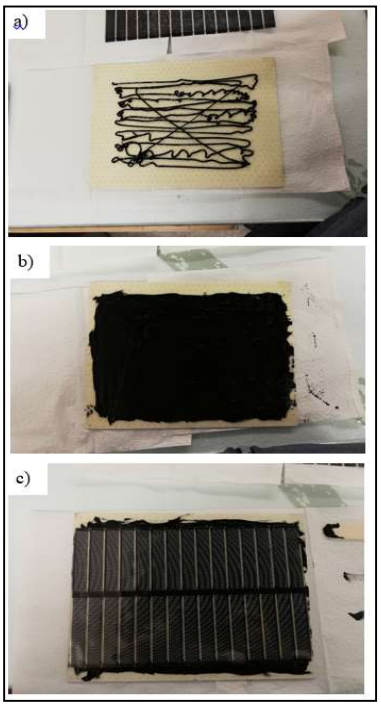
1. Az elkészített üvegszál erősített kompozit lemezt és a napelem fólia hátsó felületét enyhén megérdesítettem, majd megtisztítottam.

2. Az ábrán látható módon felvittem a kompozit felületére a két komponensű ragasztót.

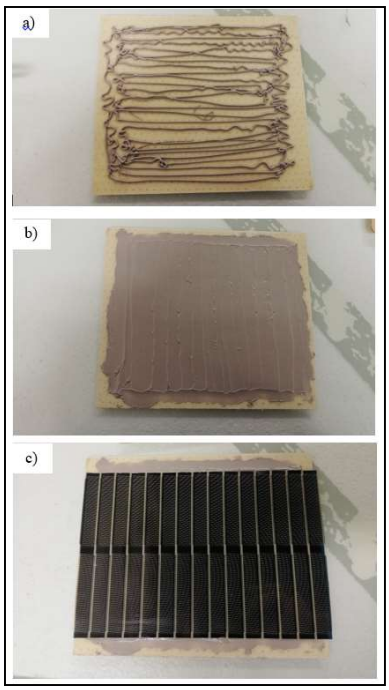
3. Ezután a felvitt ragasztót az egész felületen egyforma vastagságban elegyengettem, hogy mindenhol megfelelő vastagságú kötőanyag legyen.

4. A szétoszlatott ragasztóra ráhelyeztem a napelemet ábrán látható módon

5. A kompozit táblára ragasztott napelem cellákat ezután 24 órán keresztül összeszorítottam.



8. ábra. a) TEROSON PU 8597 Ragasztó felvitele a kompozit lemezre, b) Ragasztó egyenletes elosztlatása a felületen, c) napelem ráhelyezve a ragasztózott felületre

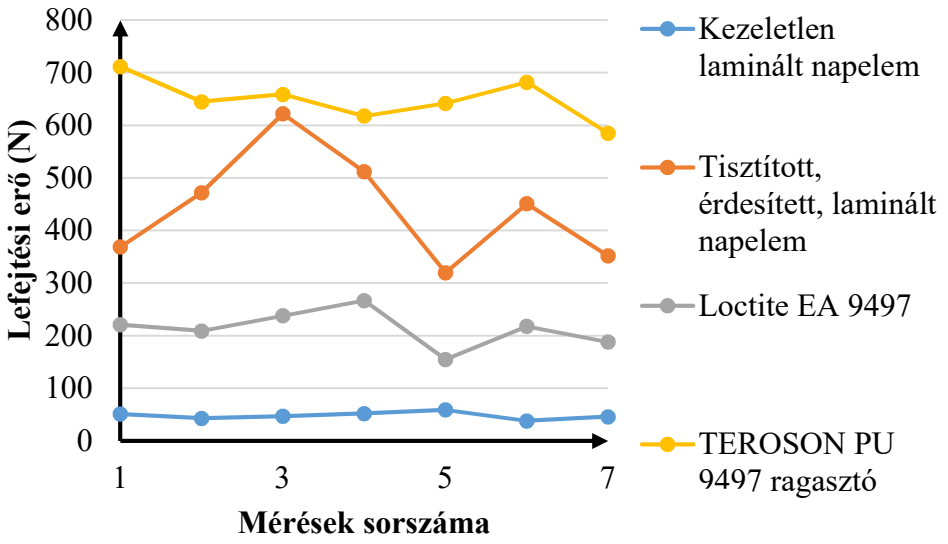


9. ábra. a) Loctite EA 9497 ragasztó felvitele a kompozit lemezre, b) Ragasztó egyenletes eloszltatása a felületen, c) napelem ráhelyezve a ragasztózott felületre

3.3. Napelem párosítások lefejtésének vizsgálata

Ezt a vizsgálatot minden esetben Instron szakítógéppel végeztem. A szakítógépen mért eredmények adott eljárással készült próbatestek esetén némi eltérést mutatnak, ezek a több dologtól is függhetnek pl (azokon a próbatesteken erősebb vagy gyengébb az adhéziós erő) de az eredmények nagyságrendjéből megállapítható a kötéstechnológiák közti sorrend a lefejtési erő figyelembe vételével kapcsolatban (10. ábra). [20]

Azoknál a próbatesteknél amelyeket nem előzött meg mechanikai igénybevétel illetve hőmérsékletállósági vizsgálat megfigyelhető hogy az eredményeknek van némi szórása de adott tartományon belül maradnak így az átlag értékekből megállapítható hogy a próbatestekbe laminált napelemek esetében jelentős különbség tapasztalható a felületi szennyeződésektől megtisztított és előzetesen érdesített próbatestek javára. Mindezek alátámasztják a mikroszkópos ellenőrzés során tapasztaltakat, hogy a felületek között jobb minőségű kapcsolat jött létre, mint a kezeletlen felület esetében.



10. ábra. Különböző napelem és üvegszálas kompozit kötéstechnolóigák ellenállása lefejtéssel szemben

A ragasztott felületek esetében is jelentős különbség van a két ragasztó típus között. A TEROSON PU esetében közel háromszor nagyobb a lefejtési erőszükséglet, mint a kétkomponensű Loctite EA 9497 esetében.

A laminálást és a ragasztást összevetve megállapítható, hogy napelem kompozitba történő laminálása (tisztított és érdesített) esetén kétszer akkora lefejtési erő szükséges, mint a kétkomponensű ragasztás esetén.

Tehát a két legjobb tulajdonságokkal rendelkező technológia a tisztított és érdesített napelem üvegszál kompozitba laminálva, illetve a fekete ragasztó, amellyel 68%-al nagyobb lefejtési erő érhető el.

4. Összefoglalás

A kutatómunka során üvegszál erősített kompozit elemekbe integráltam vékony rétegű napelem fóliákat. Különböző kötéstechnológiai módszereket dolgoztam ki és valósítottam meg. Annak érdekében, hogy megtudjam mennyire alkalmasak ezek a technológiák olyan teszteket hajtottam végre, amivel megállapítható, hogy milyen mértékben képes elviselni különböző hőmérsékleti igénybevételeket, illetve mechanikai terheléseket.

A kutatómunka során elért eredmények összegzése:

– Elkészítettem az üvegszál erősített kompozit lapokat melyeknek egy részébe előre belelaminálta a vékonyrétegű napelem fóliát kétféleképpen

(kezeletlen felületű napelem lapot, illetve tisztított és érdesített felületű napelem lapot

– Azokra a kompozit lapokra, amelyeket önmagukba laminálta a következő lépésként felragasztottam a napelemeket különböző típusú ragasztókkal.(Loctite EA 9495, TEROSON PU 8597), majd cellaméretnyi próbatestekké vágtam össze.

– A kötések minőségének ellenőrzése végett végeztem mikroszkópi vizsgálatokat illetve, lefejtési vizsgálattal meghatároztam a lefejtési erőszükségleteket. A különböző kötéstechnológiák lefejtéséhez más-más erő volt szükséges. A legjobban a TEROSON PU 8597 teljesített, közel 650 N kellett a letépéséhez. legrosszabbul a kezeletlen felülettel lelaminált napelem teljesített mindössze 48 N-nal. A Loctite EA 9497 214 N-nal, míg a kezelt felületű. lelaminált napelem 443 N átlagos lefejtési erőt produkált így ez a két megoldás a két véglet között helyezkedik el.

IRODALOM

[1] Napelem típusok http://napelem.net/napelemes_rendszer/vekonyretegu_vekonyfilmes_napelem.php [Megtekintés: 13-Sept-2019]

[2] Napelem típusok http://napelem.net/napelemes_rendszer /monokristalyos_polikristalyos_napelem.php [Megtekintés: 13-Sept-2019]

[3] Type of solar panels https://www.energysage.com/solar/101/types-solar-panels/ [Megtekintés: 19-Sept-2019]

[4] Czvikovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János A polimertechnika alapjai 2007 https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/polimertechnika-alapjai/ch14s04.html [Megtekintés: 18-Nov-2019]

[5] Műanyag kompozitok gyártási és feldolgozási technológiái kompozitmechanikai alapok http://www.sze.hu/~zsoldos/valogatott_fejezetek_az_anyagtudomanybol_MSc_leckek/kompozit_2_lecke.pdf [Megtekintés: 2-Nov-2019]

[6] Szakos Tibor Szerkezettan 2015 http://www.lhmc.hu/wp-content/uploads/2015/oktatas/03_szerkezettan_11.pdf [Megtekintés: 4-Nov-2019]

[7] Michal Taraba – Juraj Adamec.-.Matus Danko.-.Peter.-.Drgona.-.Tomas Urica Properties measurement of the thin film solar panel under adverse weather conditions [Megtekintés: 18-Nov-2019]

[8] SZERZŐK: DR. GÁTI BALÁZS – KONCZ IMRE SZERKESZTŐ: DR. GÁTI BALÁZS: REPÜLŐGÉPEK SZERKEZETE 2011 [Megtekintés: 18-Nov-2019]

[9] Prius Solar Panel Roof Option http://www.boronextrication.com/2011/08/13/prius-solar-panel-roof-option/ [Megtekintés: 5-Okt-2019]

[10] Panasonic's photovoltaics modules HIT adopted for Toyota Motor's New Prius PHV https://news.panasonic.com/global/press/data/2017/02/en170228-3/en170228-3.html [Megtekintés: 10-Nov-2019]

[11] Vehicle integrated Photovoltaics into Cars https://www.ise.fraunhofer.de/en/business-areas/photovoltaics/photovoltaic-modules-and-power-plants/pv-for-mobility/vehicle-integrated-cars.html [Megtekintés: 28-Nov-2019]

[12] Henkel, Loctite ragasztási ismeretek, segédanyag , [Megtekintés: 18-Nov-2019]

[13] Dr. Halmai Attila Finommechanikai elemek 2012https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_37_finommechanikai_epitoelemek/ch03.html [Megtekintés: 12-Nov-2019]

[14] Dr. Halmai Attila Finommechanikai elemek 2012 https://www.tankonyvtar.hu/hu/ tartalom/tamop412A/2010-0017_37_finommechanikai_epitoelemek/ch03s03.html [Megtekintés: 23-Okt-2019]

[15] A ragasztás technológiája https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/gepeszet/gepeszeti-szakismeretek-1/ragasztott-kotesek/a-ragasztas-technologiaja [Megtekintés: 23-Okt-2019]

[16] Dr. Halmai Attila Finommechanikai elemek 2012 https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_37_finommechanikai_epitoelemek/ch03s02.html [Megtekintés: 23-okt-2019]

[17] Thomas Renner: Solar Car Stands Up to the Stress of the Desert https://www.solarnovus.com /solar-car-stands-up-to-the-stress-of-the-desert_N11734.html [Megtekintés: 3-Nov-2019]

[18] Vehicle integrated Photovoltaics into Truck https://www.ise.fraunhofer.de/en/business-

areas/photovoltaics/photovoltaic-modules-and-power-plants/pv-for-mobility/vehicle-integrated-trucks.html [Megtekintés: 28-Nov-2019]

[19] Napelemes hajó https://tokyosolar.hu/Napkollektor-hirek/napelemes-hajo.html [Megtekintés: 18-Nov-2019

[20] Kun, K., & Léder, D. (2021). Napelemek vizsgálata pilóta nélküli légijárműre integrált kompakt hőkamera segítségével= Measurements on Solar Panels with Drone Mounted Compact Thermal Camera. GRADUS, 8(1), 278-285.

[21] Kun, K., & Török, Á. I. (2021). 3D digitalizálás ipari drón segítségével= 3D Digitalization with Industrial Drone. GRADUS, 8(1), 235-241.

[22] Krisztián, Kun., & Tamás, S. (2021). Szénszálerősítésű kompozit lengőkar rétegrendjének optimalizálása verseny-motorkerékpárhoz: Layer optimization of a carbon fiber reinforced composite swingarm for a racing motorcycle. Nemzetközi Gépészeti Konferencia–OGÉT, 126-131.

[23] Líska, J., Kun, K., & Kovács, Z. (2021). Attendants at MMC Composite Milling. In Advances in Manufacturing Engineering and Materials II: Proceedings of the International Conference on Manufacturing Engineering and Materials (ICMEM 2020), 21–25 June, 2021, Nový Smokovec, Slovakia (pp. 332-342). Springer International Publishing.

[24] J. Hlinka, Z. Fogarassy, Á. Cziráki, and Z. Weltsch, "Wetting Properties, Recrystallization Phenomena and Interfacial Reactions between Laser Treated Cu Substrate and SAC305 Solder," APPLIED SURFACE SCIENCE, vol. 501, 2020.

[25] Z. Weltsch, "Comparative study of the joining technologies of vehicle bodywork sheets," IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING, vol. 448, 2018.

[26] Z. Weltsch and A. Lovas, "Wettability of ceramic substrates by silver based alloys," ACTA PHYSICA POLONICA A, vol. 124, no. 1, pp. 78–86, 2013.

[27] Z. Weltsch and A. Lovas, "The Relation between the Surface Tension and the Bulk Properties of Diluted Silver Based Melts," MATERIALS SCIENCE FORUM, vol. 729, pp. 19–24, 2013.

Femtoszekundumos impulzus lézerrel történő rozsdás felület tisztás

Femtosecond pulsed laser cleaning of rusty surfaces

Hoffmann Ádám [1*]

[1] ***Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék***

Összefoglaló (absztrakt)

Napjainkban az ipari nagyvállalatok célja az, hogy a lehető legnagyobb bevétele mellett a kiadásaik a lehető legalacsonyabbak legyenek. Az eddig ismert hagyományos tisztítási módszerekkel a munkadarabok tisztítása igen időigényes is tud lenni, ezzel szemben a lézeres technológia robbanásszerű fejlődésének köszönhetően az ipari szennyeződések gyors tisztítása is elérhetővé vált lézersugárral. Napjainkban talán ez a technológia a leginkább fejlődő és az automatizálás lehetősége is sokkal nagyobb a hagyományos technikákhoz képest.

Kulcsszavak: femtoszekundum, lézer, impulzus, felülettisztítás, rozsda

Summary

Today's large industrial companies aim to keep their costs as low as possible while generating as much revenue as possible. While traditional cleaning methods can be time-consuming to clean workpieces, the explosion of laser technology has made it possible to clean industrial contamination quickly using laser beams. Today, this technology is perhaps the most evolving and the potential for automation is much greater than conventional techniques.

Keywords: femtosecond, laser, impulse, surface cleaning, rust

1. Bevezetés

Napjainkban az ipari nagyvállalatok célja az, hogy a lehető legnagyobb bevétele mellett a kiadásaik a lehető legalacsonyabbak legyenek. A kiadások csökkentésére új és innovatív megoldásokra van szükség az ilyen vállalatoknak. A munkadarabok tisztaságának hiányából fakadó hibák jelentős veszteséget jelenthetnek. Egy nem megfelelően tiszta munkadarab jelenléte a munkasoron akár igen komoly minőségügyi problémákhoz is vezethet.

Az eddig ismert hagyományos tisztítási módszerekkel a munkadarabok tisztítása igen időigényes is tud lenni, ezzel szemben a lézeres technológia robbanásszerű fejlődésének köszönhetően az ipari szennyeződések gyors tisztítása is elérhetővé vált lézersugárral. Ennek oka a jelölőlézer és a rövid, illetve ultrarövid impulzuslézerek megjelenése. A rövid idejű impulzuslézerek csúcsteljesítményéből adódóan érintésmentesen és rendkívül kíméletesen párologtatja el a nem kívánt rétegeket. A rövid impulzus idejű lézerek nem termikus eljárások, ezért az alapanyagon nem történik deformálódás, anyagkárosodás vagy anyagváltozások. Továbbá a magas csúcsintenzitás csak a többfoton abszorpciót indukálja, amely elsősorban az atomoktól függ, nem pedig az anyagban lévő elektronok sűrűségétől. Ebből következik, hogy bármilyen anyagra alkalmas az eljárás, nem függ a szennyeződés milyensége. További előnyeihez tartozik, hogy a lézeres tisztításnál nincs szükség kiegészítő szóróanyagra és tisztítószerre, amely körülményesen és drágán távolítható el, költséghatékony, tiszta és gyors eljárás. Napjainkban talán ez a technológia a leginkább fejlődő és az automatizálás lehetősége is sokkal nagyobb a hagyományos technikákhoz képest.

