

APLICAȚII INDUSTRIALE-PRACTICIANUL SUDOR INDUSTRIAL APPLICATION-WELDING PRACTITIONER

Introducerea sudării cu laser în fabricarea conectorilor pentru airbag-uri

Introducing laser welding into the production of airbag connectors

János Dobránszky

HUN-REN-BME RESEARCH GROUP FOR COMPOSITE SCIENCE AND TECHNOLOGY

Rezumat

Integrarea sudării cu laser în procesul de fabricație în masă a componentelor din industria auto a reprezentat o transformare tehnologică semnificativă în domeniul tehnologiei de sudare. Acest articol descrie o schimbare tehnologică ce poate înlocui sudarea prin rezistență electrică de contact în producția de conectori pentru airbag-uri, asamblați din cabluri torsadate, constând din sârme de cupru sau aluminiu cu grosimea de 0,1-0,2 mm. Sudarea cu laser a acestui proces de fabricație a necesitat un laser pulsant capabil să controleze forma impulsului și echipat cu optică cu focalizare programabilă; acest echipament a fost un laser de tip TruPulse 103. Optimizarea tehnologiei dezvoltate pentru diverse produse s-a făcut folosind metode statistice de proiectare experimentală.

Cuvinte cheie

Sudare cu laser, cupru pe cupru, optică cu focalizare programabilă, proiectarea experimentului

Abstract

The integration of laser welding into the mass production process of components in the automotive industry has been a significant technological transformation in the field of welding technology. This article describes a technological shift that can replace resistance welding in the production of airbag connectors assembled from stranded wires consisting of 0.1-0.2 mm thick copper or aluminium filaments. Laser welding of this development process required a pulsed laser capable of controlling the pulse shape and equipped with programmable focusing optics; it was a TruPulse 103 type laser. The development of optimal technology for various products was carried out using statistical experimental design methods.

Keywords

Laser welding, copper to copper, programmable focusing optics, design of experiment

1. Introducere

Primele utilizări ale sudării cu laser în industria auto sunt înregistrate la începutul anilor '90 [1, 2], dar răspândirea cu adevărat semnificativă are loc abia după extinderea UE [3, 4].

În ultimele trei decenii, marii producători de automobile din lume și-au relocat sau amplasat în mare măsură facilitățile de producție cât mai aproape de industria furnizoare aferentă. Acest lucru a implicat un salt tehnologic semnificativ în fostele țări comuniste, inclusiv în domeniul tehnologiei de sudare.

Noile fabrici au devenit, ca o consecință necesară, atât scena producției, cât și a dezvoltării. Tehnologia sudării este un capitol foarte dificil în procesele de dezvoltare. Poate cel mai mare salt în acest sens este utilizarea pe scară largă a prelucrării cu laser.

1. Introduction

The use of laser welding in the automotive industry began in the early 1990's [1, 2], but the truly significant spread was only observed after the significant enlargement of the EU [3, 4].

Over the past three decades, the world's major car manufacturers have largely relocated or located their passenger car manufacturing industry, along with the related supplier industry. This involved a significant technological leap in the former communist countries, including in the field of welding technology.

The new factories have become the scene of development as well as production as a necessary consequence. Welding technology is a very challenging chapter in the development processes. Perhaps the biggest leap within this is the widespread use of laser

Acest lucru se aplică în egală măsură sudării, tăierii și marcării.

Acest articol ilustrează procesul de dezvoltare a unei schimbări tehnologice radicale în producția de conectori pentru airbag-uri. Sarcina a fost deosebit de dificilă, deoarece sudarea cu laser era anterior complet necunoscută în acest domeniu.

2. Sudarea cu laser a conectorilor airbag

Produsul, a cărui sudare cu laser este primul exemplu, este conectorul airbag-ului realizat dintr-un fir torsadat, fir care formează cablajul autoturismelor. Îmbinarea sudată este formată din două componente. O componentă este placa de contact din cupru neacoperită sau cositorită (cunoscută și sub numele de terminal). În tehnologia tradițională de fabricație, unde procesul aplicat este sudarea prin rezistență în doi pași, terminalul are o secțiune transversală dreptunghiulară. Figura 1 arată sudura în acest caz.

processing. This applies equally to welding, cutting and marking.

This article illustrates the development process of a radical technology change target in the production of airbag connectors. The task was particularly challenging, since laser welding was previously completely unknown in this field.

2. Laser welding of airbag connectors

The product, the laser welding of which is the first example, is the airbag connector of the stranded wire forming the wiring harness of passenger cars. The welded joint consists of two components. One component is the uncoated or tin-plated copper contact pad (also known as the terminal). In traditional manufacturing technology, where the applied process is two-step resistance welding, the terminal has a rectangular cross-section. Figure 1 shows the weld in this case.

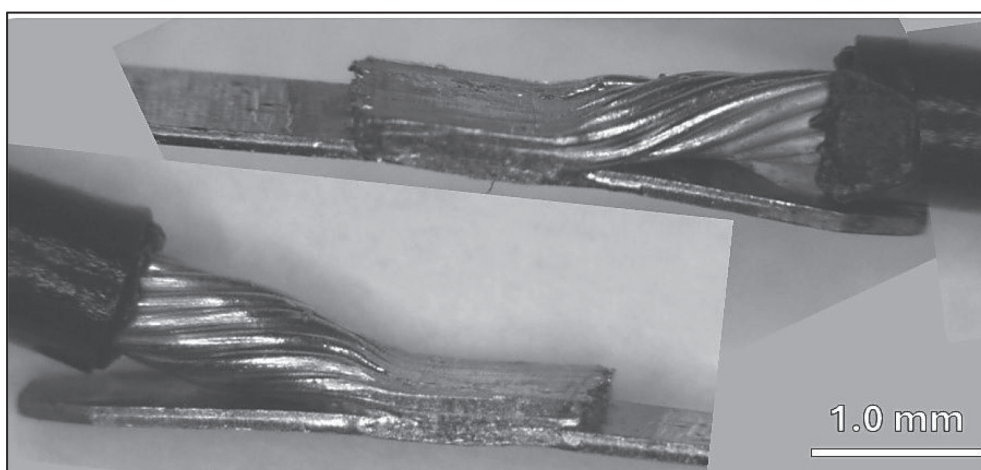


Figura 1. Două vederi laterale ale unei îmbinări sudate prin rezistență; constând din 16 fire de cupru neacoperite și un terminal subțire și plat de cupru neacoperit

Figure 1. Two side views of a resistance welded joint; consisting of 16 uncoated copper strands and an uncoated thin and flat copper terminal

În ceea ce privește sudarea cu laser, acest terminal plat nu este ideal, așa cum demonstrează figurile 2 și 3. Prin urmare, forma terminalului a fost modificată devenind pliată pe lungime, într-o formă de jgheab (secțiune în U, figura 4) și având o grosime de câteva zecimi de milimetru. Cealaltă componentă este firul de cupru flexibil neacoperit sau cositorit, format din mai multe sârme (7-17) a căror secțiune transversală totală este, la rândul ei, de ordinul zecimilor de milimetru pătrat.

Până în prezent, procedeul de sudare preferat a fost sudarea prin rezistență în fază solidă sau semisolidă, dar având în vedere dezavantajele sale semnificative – cum ar fi uzura continuă a electrozilor de sudare – s-a manifestat o cerere crescândă pentru trecerea la su-

Regarding the laser welding this flat terminal is not ideal, as Figures 2 and 3 demonstrate. Therefore, the shape was modified as a folded lengthwise into a trough shape (U-cross-section, figure 4) and has a thickness of a few tenths of a millimetre. The other component is the uncoated or tin-plated stranded copper wire consisting of several (7–17) filaments, the total cross-section of which also is typically a few tenths of a square millimetre.

Until now, the dominant welding process has been solid or semi-solid phase resistance welding, but in view of its significant disadvantages – such as continuous wear of the welding electrodes – there has been a significant demand for the development of

darea cu laser. Dificultatea acestei treceri nu a fost legată doar de secțiunile transversale mici, ci și de faptul că firul torsadat este format din multe sârme, a căror topire aproape uniformă necesită un aport de căldură, un proces de topire și solidificare strict supravegheat și controlat din partea tehnologiei. Cercetarea s-a extins apoi și la sudarea firelor torsadate din sârme de aluminiu.

laser welding. The difficulty of the task is not only the small cross-sections, but also the fact that the stranded wire consists of many filaments, the almost uniform melting of which requires a highly supervised, controlled heat input, melting and solidification process from the technology. The research also extended to the welding of stranded wires consisting of aluminium filaments.

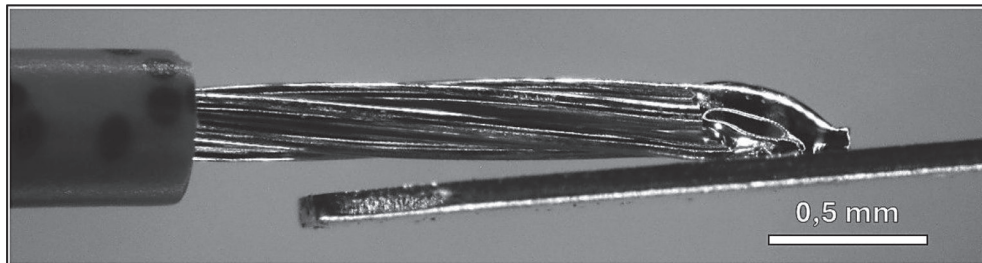


Figura 2. Îmbinare sudată cu laser între firul flexibil de cupru neacoperit și terminalul plat de cupru neacoperit