2. Szennyeződésekről általában

Az iparban megjelenő szennyeződések évtizedekre visszavezethetően okoznak hatalmas problémát a cégeknek. A minőségügyi problémák többsége ezekből származtathatóak. Magas minőség előállításához, és a gördülékeny gyártáshoz elengedhetetlen e szennyeződések kezelése. Az ilyen koszok jelenléte, időt és pénzt vesz el a cégektől, éppen ezért fordítanak nagy hangsúlyt a tisztító eljárások fejlesztésére és kutatására. [1]

A szennyeződéseket fajtájuk, megjelenésük és viselkedésük alapján csoportosítani szokták. Az egyik ilyen csoportosítási forma, amikor a szennyeződéseket eltávolítási nehézségük alapján teszik kategóriákba. Ebben az esetben két nagy kategória létezik, a könnyen eltávolítható szennyeződések és a nehezen eltávolítható szennyeződések. [2]

Könnyen eltávolítható szennyeződésről, vagy más néven laza szennyeződésről beszélünk akkor, ha egyszerű, hagyományos módszerekkel lehet eltávolítani, mint például egy törlőkendővel való letörlés. [2]

Nehezen eltávolítható szennyeződésről, vagy más néven rögzített szennyeződésről beszélhetünk akkor, ha az a felületre meglehetősen szorosan kapcsolódik, és nem lehet eltávolítani a szokásos tisztítási módszerekkel. [2]

A szennyeződések sok helyről és okból következnek be, ezért is szükséges mélyebben megvizsgálnunk megjelenésük okát, és hogy hogyan kezeljük ezeket. Ezen ismeretek birtokában könnyebben találhatjuk meg a megfelelő tisztítási

módszert az adott szennyeződésekre, vagy akár ki is találhatunk valami teljesen új módszert.

2.1. Környezeti és természeti elemekből következő szennyeződések

A szennyeződések másik nagy csoportjába azok a nem kívánatos lerakódások tartoznak, amelyek a környezeti elemekből keletkeznek. Itt közre játszik az idő múlása is, a megmunkálás, tárolás földrajzi helyzete, és még sok más tényező is, pontosan ezért gondoltam őket külön csoportba szedni.

2.1.1. Rozsda

Talán a legismertebb környezeti és természeti elemek által létrejött szennyeződés a rozsda. Rozsdának nevezzük a fémek felületén oxidációval létrejött réteget. Rozsda hidratált vas-oxidok és vas-hidroxidok keveréke, amely a vas felületén víz és oxigén hatására képződik. A vasrozsda kőzetek felületén, vastartalmú ásványok, és vasvegyületeket tartalmazó vizekben is képződhet. A nedvesség, a levegő szén- dioxid-tartalma, illetve sók és savak is elősegítik a rozsda képződését. A rozsdásodás ellen a munkadarab galvanizálásával, cinkbevonásával, ónozásával, felülethengerléséve [3, 4] vagy zománcolásával, de legegyszerűbben a festésével védekezhetünk. A 1. ábrán egy rozsdával szennyezett felületet láthatunk. [5]

1. ábra. Rozsdás lánc

Oxidációnak nevezzük azt, amikor a fémionok oldódnak elektronleadással. A vas esettében ez úgy meg végbe:

$$Fe \rightarrow Fe2+ + 2\ e- \qquad (1)$$

Valamilyen redukciós folyamat követi mindig az oxidációt. Esetünkben a vízben oldott oxigén redukciója:

$$O2 + 2\ H2O + 4\ e- \rightarrow 4OH- \qquad (2)$$

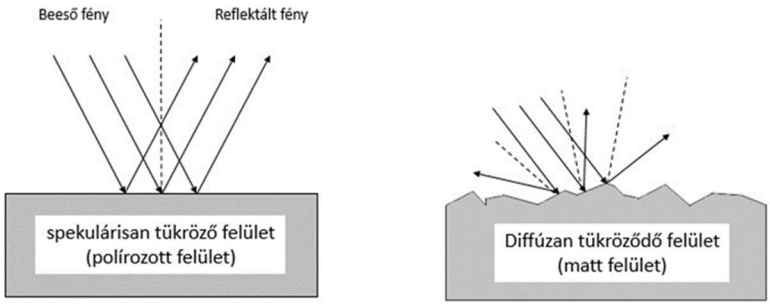
Vas-hidroxid képződik a vas felületén oxigén jelenlétében, amely vízvesztéssel alakul vörösbarna vasoxiddá (Fe_2O_3). [5]

Tehát a fentieket összegezve a rozsda az iparban sokszor akkor jelenik meg, mikor a munkadarabot egy megmunkálást követően félreraknak, tárolnak, és nem megfelelően kezelik le. Egy felületi rozsda nem csak esztétikai okokból nem megfelelő, hanem idővel az anyag belsejében is korrózióhoz vezethet, ami az anyagszerkezet roncsolódásához vezet. A belső roncsolódás következtében az anyag már nem felel meg a tőle elvárt szilárdsági követelményeknek, ami a végtermék nemmegfeleléséhez vezet.

3. Lézersugaras felülettisztítás

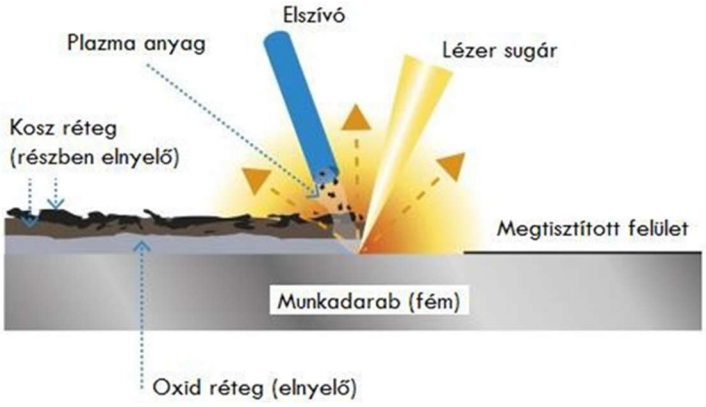
Az iparban a lézersugarat hegesztésre [6] és vágásra használják, de ezek mellett egy forradalmian új technológia az iparban és a közéletben is lézersugaras felülettisztítás. A technológia alapja, hogy a lézersugár pontos paramétereinek beállítása után a kezelendő felületet úgy „bombázzuk meg" lézersugarakkal, hogy az csak a külső, a felületen lévő szennyeződést „robbantja le". Ezzel az eljárással egy olyan roncsolásmentes tisztítási módszert hozunk létre, amely az elkövetkezendő évtizedben hatalmas potenciállal rendelkezik. A lézeres technológia sokrétű paraméterei miatt a beállításaink száma a végtelenhez közelít, ez azért nagyon lényeges, mert így gyakorlatilag bármilyen felület tisztítását el tudjuk végezni. [7]

Annak érdekében, hogy a felületen tartós hatás jöjjön létre, először a lézersugárzásnak kell elnyelődnie az anyagban. A lézernyaláb és az anyag közötti kölcsönhatás függ a sugárparaméterektől, mint például a hullámhossz és a teljesítmény, valamint az anyag fizikai és kémiai tulajdonságaitól. Amikor egy lézernyaláb találkozik két közeg határával, mint például a levegő és a kő közötti határral, akkor a sugár egy része visszatükröződik, a maradék pedig felszívódik (feltételezve, hogy nem halad át az anyagon). A visszaverődő energiát „r" reflexiós képességének nevezzük, a felületben elnyelődő energiát pedig „a" abszorpciónak. Az a + r = 1 feltétel mindig teljesül. Az abszorpció mértéke két fő változótól függ: a lézer sugárzás hullámhosszától és az anyag tulajdonságaitól. Az abszorpciós képesség a felületi érdességtől is függ. Egy durva, diffúz módon visszatükröző felület nagyobb energiát vesz fel egy lézernyalábban, mint ugyanazon anyag sima, spekulárisan (tükörként) tükröző felülete (lásd a 2. ábrát). [8, 11, 12, 13, 16]



2. ábra. Spekuláris és diffúz tükröződés egy felületről. [8]

Minden egyes felülettisztító lézeres eljárás közös tulajdonsága, hogy nagy teljesítményű, de rövid impulzus ütemeket használ. A folyamatos ütemű felülettisztítási eljárás még nem dolgoztak ki, hiszen a rövid impulzusok paramétereit könnyebb beállítani. A rövid impulzusú lézer bombák hatására a felületről a szennyeződés egy része teljesen elpárolog, megsemmisül, a másik része pedig porrá válik, amelyet akár egy szűrőrendszerrel könnyedén elvezethetünk. [9,10,11,12,13,17]



3. ábra. Rozsda eltávolítása lézeres technológiával [7]

Két határozottan különböző lézertisztítási módszert tudunk megkülönböztetni egymástól. Az első, a már fentebb említett eset, amikor a szennyeződés a munkadarab közvetlen felületén helyezkedik el. Ebben az esetben a szennyeződés kémiai és fizikai összetétele teljesen különböző a felületétől. Az eltávolítás során a munkadarabban nem történik semmilyen termikus, kémiai vagy mechanikai behatás. A 3. ábrán egy fém felületről történő rozsda eltávolításának elvét láthatjuk, az előbbiekben leírtak szerint. A második esetben már a szennyeződés mélyen beágyazódott a felületbe. Ebben az esetben a teljes felső réteg

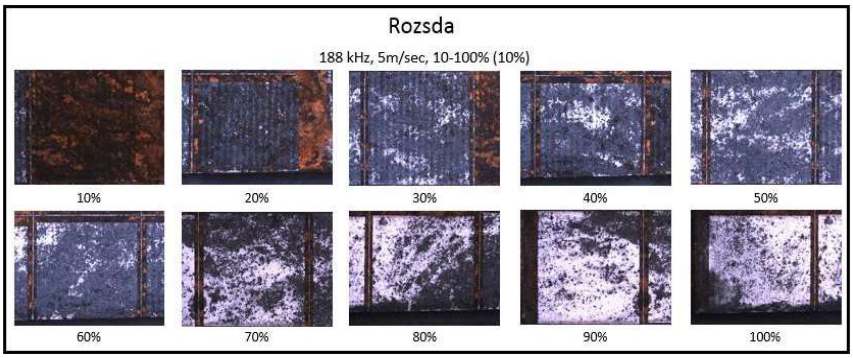
eltávolításával történik meg a tisztítás, viszont itt már nem beszélhetünk teljes mértékben roncsolásmentes tisztításról.

Negatívumaként a technológiának fel lehet hozni viszont a magas beszerzési árát. Szerintem ez a beszerzési ár az évek múlásával és módszer fejlődésével egyszer akár olyan alacsonnyá is válhat, hogy a mindennapokban és háztartásban is ezt fogjuk tudni használni.

Mint fentebb említettem, hogy gyakorlatilag bármilyen anyagú felületen lehet a lézerrel tisztítás végezni, figyelembe véve a megfelelő beállításokat. Az iparban a félkész és kész termékek, a szerszámok, és egyéb eszközök tisztítására egyaránt megfelel. A repülőgépeket, sőt a műtárgyakat is lézerrel tisztítják már napjainkban. Az építőiparban is használják homlokzatok tisztítására. A technológia felhasználhatósága igen tágas, és még koránt sem teljesen kiaknázott.

4. Felületkezelés eredménye

Az előkészített munkadarabokat először egyesével a femtoszekundumos lézer munkaasztalára helyeztem, majd beállítottam a fókusztávolságot. A tisztító program paramétereinek a 188 kHz-et és 5 m/s pásztázási sebességet választottam. A lézer teljesítménye folyamatosan változott a munkaterületeken, a 100%-os vizsgálati területen a teljesítmény a gép által leadható maximum volt. A lézeres program lefutása után a munkadarabokat egyesével újra megvizsgáltam a sztereó mikroszkóp alatt. A következőkben a kapott eredményeket sorolom fel és értékelem ki.



4. ábra. Rozsdával szennyezett felület a tisztítás után

A rozsda eltávolítása közben jól meg lehet figyelni, hogy ahogyan emeljük a teljesítményt fokozatosan tisztább felületet kapunk. Kis teljesítmény mellett a rozsdának csak a legfelső, vöröses színű része tűnik el. A képeken jól látszik a lézer haladása által hagyott vonalkák is, amit fentebb már említettem. Meg kell jegyezni a rozsdás szennyeződések esetében azt, hogy a kémiai reakciók miatt az

anyag természetesen károsodik, és ezt különböző rétegekben teszi meg. A tisztítás során nekünk a legalsó, még ép rétegig kell eljutnunk. A 20-60-ig tartó teljesítmény tartományban a legfelső vöröses réteg már eltűnik, de a felületen még túlnyomóan egy sötétebb szürke színű korrózió látható. Ezek eltávolítása a teljesítmény emelésével megvalósítható, de itt már figyelnünk kell arra, hogy közben a felületet ne károsítsuk, hiszen a korróziók milliméterről millimétere más mélységben helyezkednek el a felületen. A teljesítmény növelése helyett a megoldás a paramétereken való változtatás.

5. Összegzés

Összegzésként elmondható, hogy vizsgálataim sikeres voltak. Mint ahogy a 4. ábrán is látható a vörös réteg eltávolítása már az alsóbb teljesítmény tartományokban is sikeres volt. A fémes színű réteget azonban a jelen paraméterekkel még nem sikerült elérni. Itt a teljesítmény növekedése mellett a további paramétereket is változtatni szükséges.

IRODALOM

[1] John B. Durkee: Management of Industrial Cleaning Technology and Processes. Elsevier Science, Oxford, 2006.

[2] J.U. Burnham: Radiation Protection: Point Lepreau Generating Station. NB Power, Canada, 1986

[3] Kovács, Zs F; Viharos, Zs J; Kodácsy, J (2021): The effect of Magnetic Assisted Ball Burnishing on the corrosion resistance of C45 steel, In Advances in Manufacturing Engineering and Materials II: Proceedings of the International Conference on Manufacturing Engineering and Materials (ICMEM 2020), 21–25 June, 2021, Nový Smokovec, Slovakia, (pp 236-248). Springer International Publishing

[4] Kovács, Zs F; Károly, D; Károly, P B; Kemény, D; Kodácsy, J; Viharos, Zs J (2020): Mágneses erővel történő felülethengerlés hatása a felületérdességre és a korrózióra C45 acélon, GRADUS 7:2, pp. 366-373.

[5] Dr. Csákvári B.: Bevezetés a szervetlen kémiába. Tankönyvkiadó, Budapest, 1981.

[6] Kovács, Zsolt Ferenc; Béres, Gábor; Weltsch, Zoltán (2017): Autóipari DC és DP acélok lézersugaras hegeszthetőségének vizsgálata, GRADUS 4:2, pp. 311-317.

[7] Bindi Bt.: Lézeres Felülettisztítás

[8] Martin Cooper: Laser Cleaning in Conservation, Butterworth-Heinemann, 1998

[9] TWI-Global: Laser Surface Cleaning

[10] W. Zapka, A.C. Tam, és W. Ziemlich: Microelectronic Engineering, 1991. (547-550. o.): Laser cleaning of wafer surfaces and lithography masks

[11] Kun, K., & Weltsch, Z. (2021). Effect of Femtosecond-Laser-Structured Injection Molding Tool on Mechanical Properties of the Manufactured Product. Polymers, 13(13), 2187.

[12] Kun, K., Líska, J., & Weltsch, Z. (2021). Replication of Microstructures Formed by Femtosecond Laser During Injection Moulding. In Advances in Manufacturing Engineering and Materials II: Proceedings of the International Conference on Manufacturing Engineering and Materials (ICMEM 2020), 21–25 June, 2021, Nový Smokovec, Slovakia (pp. 290-300). Springer International Publishing

[13] Kun, K. (2021). Design of an Experimental Injection Moulding Tool for Testing Microstructured Cavity Surfaces. Acta Materialia Transylvanica, 4(2), 97-102.

[14] Ádámné Major, A. (2017). Interesting behavior of polymers containing multiwall carbon nanotubes. IOP Conference Series: materials Science and Engineering 1: (1) paper 012027

[15] Hepp, B., Ádámné Major, A., Lantos, G. (2017). Reverse engineering process of yarn strengthened pressure regulator diaphragms. Vehovszky, B., Takács, J., Bán, K. (szerk.) 34th international Colloquium on Advanced Manufacturing and Repairing Technologies in Vehicle Industry. pp. 57-60.