Figure 2. Laser welded joint between uncoated stranded copper stranded wire and flat, uncoated copper terminal

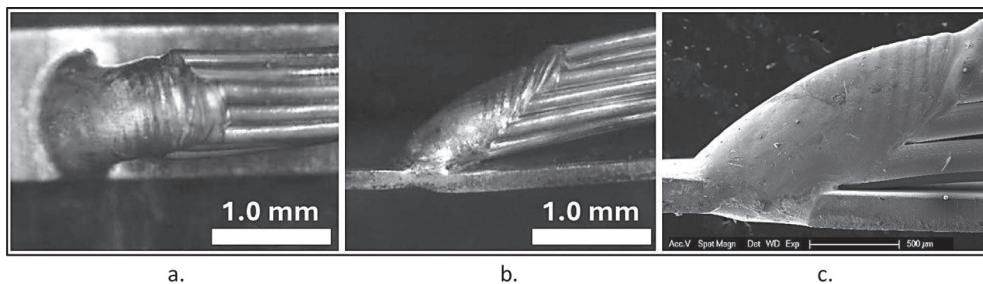


Figura 3. Îmbinare sudată cu laser între un fir flexibil de cupru neacoperit și un terminal plat de cupru neacoperit; vedere de sus (a) și vedere laterală (b-c)

Figure 3. Laser welded joint between uncoated stranded copper wire and flat, uncoated copper terminal; top view (a) and side view (b-c)

Materialul topit de fasciculul laser se poate contracta din cauza tensiunii superficiale, iar la capetele sârmelor firului torsadat se pot forma topituri sferice (figura 4). Acest fenomen poate bloca formarea îmbinării dintre terminal și firul torsadat. Soluționarea a fost posibilă doar prin utilizarea unui laser Nd:YAG pulsant, care putea fi operat în modul de modelare a pulsurilor. Timpul total al pulsului era de obicei de 10-20 ms. Diametrul fasciculului și puterea pulsului au trebuit ajustate în funcție de numărul și secțiunea transversală a sârmelor firului torsadat. Diametrul fasciculului poate astfel varia de la 0,5 la 2,5 mm.

Acest lucru poate fi mai mult complicat de prezența unui strat de staniu pe suprafața uneia dintre componentele îmbinării în condiția în care firul flexibil care trebuie sudat pe terminal este format din sârme de aluminiu și nu de cupru. De asemenea, trebuie luat în considerare efectul de răcire al gazului de protecție. Puterea medie a laserilor utilizați în cercetare a fost de 2 kW, iar puterea pulsurilor a fost de 1000-5000

The material melted by the laser beam can contract due to surface tension, and spherical melts can form at the ends of the filaments of the stranded wire (figure 4). This phenomenon can prevent the formation of a joint between the terminal and the stranded wire. The solution was only possible by using a pulsed Nd:YAG laser that could be operated in pulse shaping mode. The total pulse time was typically 10–20 ms. The beam diameter and pulse power must be adjusted depending on the number and cross-section of the filaments of the stranded wire. Thus, the beam diameter can range from 0.5 to 2.5 mm. This is greatly complicated by the presence of a tin coating on the surface of one of the components of the joint, and when a stranded wire consisting of aluminium strands rather than copper must be welded onto the terminal. The cooling effect of shielding gas must also be considered. The average power of the lasers used in the research was 2 kW, and the pulse power was 1000–5000 kW; at the beginning of the

kW; la începutul cercetării, am folosit un laser TruLaser Station 5004, apoi un laser TruPulse 103.

research, we used a TruLaser Station 5004, then a TruPulse 103 laser.