[16] Weltsch, Z. (2018). Comparative study of the joining technologies of vehicle bodywork sheets. IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING, 448. http://doi.org/10.1088/1757-899X/448/1/012061

[17] Weltsch, Z., & Lovas, A. (2013). The Relation between the Surface Tension and the Bulk Properties of Diluted Silver Based Melts. MATERIALS SCIENCE FORUM, 729, 19–24. http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.729.19

Kovácsolt termék robot-automatizált gyártásának előkészítése

Preparation of robot-assisted manufacturing process for forged product

Horváth Árpád, Béres Gábor József [1*]

[1] Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék

Összefoglaló (absztrakt)

A kovácsolással történő alkatrészgyártás folyamata már egy több évszázada ismert technológia. Az idők során bekövetkezett ipari fejlődés hatására azonban, a kovácsolási technológiák és a gyártóeszközök is jelentős fejlődésen mentek keresztül, és ma már nem elképzelhetetlen a kovácsolás robottal történő automatizálása. Az ilyen rendszerre történő átállás azonban, főleg olyan környezetben, ahol jelenleg még kézi kovácsolás zajlik, nagy kihívások elé állítja a mérnökeket. Ebben a cikkben, egy ilyen átállás során tapasztalt technológiai szemléletváltás kis részletét mutatjuk be, a technológiai folyamattervezés szintjén.

Kulcsszavak: kovácsolás, technológiai folyamattervezés, robot-automatizált gyártás

Summary

The production technology of forging has been known for centuries. Over the time, both the forging technologies and the production tools were highly developed due to the industrial improvements. As a result, the forging technology is no longer unthinkable anymore in robot-assisted automated ways. However, such a rearrangement means a great challenge of engineers, especially in such cases, in which manual-forging is still existing. This manuscript shows a little segment of this kind of attitude change through the investigation of the manufacturing equipment, in the level of the process planning.

Keywords: forging, technological process planning, robot-assisted manufacturing

1. Bevezetés

A hidegképlékenyen alakító eljárásokkal [1, 2, 3] és melegen alakító eljárásokkal pl a süllyesztékes kovácsolással előállított termékekkel szemben a követelmények

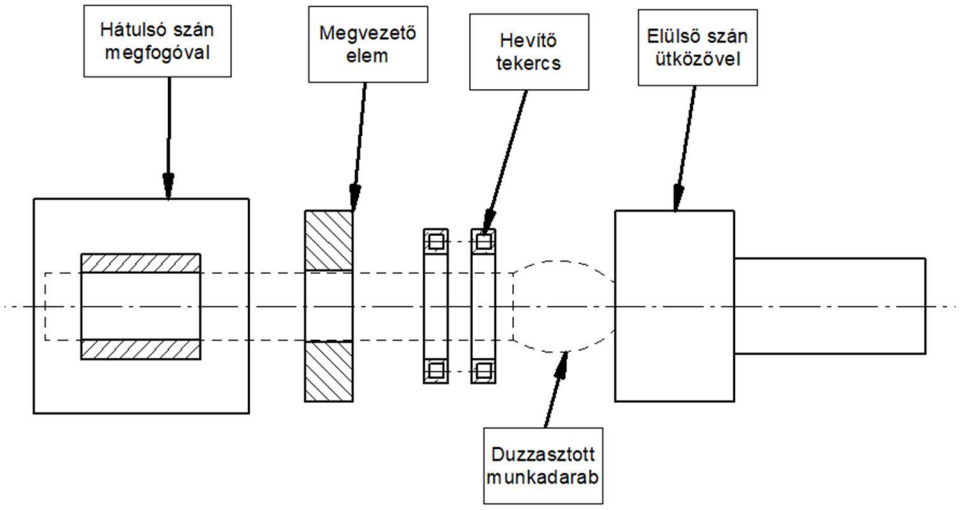
a legtöbb esetben nagy kihívások elé állítják a mérnököket. Fontos szempont a kiváló felületi minőség, a megfelelő szerszámélettartam és nem utolsó sorban a geometria méretek stabil fenntartása. Ezen felül a különböző termékek automata rendszerben történő gyártása pedig a technológia legmagasabb lépcsőjének elérését jelenti. A következő munka hűen szemlélteti, hogy egy kovácsdarab automata rendszerben történő gyártásának kezdeti lépései mekkora mértékű időráfordítást igényelnek.

2. Technológiai folyamattervezés

A nagy geometriai átmenettel rendelkező kovács termékek előállításához különféle duzzasztási előalakító műveleteket kell alkalmazni, melyekkel az alapanyagot megfelelően el lehet osztani a készre kovácsolás előtt. Ezek a technológiai lépések általában egy hevítési és egy alakítási ciklust tartalmaznak, melyek lehetnek:

- egy időben történő indukciós hevítés és képlékenyalakítás,
- egy időben történő ellenállás hevítés és képlékenyalakítás,
- illetve a felsoroltakhoz hasonlóan ugyan ezek, csak egymástól időben elkülönülve a két részfolyamat.

A mindennapokban, a felsorolt lehetőségek közül a legelső a legelterjedtebb. Az ilyen műveletet végrehajtó gépek egyik lehetséges felépítése az 1. ábrán látható.



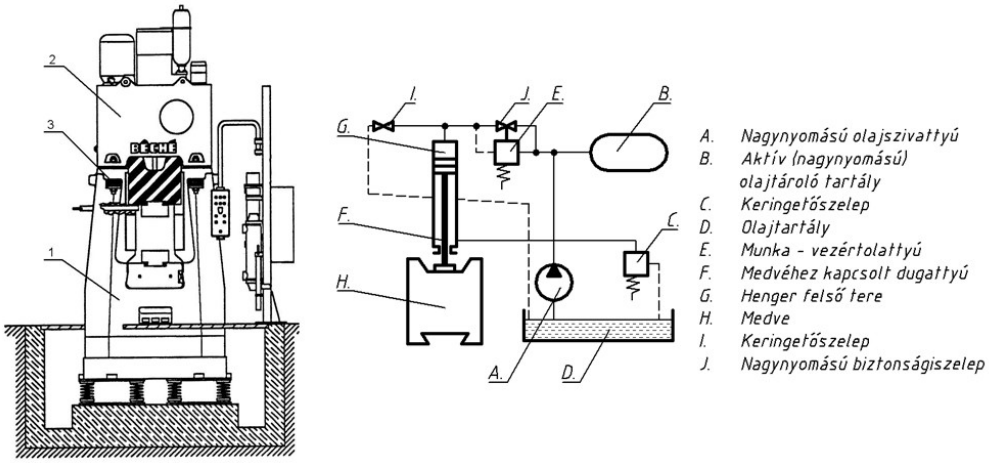
1. ábra. Indukciós duzzasztógép felépítése

A hevítési folyamat a következők szerint alakul. A nagy szánon levő satuba a duzzasztandó darabot kézzel behelyezzük, majd a satu a ciklus elindításával összezár. Következő lépésben a nagy szán egy programozott pozícióba hátra áll

úgy, hogy a darabunk legelejét hevíteni tudjuk. Ezek után a hevítés elkezdődik miközben a kis szán megközelíti a hevítő tekercset. Majd a folyamatos hevítés során a nagy szán a darabunkat a beállított paramétereknek megfelelően folyamatosan előtolja (a hevítés megkezdése után a darabunk legeleje felütközik a kis szán ütközőjén). A teljes hevítés során a kis szán is mozog úgy, hogy ellentart a nagy szánnak. A két szán előtolásának változtatásával tudjuk a duzzasztási geometriát változtatni. Az ehhez hasonló gépeken legtöbb esetben előállított duzzasztott geometria, a 2. ábrán levő darabbal szemléltethető kellőképpen.

2. ábra. Duzzasztott geometria

A felhevített és előalakított darabok végső alakadása számtalan típusú kovácsgéppel megtörténhet. A legelterjedtebbek ezek közül a hidraulikus kalapácsok. Az ezeknek a gépeknek az egyik lehetséges elvi felépítési vázlatuk a 3. ábrán látható.

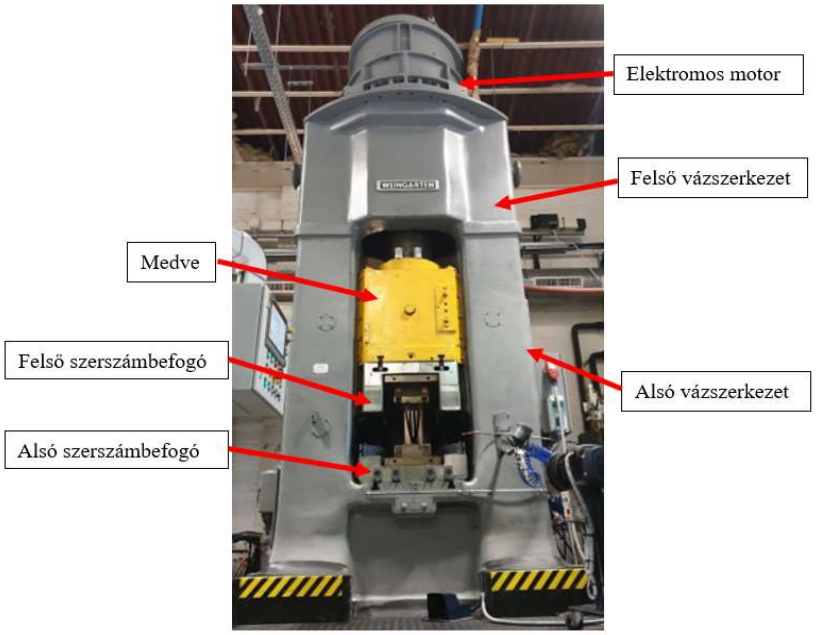


3. ábra. Hidraulikus kalapács elvi vázlata [4]

Az ezeknek a kovácsgépeknek a fő jellemzőjük, hogy rendkívül gyors dinamikus mozgással alakítják a termékeket. Ezen mozgás viszonynak az egyik legnagyobb hátránya, hogy az üregtöltést sok kisebb ütéssel lehetséges elérni, mivel a gép munkavégző képessége alacsony. Az ütések közben nagy dinamikus mozgás miatt a kovácsdarabok elmozdulnak az ideális pozíciójukból, melyet a kovácsnak kell

újra pozícionálnia a következő ütésig. A soron következő ütéshez való pozícionálás teljes mértékben változó, hiszen az előző ütéstől függ. E két hátrányos tulajdonságuk (dinamikus mozgás, sok kis ütés) miatt nem célszerű ezeket a kovácsgépeket automatizálni.

A termék automatizálásához első körben egy megfelelő mozgásviszonyú alakítógépet kell kiválasztani. Erre a feladatra az egyik legjobb választás a csavarorsós prés. Ezeknek a gépeknek főbb a tulajdonságaik a kalapácsokéval ellentétesek. A munkavégző képességük nagy, míg a mozgási sebességük jelentősen alacsonyabb. A prések jellemző felépítése a 4. ábrán látható.



4. ábra. Csavarorsós prés felépítése

A présgépek szerszám felfogatásának kialakítása befolyásolja az alakító szerszámok üregeinek tervezését (legfőbb mértékben azok pozícióját). A présgépek jellemző mozgásviszonya miatt a szerszámtervezőnek a szokásoktól eltérően, a munkadarab nem várt pontjain jelentkező problémával kell szembenéznie. A darabon azokban a pozíciókban, ahol az alakított anyagnak apró részleteket kell kitöltenie, nagy figyelmet kell fordítani az áthatások megtervezésére. E mellett pedig, számolni kell azzal, hogy az alakítás során az anyag nagymértékű axiális megnyúlást fog szenvedni. Ez a két jelenség

elsősorban üregtöltési problémákat okozhat. Ezt szemlélteti az 5. ábra, amely egy kovácsdarab nyak részén fellépő geometriai nem-megfelelősséget emel ki.

5. ábra. Anyaghiány

Az ábrán bemutatott anyagtöltési probléma elsősorban a sorjahíd megfelelő geometriai kiképzésével oldható meg, vagy csökkenthető.

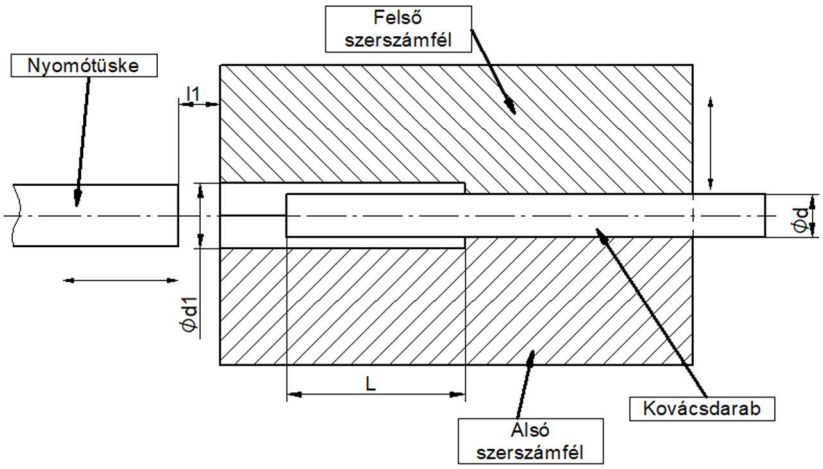
A csavarorsós présekaz esetek legnagyobb százalékában 2-3 ütéssel képesek a kovácsdarabok végső geometriáját kialakítani. Ez egyrészről előnyt jelent az automatizálásban, hiszen a pozícionálások száma ezáltal lecsökken, így sokkal kevesebb az ebből keletkezhető hiba. Másfelől pedig ez a szükséges ütésszám a ciklusidők csökkenését is magával hordozza.

A készre kovácsolási ciklusidő csökkenése, szükségessé teszi az előalakítási technológia felgyorsítását, hiszen annak hiányában a présben rejlő termelékenységi potenciált nem tudjuk kihasználni.

Az indukciós hevítést alkalmazó duzzasztó gépek erre, a termelékenység fokozásra nem alkalmasak, mivel ott a hevítés egy időben csak egy adott szakaszán történik a darabnak, illetve az indukciós hevítés alap tulajdonságai sem teszik a ciklusidők felgyorsítását lehetővé (nem teljes keresztmetszetben képződik a hő a munkadarabban).

A jelen automatizálási célokkal összhangban lévő termelékenységre alkalmas berendezések a vízszintes duzzasztógépek. Ezen gépek mozgási viszonyai egy

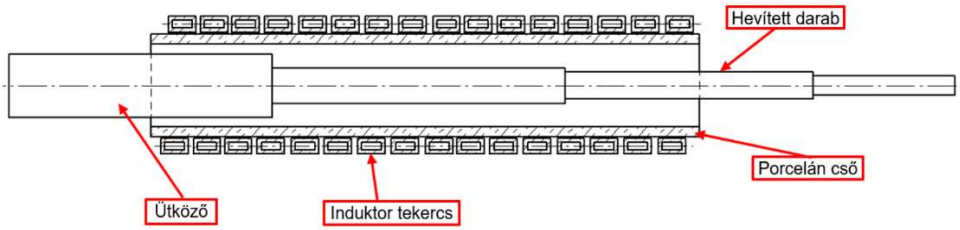
excenter mechanizmushoz hasonlíthatók. A szerszámkonstrukció elméleti vázlata, mellyel a szükséges duzzasztást el tudjuk készíteni, a 6. ábrán látható.



6. ábra. vízszintes duzzasztógép szerszámfelépítése

Az ilyen fajta duzzasztás működési folyamata a következők szerint alakul. Az alsó szerszámfélbe a darabunkat pozícionálva behelyezzük (a pozícionálás kialakításonként eltérő tud lenni, de az elmondható, hogy mindig fizikai ütközőt használunk). Következő lépésként a gépet működésbe hozva a felső szerszámfél rázár a darabunkra és így egyrészről biztosítva van a darab megfogása, valamint a két szerszámfél megalkotja a szükséges duzzasztási geometriát kialakító üreget. Majd a nyomótüske a kezdő pozíciójából végállásra mozog, közben pedig elvégzi a vízszintes duzzasztást. A szerszámzat megtervezése nagy odafigyelést igényel, hiszen bármely pozíciós hiba a gép összeszorulását eredményezheti, vagy valamely szerszám-, esetleg gépelem töréséhez tud vezetni. A leírt mozgások rendkívül gyorsan mennek végbe (megközelítőleg ~3 másodperc alatt).

Az előzőekben leírt duzzasztási típusok közül a mi esetünkben elkülönülve jelentkezik a hevítés és az előalakítás. A szükséges hevítés megtörténhet az indukciós hevítés módszerével, azonban nem a fent ismertetett kialakítású megoldással. Az úgynevezett alagút induktoros technológiát kell alkalmaznunk, melyet a 7. ábra szemléltet. Ebben az esetben a hevítendő részek egyidőben tudják elérni az alakítási hőmérsékletet, és így a hevítési idők a hagyományos esethez képest nagymértékben csökkenni tud.



7. ábra. Alagút induktor kialakítása

A bemutatott két berendezéssel és az ezekhez a technológiákhoz elkészült optimalizálással már biztosítani tudjuk az adott kovácstermék robottal automatizált gyártását. Ennek eredményeként egy közel 30%-os ciklusidő csökkenést tudunk elérni, mellyel jelentős mértékben lehetséges a termelékenységet fokozni, és a robot programozhatóságából adódó előnyöket is ki tudjuk használni a minőség folyamatos fenntartására, az emberi tényező kizárásával.

3. Összefoglalás

A leírtak alapján látható, hogy egy kovácsdarab gyártásának automatizálása egy nagy kihívást jelentő feladat, hiszen a technológiai- és szerszámtervek részletezése nélkül is nagy mennyiségű részfeladattal kell szembenéznünk már a folyamattervezés fázisában. Mindezek mellett egyértelműen tükröződik, hogy a munka során kiválasztott gépek megfelelőek lehetnek a robottal történő automatizálási célokra, hiszen egyrészről a szükséges gyorsaságot is el tudjuk érni a minőség csökkenése nélkül, másrészről pedig a véletlenszerű befolyásoló tényezők (melyek emberi beavatkozás rendelkezésre állása esetén természetesen nem jelentenének gondot) is minimalizálhatók.

IRODALOM

[1] Kovács, Zs F; Viharos, Zs J; Kodácsy, J: Surface flatness and roughness evolution after magnetic assisted ball burnishing of magnetizable and non-magnetizable materials, Measurement vol. 158, Paper: 107750, (2020)

[2] Kovács, Zs F; Viharos, Zs J; Kodácsy, J: Determination of the working gap and optimal machining parameters for magnetic assisted ball burnishing, Measurement vol. 118, pp. 172-180. (2018)

[3] János, Kodácsy; János, Líska; Zsolt, Kovács: Surface finishing by roller burnishing using apparatus of permanent magnet, Tehnicki vjesnik-technical gazette vol. 24, pp. 49-54. (2017)

[4] Béché & Grohs GmbH: Bedienungsanleitung Kurzhubgesenkhammer KGH 2,5B, 1995

[5] Ádámné Major, A. (2017). Interesting behavior of polymers containing multiwall carbon nanotubes. IOP Conference Series: materials Science and Engineering 1: (1) paper 012027

[6] Hepp, B., Ádámné Major, A., Lantos, G. (2017). Reverse engineering process of yarn strengthened pressure regulator diaphragms. Vehovszky, B., Takács, J., Bán, K. (szerk.) 34th international Colloquium on Advanced Manufacturing and Repairing Technologies in Vehicle Industry. pp. 57-60.

A kisciklusú fárasztóvizsgálatok alkalmazása

Application of low-cycle fatigue

Kis Dávid [1*], Klam Kitti [1]

[1] Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék

Összefoglaló (absztrakt)

A berendezéseket, alkatrészeket az esetek többségében folyáshatárra méretezik, élettartamuk meghatározását pedig kifáradási határdiagramok segítségével végzik. A növekvő követelmények arra kényszerítik a gyártókat, hogy növeljék termékeik terhelhetőségét, ami a hagyományos – és gyakran alkalmazott – tervezési folyamatokon már olykor túlmutat. Gyakran előfordul, hogy a helyes tervezés ellenére, a bevett mérnöki gyakorlatban nem becsülhető körülmények miatt rövidebb a termékek élettartama, mint amire számítanak. Ezért fontos áttekinteni a tervezés, gyártás és felhasználás során felmerülő olyan tényezőket, amelyekkel a konvencionális mérnöki gyakorlatban alkalmazott tervezési módszerek nem, vagy kevésbé számolnak. Irodalomkutatásunk során a kisciklusú fárasztó vizsgálatokkal foglalkoztunk, amelyek számos többlet információval egészítik ki a Wöhler módszeren alapuló fárasztó vizsgálatokat.

Kulcsszavak: kifáradás, kisciklusú fárasztás, ciklikus folyásgörbe

Summary

In traditional mechanical engineering practice, products are designed by yield strength, and fatigue life is concluded from fatigue limit diagrams. Growing customer requirements force the manufacturers to increase the load capacity of their products, which sometimes goes beyond traditional engineering methods. In many cases fatigue life of products turns out to be lower than expected, despite proper design. The reason is, that there are circumstances that normal engineering practice does not take into account. It is important to study those factors that are not recognized in conventional design methods. In this review low-cycle fatigue is investigated, which provides additional information to Wohler fatigue test data, thus helps engineers to increase the fatigue life of their products.

Keywords: fatigue, low-cycle fatigue, cyclic stress-strain curve

1. Bevezetés

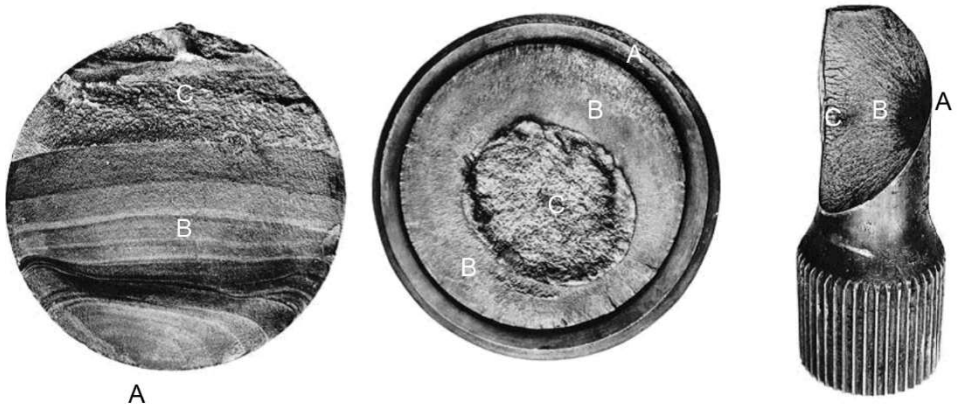
Komplex alkatrészek esetén a valódi mechanikai állapot és a tervezés során használt modell között jelentős különbségek lehetnek. Bonyolult keresztmetszet változásoknál a méretezéshez használt alakténye zők csak pontatlanul közelítenek. A valódi feszültségi és alakváltozási állapotot a mérnöki tervezés során ritkán veszik figyelembe. További bizonytalanságot jelent az anyagjellemzők pontos ismeretének hiánya. A bizonytalanságokat részben azzal egyszerűsítik, hogy az általános tervezési gyakorlatban a mérnöki mérőszámok magasabbak a valódi jellemzőknél.

További hibalehetőség, hogy a gyakorlatban homogénnek tekintjük az alapanyagot, és ebben a feltételezésben a leggyakoribb problémát az anyagfolytonossági hibák jelentik. A gyártás közben is jelentkeznek olyan tényezők, amelyekkel sokszor nem számolnak. Ilyenek a mechanikai és megmunkálási technológiák során jelentkező maradó feszültségek és anyagfolytonossági hibák. Az alkatrész üzemelése során is jelentkezhetnek olyan extra körülmények, amelyek a tervező számára ismeretlenek vagy nem meghatározhatóak. A felsorolt tényezők indokolják, hogy az élettartam vizsgálat a mai napig fejlődő tudomány. A felsoroltokon túl kihívást jelent az egyre gyorsuló ipari fejlesztéseket olyan élettartam vizsgálati módszerekkel kiszolgálni, amelyek rövid idő alatt kiértékelhetők és jól összehasonlítható eredményeket biztosítanak.

2. A nagyciklusú fárasztás alapjai

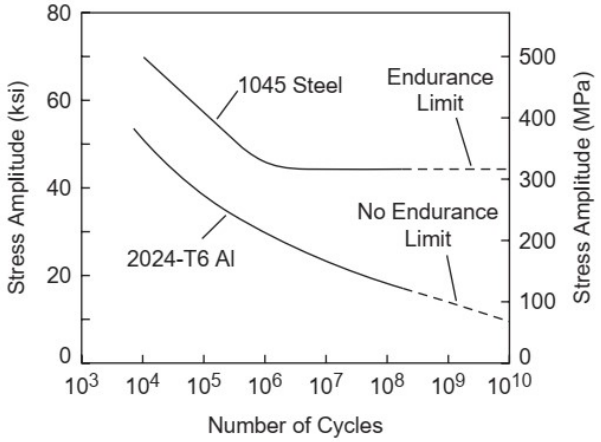
A szerkezeti alkatrészek sokszor olyan változó nagyságú, ismétlődő igénybevételnek vannak kitéve, amelynek értéke a folyáshatárt el sem éri, mégis az alkatrész a nagyszámú ismételt terhelés hatására eltörik. Ezt nevezik kifáradásnak, amelyet August Wöhler fogalmazott meg először a XIX. században vasúti tengelyek tönkrementeleivel kapcsolatban. A repedés keletkezés és terjedés fázisainak felismerésével jutottak el a kifáradási határra történt méretezés gyakorlati alkalmazásáig.

Az 1. ábra bal oldalán látható törés a külső felület egy pontja (A) körül gyűrűsen terjedő sima töretfelületet (B) mutat, míg a keresztmetszet másik fele szemcsés töret (C). A gyűrűs töretfelület a külső felület feszültséggyűjtő pontjából induló és a terhelés ismétlődése során gyűrűsen terjedő interkrisztallin fáradt törés. Amikor a megmaradó keresztmetszet már nem bírja a statikus terhelést, egy ütő hatásra ridegen interkrisztallin eltörik. Középen olyan fáradt törést látunk, ahol a feszültség halmozódás a keresztmetszet egész kerületén megjelent. A forrása lehet például megmunkálási nyom, és ennek hatására az interkrisztallin fáradt törés egyszerre indul meg a kerület mentén [4].



1. ábra. Tengelyek jellegzetes fáradt törése: A-repedés kezdete, B-repedés terjedése, C-törés [3]

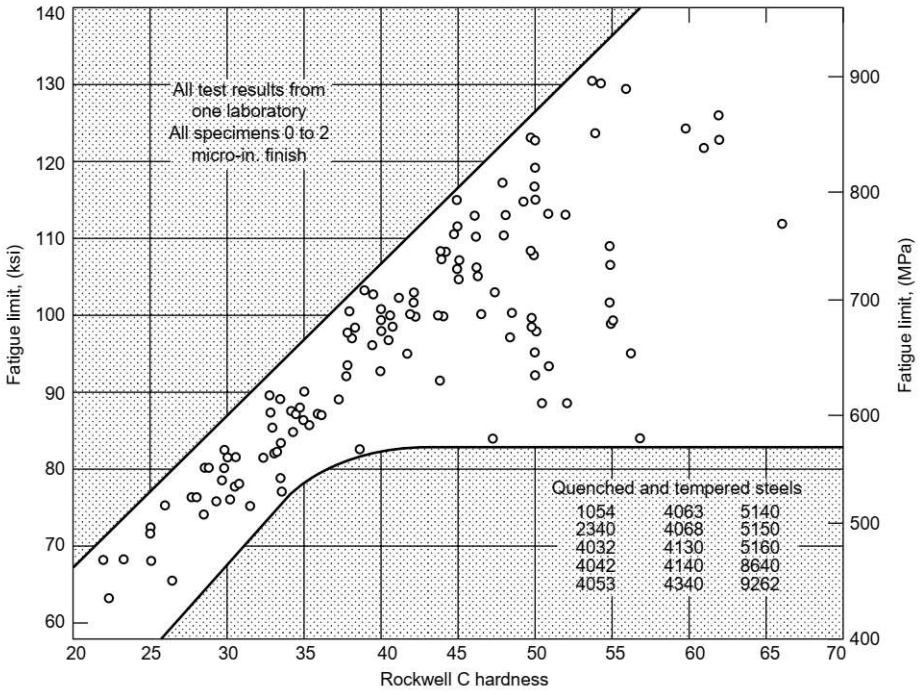
A kifáradási határfeszültség a folyáshatárnál kisebb feszültség, amely alatt bármilyen nagyszámú terhelés ismétlés hatására sem törik el az alapanyag. A kifáradási határnál valamivel nagyobb ismételt igénybevétel egy N ismétlési szám után törést fog okozni. Mivel a terhelések ismétlésszáma nem lehet végtelen, a gyakorlatban egy elég nagy számot határoznak meg arra az igénybevétel számra, amely mellett a kifáradási határfeszültséggel való terheléskor törésnek nem szabad bekövetkeznie. Acéloknál 10^7, egyéb fémeknél 5x10^7.



2. ábra. Alumínium és acél ötvözet Wöhler-görbéjének összehasonlítása [8]

A szilárdságnövelés alapvetően növeli a kifáradási határt [5, 10]. A 2. ábrán 1400 MPa folyáshatárú acél és 480 MPa folyáshatárú alumínium ötvözet Wöhler görbéit láthatjuk. Megjegyezzük, hogy azontúl, hogy az acél próbatest élettartam értékei magasabbak, rendelkezik kifáradási határral, ami alatti feszültségen soha nem következik be tönkremenetel. Alumínium ötvözeteknél ilyen nincs [8].

Egyenes kapcsolat van az acélok szilárdsága és élettartama között, azonban nem tanácsos a lehető legnagyobb szilárdságú acélt választani egy adott feladatra, mivel a magas szilárdság a szívósságot rontja. Továbbá a környezeti hatásokra is érzékenyebbé válik, vagyis fokozódik a felületi sérülések, maradó feszültség és belső anyagfolytonossági hibák élettartam csökkentő hatása. Ezt szemlélteti a 3. ábra [8].



3. ábra. Acélok kifáradási határának és keménységének kapcsolata [8]

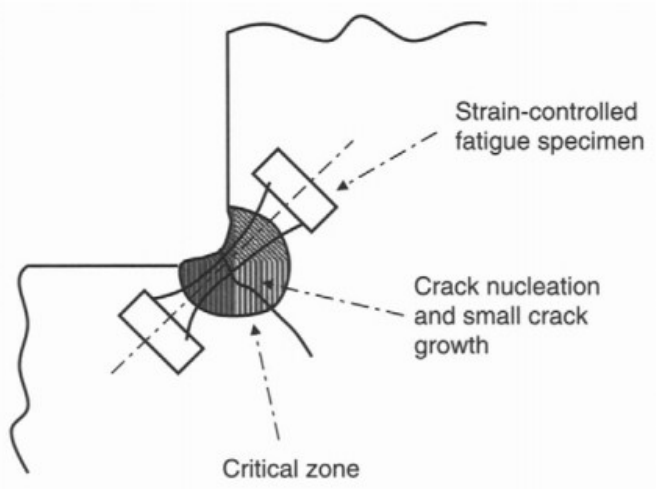
A legrégebb óta alkalmazott fárasztógépek forgó-hajtogató elven működnek. Az ezekkel felvett fárasztóvizsgálatok zömében 0 MPa középfeszültséget alkalmaztak. Azonban a középfeszültségről tudni kell, hogy értéke a valóságban gyakran nem nulla, és növekedésével jelentősen romlik a kifáradási határ [8].

3. A kisciklusú fárasztás alapjai

Az előző fejezetben tulajdonképpen a feszültségamplitúdó-élettartam (stress-life) módszert mutattuk be. Ez jól működik olyan fáradások esetén, amikor csak rugalmas feszültségek és alakváltozások lépnek fel. Habár az alkatrészek egésze látszólag rugalmas ismétlődő igénybevételnek van kitéve, de a bemetszések, hegesztések és más feszültséggyűjtő helyek helyi túlterhelésével a szívós anyagok képlékeny alakváltozást szenvednek. Ez a hatás egyszeri statikus esetben a teherviselő képesség növekedésén keresztül kedvező hatású is lehet. Ezt a gyártástechnológia során tervezetten ki is használhatják (pl. hidegalakítással, szemcseszórással). Azonban, ha ezek a hatások kedvezőtlenül többször ismétlődnek, akkor az a feszültséggyűjtő helyeken a képlékeny alakváltozás ismétlődéséhez vezet. Ez a hatás viszonylag kis számú ismétlés után repedések kialakulásához, végül töréshez vezet. Ha a túlterhelés véletlenszerűen látens módon következik be, akkor a tervezett körülmények ilyen jellegű eltérése korai tönkremenetelhez vezethet.

A kifáradás fogalmának megalapozása után elkezdték a Wöhler görbe kiterjesztését a kis ciklusszámú, a rugalmasnál nagyobb terhelések irányába az 1950-es években. Az irodalmak a kisciklusú fárasztások tartományát a 10^2 és 10^4 ismétlésszámok közé teszik. Mivel a kisciklusú fáradás elmélete a keresztmetszetek helyi túlterhelését és képlékeny alakváltozását feltételezi, ezért az angol irodalmak helyi kifáradás (local strain-life method) elnevezéssel is illetik a módszert [1,4].

A kisciklusú fárasztó vizsgálatot arra a feltételezésre alapozzák, hogy az alkatrész repedésképződéséhez tartozó élettartam származtatható egy olyan sima felületű próbatestből, amely ugyanazt a ciklikus deformációt kapja, mint az a lokális feszültséggyűjtő hely, ahol a mikrorepedések keletkeznek. Ezt szemlélteti be a 4. ábra. Ezzel a módszerrel meghatározható az élettartam egy ciklikusan terhelt alkatrész adott pontjában, amennyiben ismert kapcsolat van a helyi alakváltozás és az élettartam között. Az alakváltozás - élettartam közötti kapcsolatot leíró görbe egy sima felületű próbatest alakváltozásra vezérelt tengelyirányú fárasztó vizsgálatával határozható meg. A kisciklusú fárasztás módszert főleg akkor alkalmazzák, amikor a terhelés lefutás rendszertelen, random. A vizsgálatot még az alkatrészek tervezési fázisában szokták alkalmazni többféle geometriai és gyártástechnológiai variánsokra. Ez felgyorsíthatja a topológiai iterálást, és a tervezési folyamatot [4].



4. ábra. A kisciklusú fáradásnál használt próbatest elve [4]

Mivel a laborvizsgálat körülményei el fognak térni a valódi termék tulajdonságaitól – mint például geometria, felületi érdesség, maradó feszültség, hidegalakításból és hegesztésből eredő anyagtulajdonság-változások – a kisciklusú fárasztás eredménye nem minden esetben tükrözi a valóságot. Segítség lehet, hogy ha például a próbatest felületi minősége azonos a kész termékével. Azonban fontos tisztázni, hogy nem valós élettartam érték meghatározása a cél, hanem élettartamra utaló anyagjellemzők meghatározása [4].

Kisciklusú fárasztásnál a képlékeny alakváltozás miatt a feszültség és alakváltozás közötti kapcsolat ciklusonként változik. El kell dönteni melyiket tartjuk állandó értéken. Kis terhelésnél nagyciklusú fárasztás során az állandó feszültség amplitúdójú módszer jól alkalmazható, de kisciklusú fárasztásnál a képlékeny alakváltozás miatt bonyolult a kivitelezése, ezért nem elterjedt. Létezhet még állandó képlékeny alakváltozás amplitúdójú vizsgálat is, azonban ennek szintén bonyolult a kivitelezése. Ehelyett az állandó teljes alakváltozás amplitúdójú vizsgálatok terjedtek el, és azok megbízhatóan alkalmazhatóak.

Amikor az alapanyagot tisztán lengő, állandó alakváltozás amplitúdójú ciklikus igénybevétel éri, akkor ciklikus keményedés, lágyulás, stabilitás vagy ezek együttese léphet fel. Az 5. és 6. ábrák sorrendben a keményedő és lágyuló anyagok kisciklusú fárasztásának átmeneti, tranziens ciklusaira mutatnak példát. Mindkét esetben megfigyelhető, hogy a ciklusszám növekedésével a függő változók egy határértékhez tartanak, és a változás egy határon túl már nem érzékelhető. Ezt nevezik telítődésnek, és az élettartam első 10-20%-ban lejátszódik [4]. Teljes alakváltozás amplitúdó vezérlés esetén az N ciklusszám növekedésével

keményedő anyagnál a feszültség amplitúdó növekszik és a képlékeny alakváltozás amplitúdó csökken. Lágyuló anyagnál pedig a feszültség amplitúdó csökken és a képlékeny alakváltozás amplitúdó növekszik [1].

A kisciklusú fárasztása kezdetén az tapasztalható makroszkópikus szinten, hogy az első félciklusban bekövetkező alakváltozás kezdetben rugalmas, majd átmegy képlékenybe. A próbatestet tehermentesítve, maradó nyúlást észlelünk. Ahhoz, hogy az eredeti méretét nyerje vissza, a próbatestet nyomó igénybevételnek tesszük ki, aminek további növelésével a próbatest rövidül. A nyomó terhelés megszűnésekor a próbatest hossza a kiindulónál rövidebb lesz. Az ismételt húzó terhelés hatására elérjük a próbatest eredeti hosszát. A feszültség-alakváltozás folyamatát ábrázolva hiszterézis görbét kapunk. Összehasonlításképp nagyciklusú fárasztás esetén a terhelés kicsi, makroszkópikus maradó alakváltozás nem következik be. Ilyenkor a hiszterézis görbe egyenes, azaz csak rugalmas szakasza van. A rugalmas alakváltozás miatt az alakváltozás és a feszültség viszonya lineáris, ezért mindegy, hogy állandó feszültség vagy alakváltozás vezérlésre állítjuk be a vizsgálatokat [1].

A teljes alakváltozás amplitúdó 2 részből áll: rugalmas és képlékeny alakváltozás amplitúdó. A teljes hiszterézis görbe területe arányos a befektetett munkával, amelynek egy része hővé alakul, a másik az anyagban mikroszerkezeti változást okoz, és repedésekhez, töréshez vezet [1].

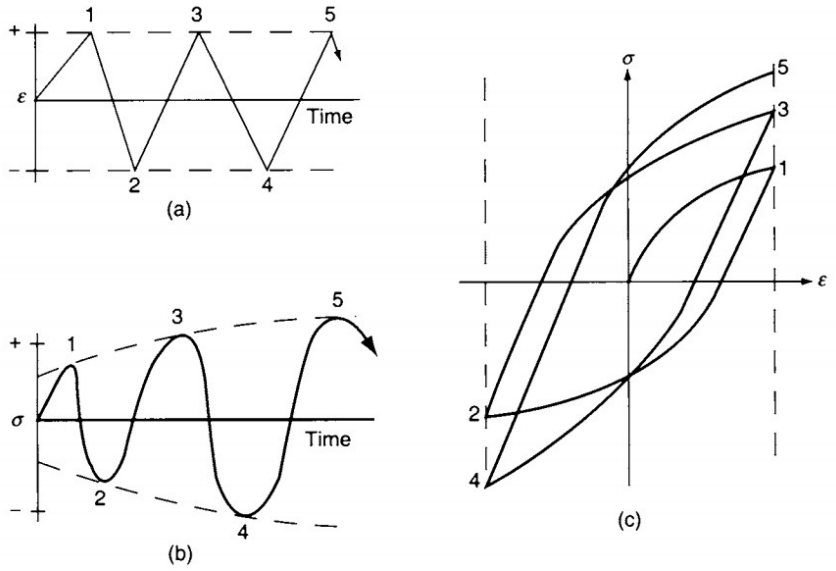
A telítődést követően beálló állandósult hiszterézis görbével jellemezhető a próbatest élettartama. Jellemzői a teljes alakváltozás tartomány ($\Delta\varepsilon$) és teljes feszültség tartomány ($\Delta\sigma$). Általában az állandósult hiszterézis görbét a teljes élettartam 50%-nál ragadják ki [4].

Az állandósult hiszterézis görbékből nyerhető információk:

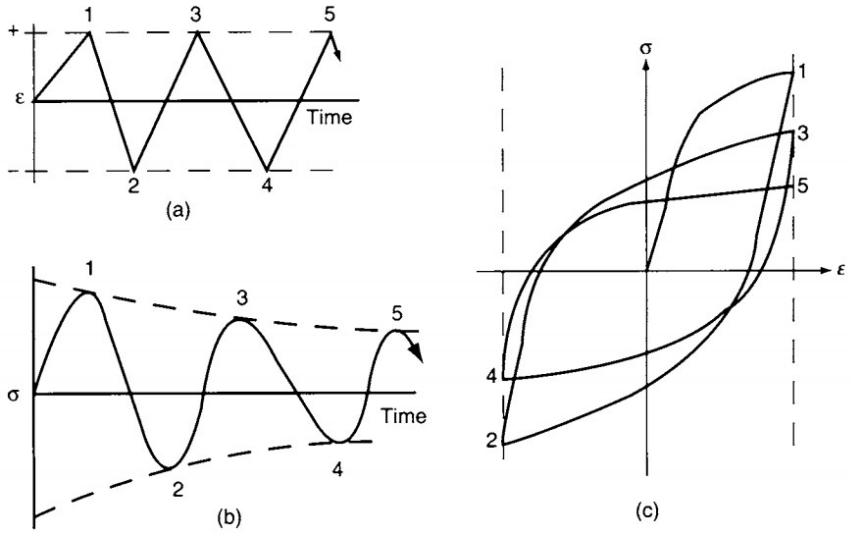
– σ_y' - 0,2% maradó alakváltozáshoz tartozó ciklikus folyáshatár

– K’ – ciklikus szilárdsági konstans

– n’ – ciklikus keményedési kitevő

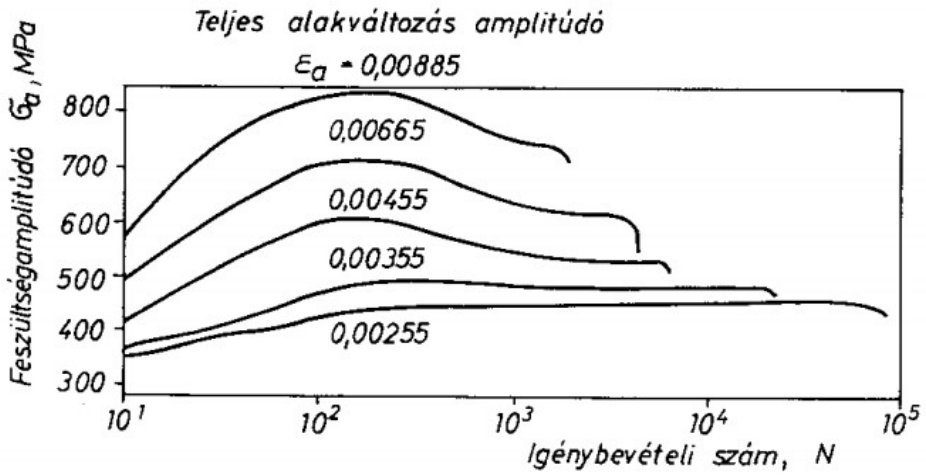


5. ábra. Keményedő anyag állandó teljes alakváltozás amplitúdójú fárasztóvizsgálat kezdeti szakasza (σ és ε valódi mérőszámok) [4]



6. ábra. Lágyuló anyag állandó teljes alakváltozás amplitúdójú fárasztóvizsgálat kezdeti szakasza (σ és ε valódi mérőszámok) [4]

Keményedő anyag kisciklusú fárasztását mutatja be a 7. ábra a feszültség, alakváltozás és igénybevétel szám kapcsolatában. A vizsgálatot a teljes alakváltozás amplitúdóra vezérlik. A fárasztás kezdetén a feszültségamplitúdó nő a keményedés következtében, majd elér egy közel maximális értéket, amely a nagyobb alakváltozás amplitúdók felé csökkenni kezd a repedések megjelenésével [1].



7. ábra. Korrózióálló acél teljes alakváltozás amplitúdóra vezérelt kisciklusú fárasztása: alakváltozás amplitúdók és feszültség amplitúdók kapcsolata a ciklusszámmal [1]

Az [1,4] irodalmakban összefoglalt eredmények alapján az alábbi következtetések vonhatók le a különféle anyagok kisciklusú fáradására vonatkozóan:

– A ciklikus keményedés lágyított, míg a lágyulás valamilyen módon keményített (hidegalakítás, martenzitesre edzett, kiválásosan keményített) fémek esetén lép fel. Erre szakítódiagramból is lehet következtetni. Rm/Rp02>1,4 esetén a fáradás során keményedni fog, Rm/Rp02<1,2 esetén lágyulni fog. 1,2<Rm/Rp02<1,4 között többé kevésbé stabilan fog viselkedni.

– A tranziens viselkedés a diszlokációk krisztalliton belüli elrendeződésének, szubszerkezetének stabilitására vezethető vissza. A hidegalakítás által felkeményedett fémek diszokáció sűrűsége a ciklikus alakítás hatására csökken, stabilizálódik, ezért csökken az ébredő feszültség. Ebből következik, hogy ha a kezdeti diszlokáció sűrűség alacsony, akkor a ciklikus terhelések

hatására nő a diszlokációs sűrűség, ezzel növelve a rugalmas feszültséget az alapanyagban.

– Azon fémek esetén, amelyeknél a keresztcsúszás könnyű (Al, Cu, Ni) a keményedés/lágyulás telítődése kisebb ciklusszámnál bekövetkezik, mint ahol a keresztcsúszás akadályozottabb (pl. ausztenites acél).

– Néhány anyag esetén a keményedés/lágyulás együtt lép fel, ilyen a legtöbb esetben használt acél.

5. A kisciklusú fárasztóvizsgálat alkalmazása

A kisciklusú vizsgálatok során keresett információk:

– Hiszterézis görbék, és azok változása

– Fáradási keményedés/lágyulás görbéi

– Ciklikus folyásgörbe

– Alakváltozás amplitúdók és feszültség amplitúdók kapcsolata a ciklusszámmal

Az állandó teljes alakváltozás amplitúdójú vizsgálatokhoz leggyakrabban húzó nyomó terhelést alkalmaznak, többek között azért, mert a keresztmetszet mentén állandóak a feszültségek, szemben a hajlítással, csavarással. A próbatest kialakítás főbb szempontjai:

– Termék mérete, alakja (lemez, rúd, cső)

– A vizsgáló berendezés méretei, pontossága, egyéb adottságai

– Nyúlásmérők, hossz és átmérőmérők kialakítása, mérete

– Egyszerű kialakítás, bonyolult szerszámok és készülékek elkerülésére

– Kihajlás elkerülése, zömök kialakítás

A próbatestek elvárt felületi minőségében vannak eltérő vélemények. [1] szerint a próbatestek felületi minősége nem olyan kritikus, mint nagyciklusú fárasztásnál, mivel a jelentős képlékeny alakváltozás hatására a palást, illetve oldalfelületek hibái már az első néhány ciklusban kisimulnak. Lee [4] szerint azonban a próbatesteket hosszirányban polírozni kell.

A vizsgáló berendezés nagy merevségű elektronikus vagy elektrohidraulikus kialakítású (lásd 8. ábra). A befogók merevek, lógásmentesek, és maximálisan biztosítják az egytengelyűséget. A vizsgálat részleteiről pontosabb képet adnak a [1,4] irodalmak és a szabványok (pl. ASTM E8M, ASTM 606).

8. ábra. MTS típusú elektrohidraulikus fárasztógép hidraulikus befogóval. Alkalmas nagyciklusú és kisciklusú fárasztásra egyaránt.

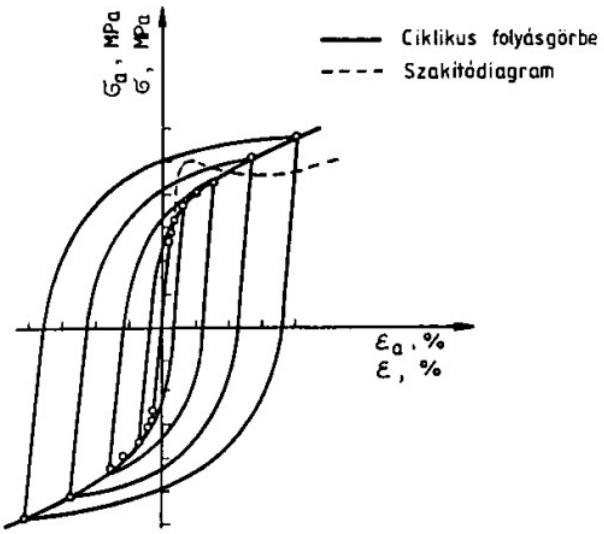
Az állandó alakváltozás amplitúdójú fárasztóvizsgálat körülményeit leírja az ASTM E606 szabvány. Általában legalább 18 próbatestet használnak, alakváltozás amplitúdónként 3 db-ot. A tönkremenetelt az az időpont határozza meg, ahol a feszültség 50%-t esik a kialakult repedések hatására. Az alakváltozás-idő hullámforma frekvenciája 0,2-3 Hz közötti. A szabvány szerint a frekvencia nem lehet olyan magas, hogy a próbatest hőmérséklete meghaladja a szobahőmérsékletet több, mint 2 °C-al [4].

A kisciklusú fárasztó vizsgálatok egyik fontos kimenete a ciklikus folyásgörbe. A ciklikus folyásgörbe értelmezéséhez alapvető a statikus szilárdsági jellemzők ismerete. Az alkatrészeket érő terhelések meghatározáskor fontos tisztában lenni a szakítódiagramból és a különböző folyásgörbékből kinyerhető valódi mérőszámokkal.

Azonos anyagú próbatestek különböző feszültség és alakváltozás amplitúdóval végzett fárasztó vizsgálatának állandósult hiszterézis görbéit egy diagramban ábrázolva, a csúcspontokat összekötve megkapjuk a ciklikus folyásgörbét (lásd 9. ábra). A ciklikus folyásgörbe leírható a Ramberg-Osgood egyenlettel:

$$\frac{\Delta\varepsilon}{2} = \frac{\Delta\varepsilon_e}{2} + \frac{\Delta\varepsilon_p}{2} = \frac{\Delta\sigma}{2E} + \left(\frac{\Delta\sigma}{2K'}\right)^{1/n'} \qquad (1)$$

ahol ’ jelzi, hogy ciklikus jellemzőkről van szó [4].



9. ábra. Ciklikus folyásgörbe [1]

Összefoglalva, a ciklikus folyásgörbe az anyag fáradással szembeni ellenálló képességét jellemzi. Az anyagok ciklikus fáradását tovább kategorizálandó megállapították, hogy azok a fémek, amelyeknek magas az n keményedési kitevője (n>0,2), ciklikusan keményedők. Az alacsony n értékkel jellemezhető fémek (n<0,1) ciklikusan lágyulnak. Egy ökölszabály szerint az anyag keményedni fog, ha a R_m/R_{p02}>1,4, és lágyulni fog, ha R_m/R_{p02}<1,2. A két érték közötti anyagok keményedhetnek, lágyulhatnak, és mindkét jelenséget mutathatják [4].

Az adatok feldolgozására különféle empirikus összefüggéseket használnak (Manson-Coffin modell, Smith Watson Tropper modell, stb). Az alacsony ciklusszámú nagy alakváltozású szakasz („low cycle high strain regime”) feldolgozásában a leginkább elterjedt a Manson-Coffin egyenlet, amely a

képlékeny alakváltozás amplitúdó és a tönkremeneteli ciklusszám között adja meg a kapcsolatot [1,4]:

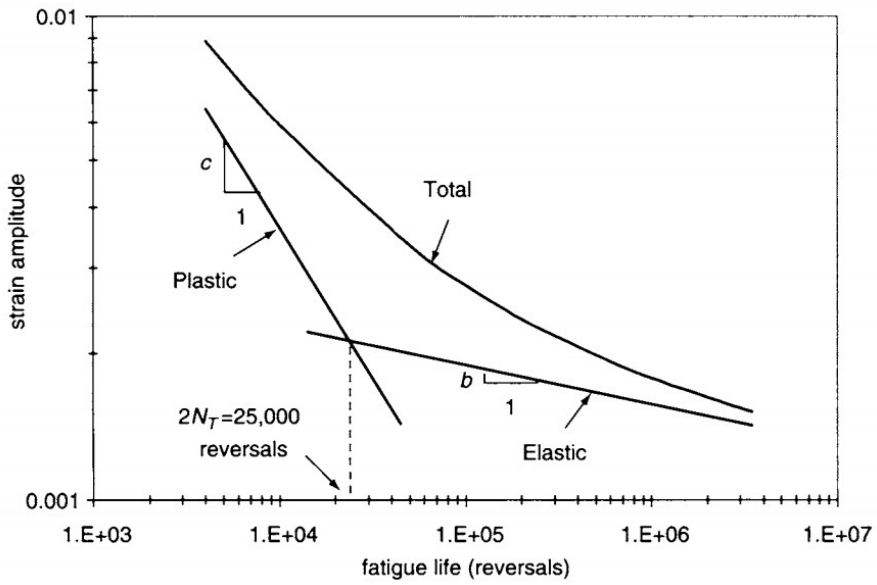
$$\frac{\Delta\varepsilon_{ap}}{2} = \varepsilon_f'(2N_f)^c \tag{2}$$

A magas ciklusszámú kis alakváltozású szakasz („high cycle low strain regime") feldolgozásában a leginkább elterjedt a Basquin egyenlet [8]:

$$\sigma_a = \frac{\Delta\varepsilon_{ae}}{2}E = \sigma_f'(2N_f)^b \tag{3}$$

A Morrow egyenlet összegzi a rugalmas alakváltozás amplitúdó - élettartam függvényét (ε_{ae}-$2N_f$ „ azaz a nagyciklusú fáradás egyenletét) és a képlékeny alakváltozás amplitúdó - élettartam függvényét ((ε_{ap}-$2N_f$, azaz a Manson-Coffin egyenletét). Ha kettős logaritmikus diagramban ábrázoljuk, egyeneseket kapunk (lásd 10. ábra). Ezeket együtt alakváltozás amplitúdó – élettartam függvénynek (azaz egyesített fáradási diagramnak) nevezik. Gyakorlatilag a teljes Wöhler görbe egyenletét kapjuk meg az $\varepsilon_a - N_f$ kapcsolatban [1,4]:

$$\varepsilon_a = \varepsilon_{ae} + \varepsilon_{ap} = \frac{\sigma_f'}{E}2N_f{}^b + \varepsilon_f'2N_f{}^c \tag{4}$$



10. ábra. Egyesített fáradási diagram [4]

Az átmeneti élettartam ($2N_T$) az az élettartam, amelynél a képlékeny alakváltozás amplitúdó egyenlő a rugalmas alakváltozás amplitúdóval. Az átmeneti élettartamtól balra eső területen a képlékeny alakváltozás dominál, ez a kisciklusú tartomány. Az átmeneti élettartamtól jobbra eső területen a rugalmas alakváltozás dominál, ez a nagyciklusú tartomány.

6. Összefoglalás

Egy termékfejlesztés korai szakaszában a nagyciklusú fárasztóvizsgálat túl lassúnak bizonyulhat, az abból kinyerhető kifáradási határ pedig túl kevés lehet a különböző termék koncepciók élettartamának összehasonlítására. A kisciklusú fárasztással számos olyan mérőszámot kapunk, amivel pontosabban összehasonlítható a különböző anyagból, különböző technológiával készülő termékek robusztussága. A ciklikus folyásgörbék felvétele ígéretes lehetőség a kifáradással szembeni ellenálló képesség számszerűsítésére, így a vizsgálat matematikai alapjainak alaposabb megismerése a kutatásunk következő lépése.

7. Köszönetnyilvánítás

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00148 pályázat keretében jött létre.

IRODALOM

[1] Nagy Gyula, Anyagok károsodása és vizsgálata különböző üzemi körülmények között, Kis ciklusú fárasztás, Miskolci Egyetem, 1999

[2] Lovas Jenő, Éva András, Károsodás, előadás diasor, Budapesti Műszaki Egyetem, 2007

[3] Gépszerkezettan – Tervezés, Időben változó igénybevétel, kifáradás, Előadás dia, Miskolci Egyetem

[4] Lee és társai, Fatigue Testing and Analysis (Theory and Practice), 2005, ISBN 0-7506-7719-8

[5] Kovács, Zs. F; Viharos, Zs. J; Kodácsy, J: Surface flatness and roughness evolution after magnetic assisted ball burnishing of magnetizable and non-magnetizable materials, Measurement vol. 158, Paper: 107750, 9 p. (2020)

[6] Lovas Antal, Anyagismeret, jegyzet, 2011, ISBN 978-963-279-586-7

[7] Lopez és társai, Smith Watson and Topper Model in the Determination of the Fatigue Life of an Automotive Steel, 2017, DOI 10.1007/978-3-319-70365-7_23

[8] ASM, Elements of Metallurgy and Engineering Alloys, 2008

[9] Hepp, B., Ádámné Major, A., Lantos, G. (2017). Reverse engineering process of yarn strengthened pressure regulator diaphragms. Vehovszky, B., Takács, J., Bán, K. (szerk.) 34th international Colloquium on Advanced Manufacturing and Repairing Technologies in Vehicle Industry. pp. 57-60.,

[10] Gábor, B., & Zoltán, W. (2018). Estimation of Strength Properties from Microhardness Results in Dual Phase Steels with Different Martensite Volume Fraction. PERIODICA POLYTECHNICA TRANSPORTATION ENGINEERING, 46(ONLINEFIRST), 1–7. http://doi.org/10.3311/PPtr.12113

Lítiumion-akkumulátor cella hegesztési elrendezésének tervezése

Welding conception plans of lithium ion cells

Kovács Péter [1*]

[1] ***Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék***

Összefoglaló (absztrakt)

Az autóiparban jelentős szerepet játszanak a lítiumion-akkumulátor cellák az elektromos autók és a Plug-in hibridek energia ellátásában. A feladat ellátására több akkumulátor cella blokkból felépített akkumulátor csomagokat használnak.

A kötéstechnológiák között fontos szerepe van az ellenállás-hegesztésnek, a lézersugaras hegesztésnek és az ultrahangos hegesztésnek is. Bizonyos cellák esetében nem megengedett az ultrahang használata, ezért az ellenállás-hegesztésre és a lézersugaras hegesztésre dolgoztam ki megoldásokat. A kidolgozott módszereket egymáshoz viszonyítva összevetettem.

Kulcsszavak: Lítiumiion, hegesztés, tervezés

Summary

Lithium ion cells play a huge role in energy supply of electric and plug-in hibrid vehicles. Huge amount of accumulator packs are built from lithium ion cells to do this task.

Resistance welding, laserbeam welding and ultrasonic welding is important technich in bonding technology. In some cases ultrasonic welding can not be used, that is why i planned resistance welding and laser beam welding compositions. The compositions were compared to each other.

Keywords: lithium ion, welding, planning

1. Bevezetés

Az Európai unió szabályozásai következtében, igen nagy hangsúlyt kell fektetniük a gyártóknak a károsanya-kibocsátás csökkentésére [1][2]. A károsanyag-kibocsátás csökkentésére több módszer is alkalmas, ilyen például az elektromos

áram „üzemanyagként” történő felhasználása. A tisztán elektromos járművek egyre jobban terjednek, jóval népszerűbbek a felhasználók körében, mint valaha.

A legtöbb járműtípus eltérő követelményeket támaszt a beépített akkumulátorokkal szemben a teljesítmény, az élettartam, a biztonság és a költségek tekintetében. Ezen követelmények kielégítése miatt a Li-ion akkumulátorok a legelterjedtebbek, szinte minden elektromos járműben ilyen akkumulátor található. A legnagyobb követelményekkel értelem-szerűen a magasabb villamosítási szinttel rendelkező járművek rendelkeznek [3].

A hegesztési elrendezések elkészítéséhez tanulmányoztam a lítiumion-cellák felépítéséről [3-5], a rajtuk alkalmazott kötéstechnológiákról [6-10], tervezési módszerekről [11] [12] szóló irodalmakat. Ezeket megismerve kezdtem megtervezni a lehetséges fejlesztési irányokat.

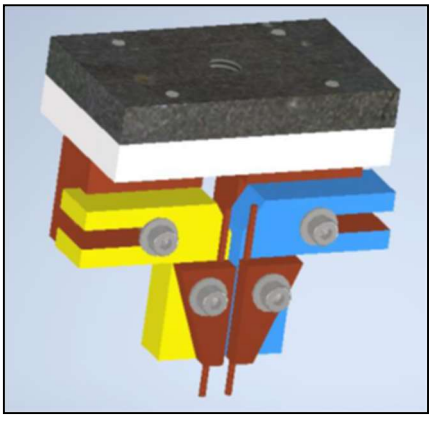
Egy lítiumion-akkumulátor pakk lehetséges tervezési elrendezéseit mutatom be. Célom megtalálni a leginkább kielégítő és költségeit tekintve is megfelelően összeállított berendezést.

1.1. Elektróda megfogó konstrukció és hegesztendő elrendezés

Az ellenállás-hegesztés sajátosságai alapján a hegesztés minőségét óriási mértékben befolyásolja a hegesztő elektróda kialakítása, mérete, anyaga. Jelölésük hagyományos esetben: A (gömb), B (trapéz) vagy C (sík).

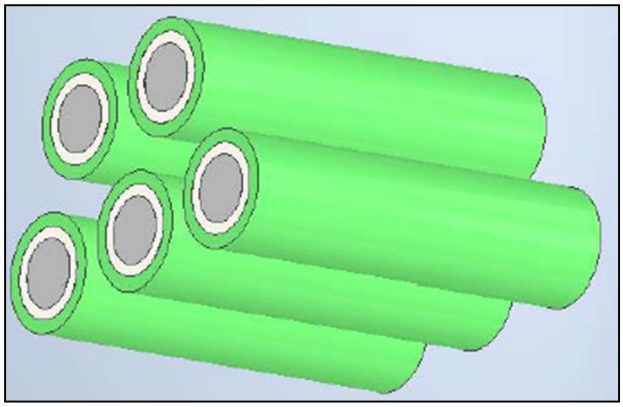
Az elektródákat egy szigetelő lapra, a szigetelő lapot pedig egy acél tömbre illesztettem. A szigetelés megléte nagyon fontos, mert a munkahengeren keresztül TILOS áramnak folynia!

A kialakított elektródamegfogó látható az 1. ábrán.



1. ábra. Hegesztőfej egy hegesztés esetén

A tervezéskor 5 cellához igazítva (2. ábra) egy sorban 2, majd a következőben 3 cella elosztásban alakítottam ki a hegesztési konstrukciókat.



2. ábra. Az alkalmazott cellaelrendezés

2. Multifej elrendezésű beállítás

2.1. 1 ütemben történő hegesztés

A legkevesebb hegesztési művelettel operáló konstrukció. A megvezetést egy négy ponton vezettet, központosított, négy hengeres kivitelezéssel oldottam meg (3. ábra).

Előnyök:

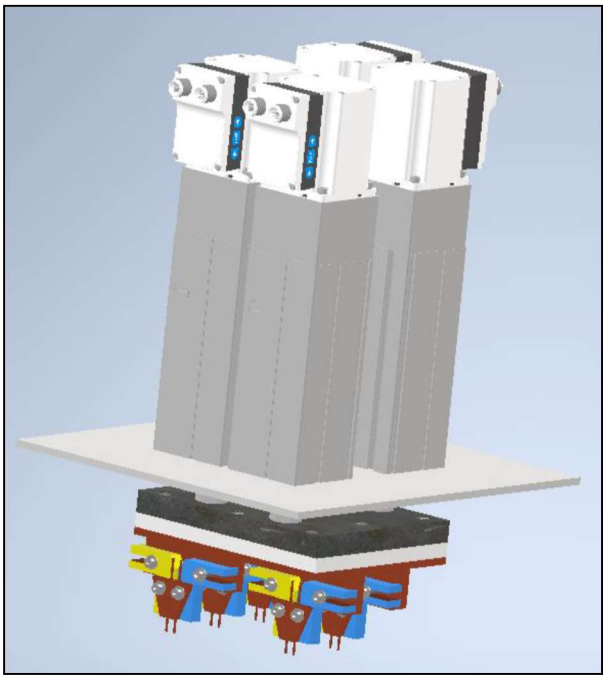
– 1 ütemben történik a hegesztés, ezért rövidebb az ütem idő,
– modulonként szerelhet,
– egyszerűen kivitelezhető pozitív és negatív áramkör.

Hátrányok:

– nagyon rossz állíthatóság,
– limitált hegesztési távolságok,
– nehezen gyártható alkatrészek,
– rossz áramfelvételi viszonyok,
– nagy áramforrás igény,
– nem egyenletes áramkörök,
– hamarabb záruló áramkör,
– rossz állíthatóság,

– ellentétes póluson történik az akkumulátor cellák hegesztése,
– rossz pozícionálási pontosság,
– nehéz karbantartási viszonyok.

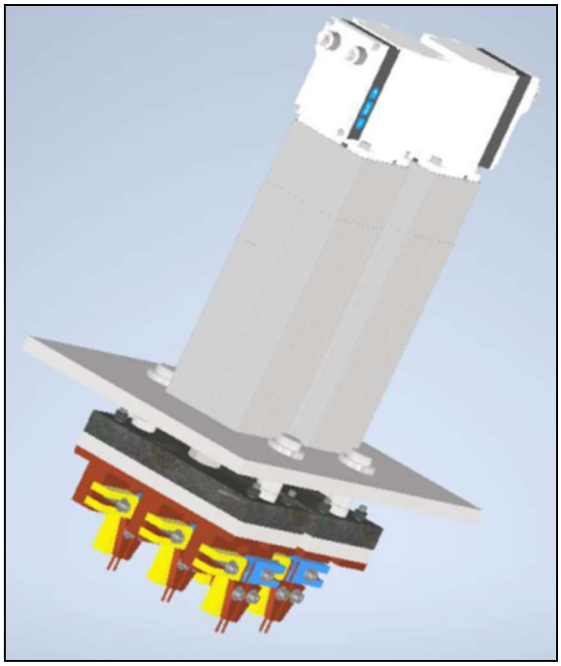
Ahogyan a konstrukció előnyeit és a hátrányait megvizsgáljuk, egyértelmű, hogy ez a fajta konstrukció nem alkalmas a gyártósorunkban alkalmazott hegesztési állomásnak.



3. ábra. 1 ütemben történő hegesztés

2.2. 2 ütemben történő hegesztés

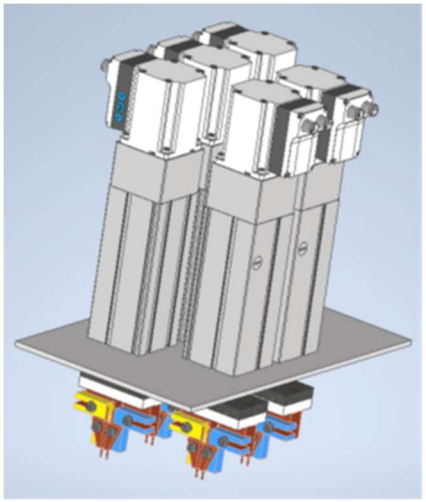
Ebben az elrendezésben soronként egy-egy munkahenger mozgatja a hegesztőfejeket (4. ábra). Az áramutak kialakításához ez kedvezőbb opciót nyújt a tervezéshez.



4. ábra. 2 ütemű hegesztési konstrukció

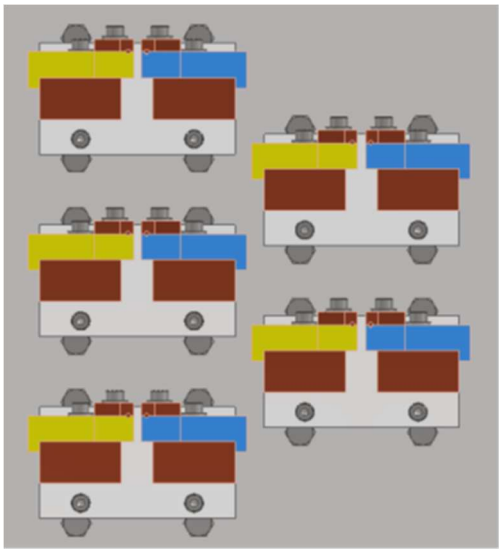
2.3. Többütemű hegesztés

A többütemű hegesztési konstrukciónál már minden egyes akkumulátor cellának külön hengere és hegesztőfeje van (5. ábra)



5. ábra: Többütemű hegesztési konstrukció

A hegesztő fejek elrendezése látható a 6. ábrán Ez az elrendezés már az állíthatóság terén és a rugalmasság terén is nagyon nagy előrelépés.



6. ábra: A hegesztő fejek elrendezése többütemű hegesztési konstrukciónál

Előnyök:

- nem kell megvezetést alkalmazni,
- kedvező áramfelvételi viszonyok,
- gyengébb áramforrás is elegendő,
- modulonként szerelhető,
- egyszerűen kivitelezhető pozitív és negatív áramkör,
- cserélhető pólusok,
- nagyobb pontosság.
- nagyobb mértékben állítható méretek.

Hátrányok:

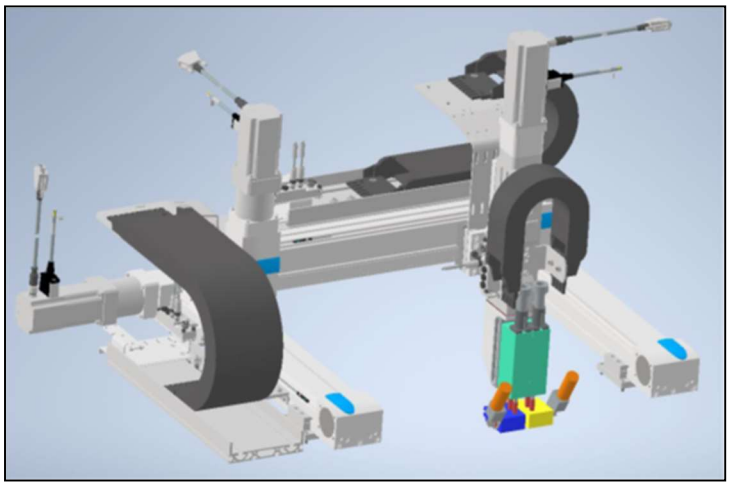
- limitált hegesztési távolságok,
- 5 db. munkahenger,
- nagy beruházási költség,
- bonyolult vezeték,
- nagy helyigény.

További fejlesztés az elektróda geometriája, a rugós előfeszítő berendezés alkalmazása és a horizontális kivitelezés. Ugyanis vízszintesen a cellák mindkét oldala egyszerre hegeszthető.

Fontos megemlíteni a továbblépés előtt, hogy léteznek mozgóasztalos és mozgófejes ellenállás-hegesztő gyártócellák, amelyeket a gyártótól kompletten beszerezhetünk. Egy mozgófejes konstrukció elemeiből történő összeállításán megéri elgondolkozni.

3. Mozgófejes konstrukció

A konstrukció egy háromtengelyes kezelő rendszerből, egy csatlakozó elemből és egy rugós előfeszítő-hegesztő fej együttesből áll (7. ábra).

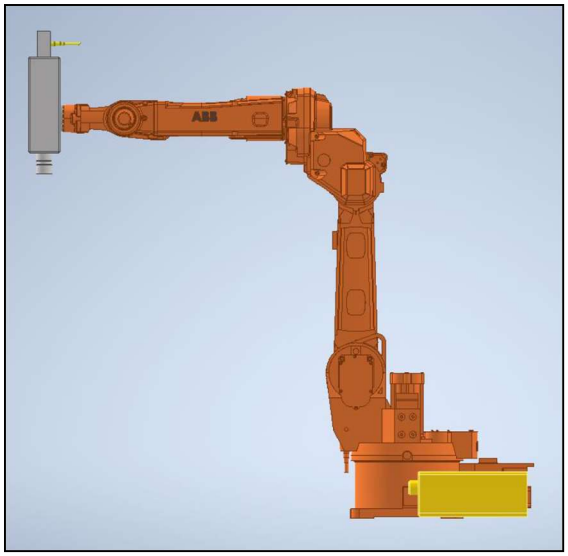


7. ábra. Mozgófejes hegesztési elrendezés

A hengerek paraméterei jobbak, mint a multifejes konstrukcióban használt hengereké, továbbá nem kell a teljes lökethosszt vissza is megtenni, minimális ráhagyással tud közlekedni a fej. Ennek eredménye, hogy jobbak a mellékidők, termelékenyebb az eljárás. Még úgy is, hogy csak a cellák egyik oldalát tudja egyszerre legyártani.

4. Lézersugaras konstrukció:

A lézersugaras hegesztés számos iparágban használatos, a kedvező tulajdonságainak köszönhetően [13-15]. Ebben a hegesztési módszerben, amikor egy robotkarra van felszerelve az optika, mellette ott van a sugárforrás és egy optikai kábel segítségével továbbítjuk a lézersugarat a célterületre (8. ábra).



8. ábra. Lézersugaras konstrukció

Ezenfelül egy másik opció lehet amikor a hegesztéshez szükséges leszorítást is robot segítségével végezzük el.

5. A konstrukciók összevetése

A bemutatott kialakítások mind alkalmasak a Li-ion akkumulátor pakkok hegesztésére, de csak egy konstrukció mellett dönthetünk. Két különböző kötéstechnológia lett bemutatva 3 módszeren keresztül, ez is lehet az egyik összehasonlítási alap. Azonban a bemutatott konstrukciókat felépítő hegesztő egységek között lényeges eltérések találhatók. Ahhoz, hogy közülük ki tudjuk választani a számunkra legalkalmasabbat, a gazdasági és egyéb szempontokat is figyelembe kell vennünk.

1. Táblázat. A konstrukciók összehasonlítása

	Szerelhetőség	Termelékenység	Költség	Kivitelezhetőség	Üzemeltethetőség
Multifej	Jó	Jó	Közepes	Jó	Jó
Mozgófejes	Közepes	Kiváló	Magas	Közepes	Jó
Lézersugaras	Rossz	Kiváló	Magas	Közepes	Jó

6. Összegzés

Három végső konstrukciót alkottam meg, amelyek a multifejes, mozgófejes és a lézersugaras hegesztés voltak. A tervezési folyamat első lépése a hegesztendő cella blokk kialakításának tervezése volt, majd ezt követte a valóságban már látott hegesztési konstrukciók alapján elkészített alapmodellek vizsgálata. Az alapmodellek részét képezték a hegesztő elektródák, megfogó, szigetelő és mozgató egységek. Az elkészített alapkonstrukciók kiértékelésre kerültek, majd a levont tanulságokat hasznosítva készítettem el a végső berendezéseket.

7. Köszönetnyilvánítás

A dokumentum a 2019-1.1.1-PIACI-KFI-2019-00509 pályázati azonosítószámú és „Akkumulátor pakk konstrukció fejlesztés és univerzális szerelősor fejlesztés a VIDEOTON ElektroPLAST Kft-nél” című projekt keretében készült.

IRODALOM

[1] Ángel S.Marrero,Gustavo A.Marrero,Rosa MarinaGonzález, JesúsRodríguez-Ló-pez: Convergence in road transport CO2 emissions in Europe, Energy Economics, 2021, 105322

[2] Margarita Robaina, Ana Neves: Complete decomposition analysis of CO2 emissions intensity in the transport sector in Europe, Research in Transportation Economics, 2021, 101074

[3] Heide Budde-Meiwes, Julia Drillkens, Benedikt Lunz, Jens Muennix, Susanne Rothgang, Julia Kowal, Dirk Sauer: A review of current automotive battery technology and future prospects, Proceedings of the Institution of Mechanical Engi-neers, Part D: Journal of Automobile Engineering 227., 2013, 761-776

[4] Gerse Károly: Energiatárolók, Akadémiai Kiadó, Online kiadás, 2020

[5] Pei He, Jianyun Cao, Hui Ding, Xin Zhao, Zheling Li: Electronic devices based on solution-processed two-dimensional materials., Micro and Nano Techno-logies, Synthesis, Modeling, and Characterization of 2D Materials, and Their Hete-rostructures, 2020, Pages 351-384

[6] Harald Larsson, Alec Chamberlain, Sally Walin, Samir Schouri, Louise Nilsson, Elin Myrsell, Daniel Vasquez: Welding methods for electrical connections in battery systems, Uppsala Universitet, 2019

[7] M.F.R. Zwicker, M. Moghadam, W. Zhang, C.V. Nielsen: Automotive battery pack manufacturing –a review of battery to tab joining, Journal of

Advanced Joining Processes, 2020, Volume 1, 1000172020, DOI:10.1016/j.jajp.2020.100017

[8] Abhishek Das, Dezhi Li, David Williams, David Greenwood: Weldability and shear strength feasibility study for automotive electric vehicle battery tab interconnects, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2019, 41:54 DOI: 10.1007/s40430-018-1542-5

[9] Abhishek Das, Dezhi Li, David Williams, David Greenwood: Joining Technologies for Automotive Battery Systems Manufacturing, World Electric Vehicle Journal, 2018, 9, 22, DOI: 10.3390/wevj9020022

[10] Martin J. Branda, Elisabeth I. Kolpa, Philipp Berga, Tobias Bachb, Philipp Schmidtc, Andreas Jossena: Electrical resistances of soldered battery cell connections, Journal of Energy Storage, 2017, 12, 45–54 DOI:10.1016/j.est.2017.03.019

[11] Dr. Kovács Géza, Philip Miklós, Dr. Varga Sándor: Tervezéselmélet, Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest, 1983

[12] Faragó László: Tervezéselméleti alapvetések, Tér és Társadalom, 1997, 1-15

[13] Kovács, Zsolt Ferenc; Béres, Gábor; Weltsch, Zoltán: Autóipari DC és DP acélok lézersugaras hegeszthetőségének vizsgálata, GRADUS 4:2 pp. 311-317. (2017)

[14] Zoltán, W., József, H., & Eszter, K. (2015). Wetting Properties of Silver Based Alloys. WORLD ACADEMY OF SCIENCE ENGINEERING AND TECHNOLOGY, 9(3), 402–405.

[15] Kun, K., & Weltsch, Z. (2021). Effect of Femtosecond-Laser-Structured Injection Molding Tool on Mechanical Properties of the Manufactured Product. POLYMERS, 13(2187), 1–17. http://doi.org/10.3390/polym13132187

Lágyforrasztás vizsgálata rézlemezen magas hőmérsékletű nedvesítésméréssel

Testing of soldering on copper plate by high temperature wetting

Tajti Ferenc [1*]

[1] ***Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék***

Összefoglaló (absztrakt)

Napjainkban a forrasztásos kötéstechnológiák egyre nagyobb teret hódítanak. Ennek oka az elektronikai ipar, ahol a kötések jelentős részét lágyforrasztással állítják elő. Azonban a keményforrasztás is felfutóban van, ugyanis hibrid fémek párosításánál ez egy olcsó, jól automatizálható és megfelelő felület és forraszanyag választásakor nagy kötési szilárdságok érhetőek el, kisebb hőbevitel mellett. Ezen tényezők miatt foglalkozunk a forrasztásos kötéstechnológia fejlesztésével és annak vizsgálati lehetőségeivel.

Kulcsszavak: kötéstechnológia, forrasztás, magas hőmérsékletű nedvesítés, peremszög, réz

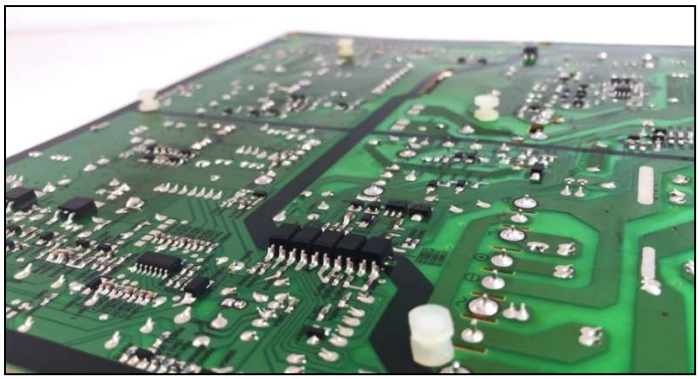
Summary

Nowadays, solder bonding technologies are gaining ground. This is due to the electronics industry, where a significant portion of joints are produced by soldering. However, brazing is also booming, as in the case of hybrid metal pairing. This is a cheap, well-automated technology. By choosing the right surface and solder, high bonding strengths can be achieved with lower heat input. Due to these factors, we deal with the development of solder bonding technology and its research possibilities.

Keywords: bonding technology, adhesives, soldering, hih-temperature wetting, coper

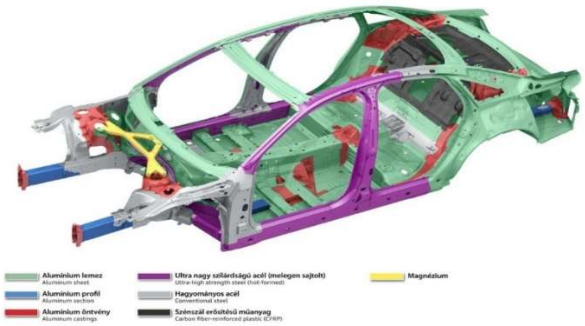
1. Irodalmi áttekintés

A forrasztás újra egy dinamikusan fejlődő kötéstechnológia napjainkban. Ennek egyik oka az elektronikai ipar, ahol a kötések nagy részét lágyforrasztással késztik el (1. ábra). [1]



1. ábra. Lágyforrasztás sokasága nyáklapon [2]

Az elektronika eszközök forrasztásánál nagyrészt réz, vagy valamilyen bevonattal rendelkező réz alkatrészek összekötése a cél. Az ilyen eszközöknél nagyon fontos a jó kötés létrehozása, ugyanis, ha nem jön létre a megfelelő szilárdság az könnyen egy eszköz tönkremeneteléhez vezethet [1, 14]. Másik nagy felhasználási területe a forrasztásnak, a hibrid anyagpárosítást használó iparágak, mint például a járműipar. Egy jármű karosszériában többféle szilárdságú acéllemezt, alumínium lemezt és magnézium munkadarabokat használnak (2. ábra), melyek összekötésére a különleges hegesztési eljárások mellett [3, 4, 5, 10] a keményforrasztás is használható [6, 11-13].

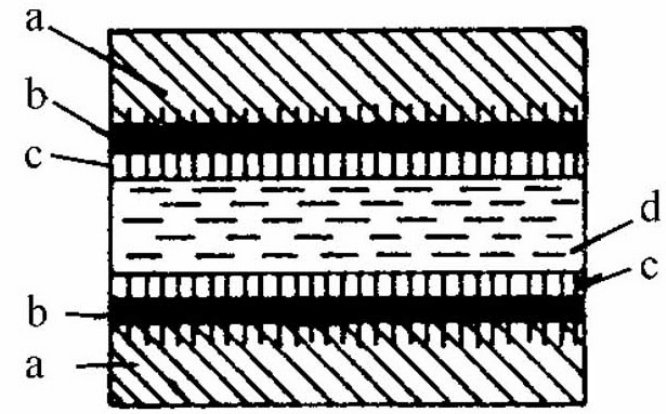


2. ábra. Egy modern jármű karosszériája [6]

A kutatásaink célja az ilyen módon létrehozott kötések vizsgálata és a későbbiek során, ezeknek a fejlesztése.

1.1. A forrasztás elméleti háttere

A legtöbb fém esetében az alapanyag és a forraszanyag, a köztük lévő határrétegen keresztül lép kapcsolatba egymással, mégpedig úgy, hogy a két anyag között diffúzió jön létre. A diffúzió egy anyagáramlási folyamat, mely során az anyagi részecskék a nagy kémiai potenciálú helyről a kis kémiai potenciálú helyre áramlanak, ezzel növelve a rendszer rendezetlenségét, entrópiáját. A diffúzió egy ötvözetzónát hoz létre, melynek vastagsága forrasztandó anyagoktól, forrasztási időtől és hőmérséklettől függ. Tehát, a kötés az alapanyagok és a forraszanyag részecskéinek összekeveredésével jön létre (3. ábra) [7].



3. ábra. A forrasztott kötés zónái: a) forrasztott alapanyag, b) diffúziós réteg az alapanyagban, c) diffúziós réteg a forraszanyagban, d) forraszanyag [8]

1.2. Lágyforrasztás

Lágyforrasztásról akkor beszélünk, hogy ha a forrasztás hőmérséklete 450 °C alatt van (általában 260−300°C). Munkahőmérsékletnek az alkatrész azon legalacsonyabb hőmérsékletét nevezzük, amin a forrasz megömlik, szétterjed és kötni képes. Az elektrotechnikában szívesen használják villamos vezetők kötésére, mivel a lágyforrasszal készített kötések újbóli felmelegítéssel könnyen oldhatók. Előnye a keményforrasztáshoz viszonyítva, hogy a forrasztást könnyen elvégezhetjük, az alkatrészek nem deformálódnak el a kisebb hő bevitel miatt és az összekötésre kerülő alkatrészek keménysége nem csökken [9].

1.3. Keményforrasztás

Keményforrasztásnál a hegesztett kötést megközelítő nagy szilárdságú kapcsolatot hozunk létre. Ehhez magas olvadáspontú forraszanyagot kell

alkalmazni. Ilyen forraszanyag az ezüst, az arany és a réz, valamint ötvözeteik. Ahhoz, hogy a forraszanyag elérje ezeket a magas hőmérsékleteket, viszonylag nagy hő bevitelre van szükség és ennek következtében az egyesítendő alkatrészek jobban deformálódnak, mintha lágyforrasztást alkalmaztunk volna, valamit a szövetszerkezetben is változások mehetnek végbe [9, 15].

2. Kísérleti alapanyagok, berendezések és eljárások

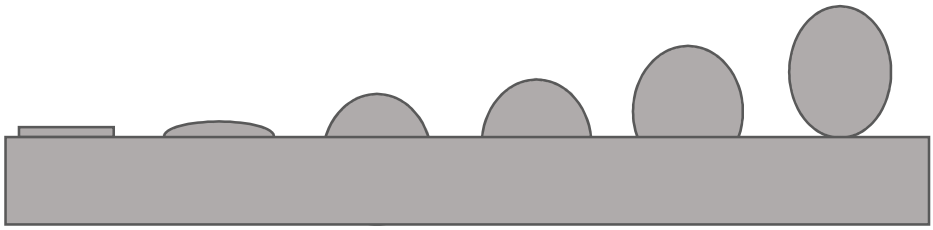
A kísérletek során az elektronikai forrasztásokat vettem figyelembe, ezért választottam alapanyagnak rézlemezt, melyen magas hőmérsékletű nedvesítésmérést végeztem.

2.1. Cu-ETP

Kiváló villamosvezető tulajdonságai miatt a Cu-ETP típusú **vörösréz f**élgyártmányokat az ipar áramvezető sínek, villamos érintkezők, kapcsolók, vezetékek, szikraforgácsoló elektródák stb. gyártására használja.

2.2. Magas hőmérsékletű nedvesítés mérés

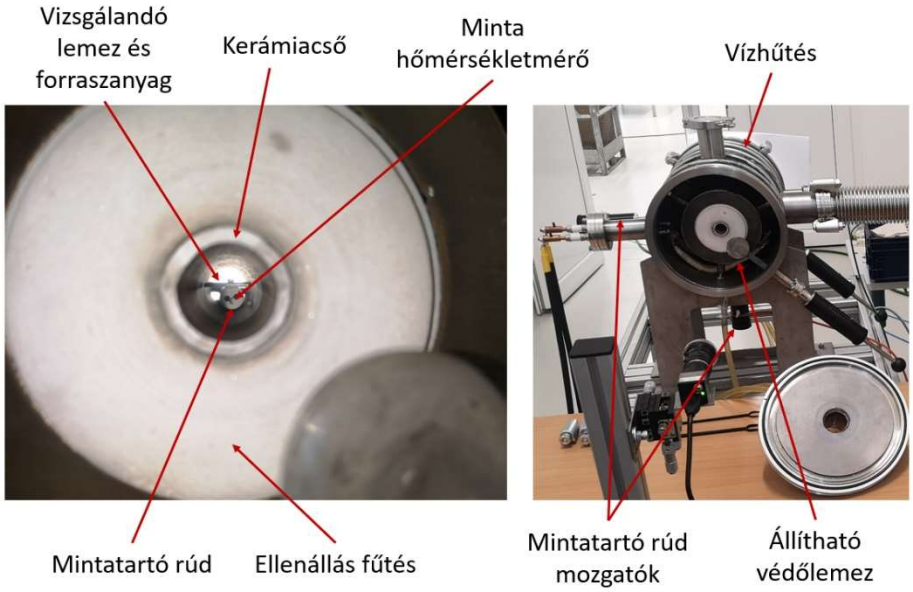
Az adhéziós kötéstechnológiák szilárdságát tudjuk növelni, ha a felületet megfelelően előkészítjük és jó nedvesítési tulajdonságokat alakítunk ki (4. ábra).



4. ábra. Nedvesítés lehetőségei a felületen

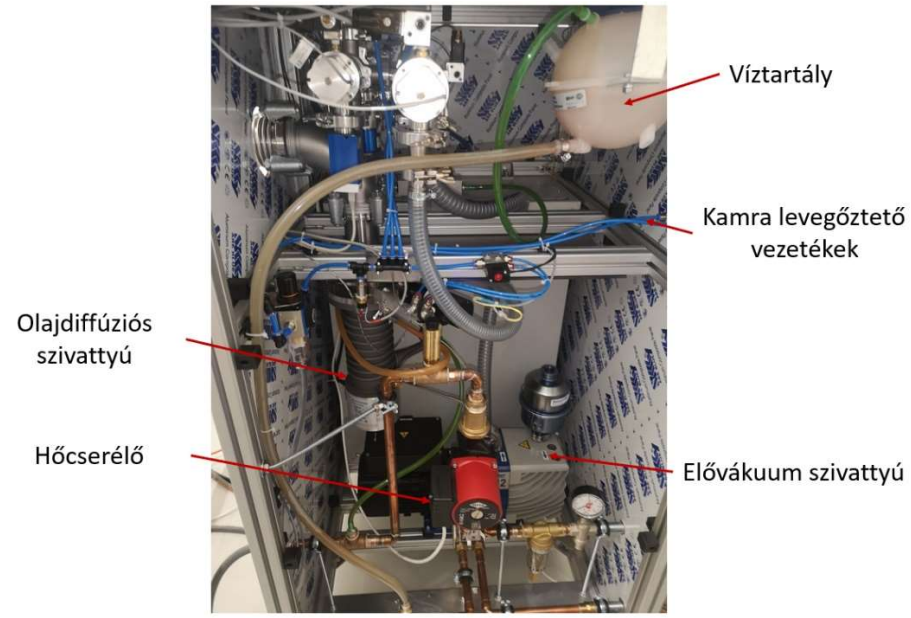
A nedvesítési tulajdonságok módosítására több lehetőség is adódik, lézersugaras felületkezelés, plazmasugaras felületkezelés, mechanikai vagy kémiai felületkezelés. Azonban ennek vizsgálatára egy speciális magas hűmérsékletű nedvesítésmérésre van szükség, ahol az olvadt forraszanyagon mérünk peremszöget és ezzel jellemezzük az nedvesítést.

A magas hőmérsékletű nedvesítés méréshez egy olyan vákuumkemencét használunk, amiben 5*10-5 mBar vákuumot tudunk létrehozni, majd ezt többször védőgázzal átöblítve, majd teljesen visszatöltve végezzük a méréseket (5.ábra).



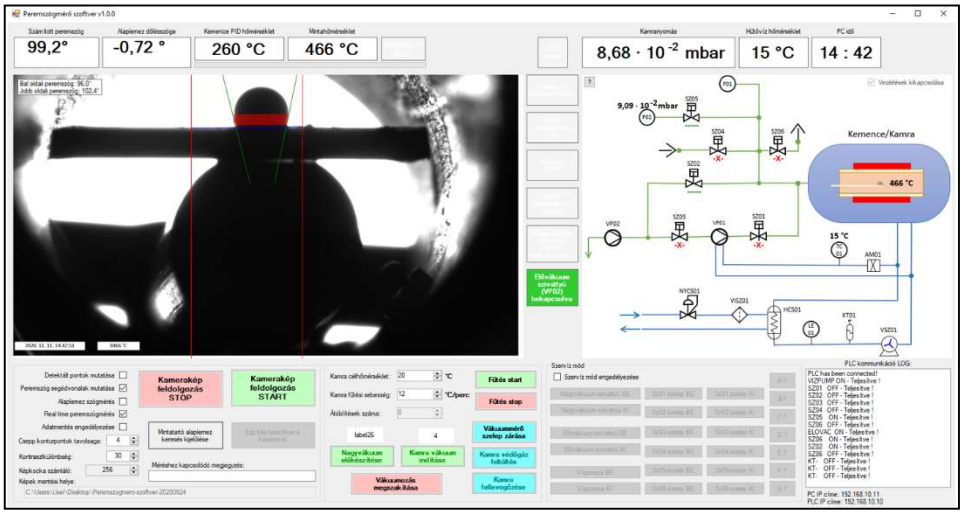
5. ábra. A vákuumkamra felépítése

Ehhez a nagy vákuum eléréséhez két vákuumszivattyúra van szükségünk. Az egyik egy rotációs vákuumszivattyú, amivel 2*10-2 mBar vákuumot tudunk elérni, majd bekapcsolva a nagy olajdiffúziós vákuumszivattyút ez lemegy 5*10-5 mBar vákuumra (6. árba). Innen visszatöltjük védőgázzal így megakadályozhatjuk, hogy oxidáció lépjen fel a mérés során.



6. ábra. A nedvesítésmérő vákuumtechnikája

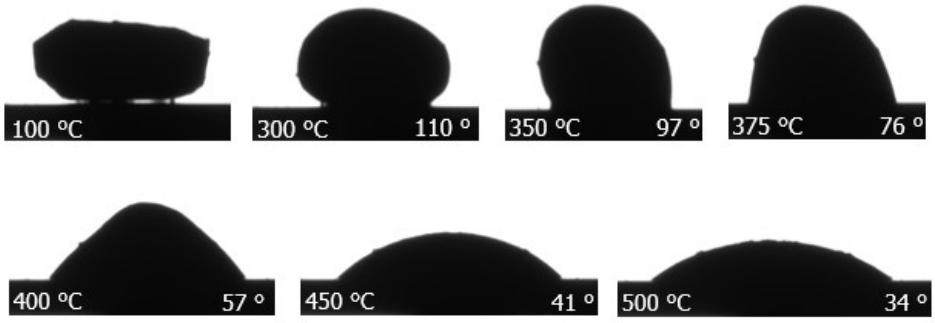
Ahhoz, hogy a nedvesítést meg tudjuk határozni szükség van egy szoftverre, ami a kamrában lévő lemezen található forraszanyag olvadékot lefényképezi, majd az olvadékon megméri a nedvesítési peremszöget (7. ábra).



7. ábra. Automata peremszögmérő szoftver

3. Eredmények

A mérés során a rézlemezre 99,99% os tisztaságú ón forraszanyagot forrasztottunk, ezzel pontosan meg tudjuk határozni, a kemence hevítési idejét, pontosságát, valamint egy előzetes becslést tudunk meghatározni az ón alapú forraszanyagok nedvesítésére. A vizsgálat során addig hevítettem a mintát, amíg meg nem olvadt a forraszanyag, majd tovább hevítve végeztem mérést, így kimutatható, hogy a még magasabb hőmérsékletnek, milyen hatása van a nedvesítésre (8. ábra). A vizsgálatok során 6.0 - ás argont használtunk, hogy minél kevesebb szennyező kerüljön a kemencébe a mérés során.



8. ábra. Sn forraszanyag nedvesítése különböző hőmérsékleteken

4. Összefoglalás

A kutatómunka során elektronikai iparban használt rézlemezeken végeztem lágyforrasztást és ennek az adhéziós tulajdonságait vizsgáltam. Az eredményekből látható, hogy az Sn forraszanyag a pontos olvadáspontja közelében kissé megolvad viszont még 350 °C-on sem terül szét a felületen. Ennek oka, hogy a forraszanyagról nem lett minden irányból eltávolítva a felületi réteg, így maradt olyan felület, ahol van oxid, ami egyben tartja a forraszanyagot. Miután az oxid réteg is megolvad utána tud szétterülni a felületen és az eredményekből jól látható, hogy minél magasabb a hőmérséklet annál jobban szét tud terülni a forraszanyag.

IRODALOM

[1] http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/faipar/gepeszeti-ismeretek/forrasztas/kemeny-es-lagyforrasztas [Megtekintés: 02-Dec-2021]

[2] https://www.shutterstock.com/video/clip-1035985751-soldering-motherboard-closeup-iron [Megtekintés: 02-Dec-2021]

[3] Kovács, Zsolt Ferenc; Hareancz, Ferenc: A kavaró dörzshegesztés alkalmazási lehetőségei alumínium kompozitok esetén, GRADUS 8:1, 2012. pp. 294-298.

[4] Kovács, Zsolt; Hareancz, Ferenc: Nem hegeszthető AA7075 és hegeszthető AA6082 alumínium ötvözetek hegesztése kavaró dörzshegesztéssel, GRADUS 6:1, 2019. pp. 110-116.

[5] Kovács, Zsolt; Hareancz, Ferenc: Joining of non-weldable AA7075 and weldable AA6082 aluminium alloy sheets by Friction Stir Welding, IOP Conf. Ser. Materials science and engineering, vol. 448, 2018. 012001

[6] http://totalcar.hu/galeria/totalcar/technika/2017/07/18/sajtogaleria_audi_a8_technologia [Megtekintés: 02-Dec-2021]

[7] Seppo Louhenkilpi, Verő Balázs, Anyagtudományi folyamatszimuláció - Diffúziós folyamatok modellezése, Aalto University, Helsinki, Finnország, 2011.

[8] Dr. Szántó Jenő, Javítástechnológia (Károsodás-elmélet), 2013.

[9] Dr. Halmai Attila: Finommechanikai elemek. Tatabánya: EDUTUS Főiskola, 2012. p.17-25.

[10] Hlinka, J., Berczeli, M., Buza, G., & Weltsch, Z. (2017). Wetting properties of Nd: YAG laser treated copper by SAC solders. SOLDERING & SURFACE MOUNT TECHNOLOGY, 29(2), 69–74. http://doi.org/10.1108/SSMT-01-2016-0003

[11] Zoltán, W., József, H., & Eszter, K. (2015). Wetting Properties of Silver Based Alloys. WORLD ACADEMY OF SCIENCE ENGINEERING AND TECHNOLOGY, 9(3), 402–405.

[12] Weltsch, Z., & Lovas, A. (2013). The Relation between the Surface Tension and the Bulk Properties of Diluted Silver Based Melts. MATERIALS SCIENCE FORUM, 729, 19–24. http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.729.19

[13] Z. Weltsch and A. Lovas, "Wettability of ceramic substrates by silver based alloys," ACTA PHYSICA POLONICA A, vol. 124, no. 1, pp. 78–86, 2013.

[14] G, G., D, K.-H., Z, W., & Z, G. (2017). Development of crack detection method with 2 dimensionally generated 3 dimensionally reconstructed images in THT solder joints. ARCHIVES OF METALLURGY AND MATERIALS, 62(2), 1033–1038. http://doi.org/10.1515/amm-2017-0148

[15] Hlinka, J., Fogarassy, Z., Cziráki, Á., & Weltsch, Z. (2020). Wetting Properties, Recrystallization Phenomena and Interfacial Reactions between Laser Treated Cu Substrate and SAC305 Solder. APPLIED SURFACE SCIENCE, 501. http://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144127