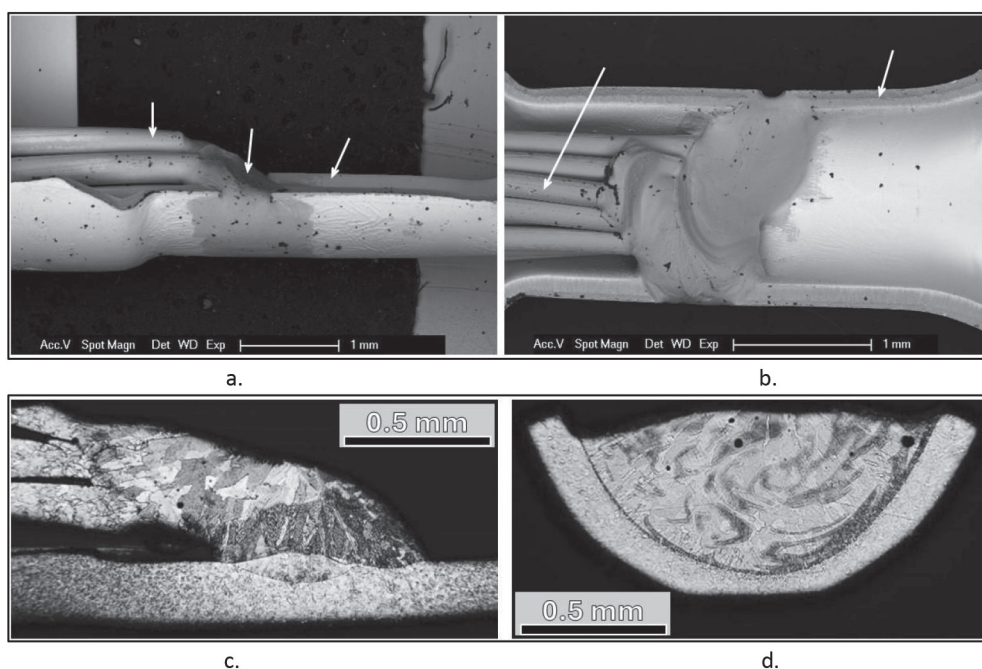


Figura 4. Îmbinare sudată cu laser între un fir flexibil de cupru neacoperit și un terminal de cupru acoperit cu staniu, îndoit longitudinal în formă de U; vedere laterală (a), vedere de sus (b); secțiune longitudinală (c), secțiune transversală (d)

Figure 4. Laser welded joint between uncoated stranded copper stranded wire and longitudinally U-shape bent, tin-coated copper terminal; side view (a), top view (b); longitudinal section (c), cross section (d)

Capacitatea de încărcare a îmbinării poate fi crescută prin crearea unei îmbinări sudate local în mai multe puncte de-a lungul lungimii suprapuse dintre capătul firului torsadat și terminal; în figurile 5 și 6 sunt prezentate două astfel de exemple. Sudarea capătului firului pe terminal poate crește semnificativ rezistența mecanică a conectorilor formați prin sertizare. Aceste suduri pot fi efectuate doar cu un laser echipat cu optică de focalizare programabilă (PFO) pentru poziționarea, fixarea și deplasarea dispozitivelor de înaltă precizie.

The load capacity of the joint can be increased by creating a local welded joint at several points along the overlapping length of the stranded wire end and terminal; two samples are seen in figures 5 and 6. Welding the wire end onto the terminal can significantly increase the load capacity of connectors formed only by crimping. These tasks can only be performed with a laser that is equipped with programmable focusing optics (PFO) for high-precision positioning, fixing and moving devices.

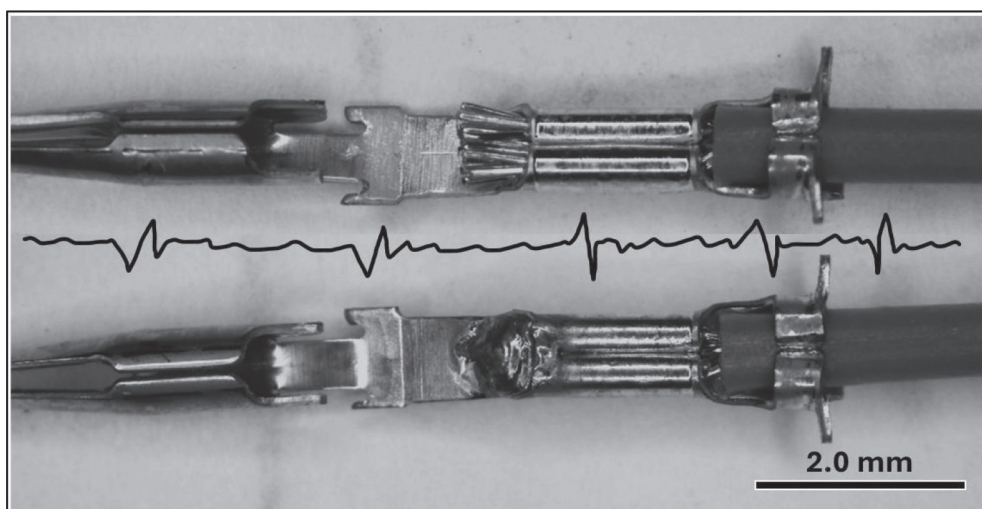


Figura 5. Conector sertizat înainte și după sudarea cu laser a capătului firului torsadat format din filamente de cupru

Figure 5. Crimped connector before and after laser welding of stranded wire end consisting of copper filaments

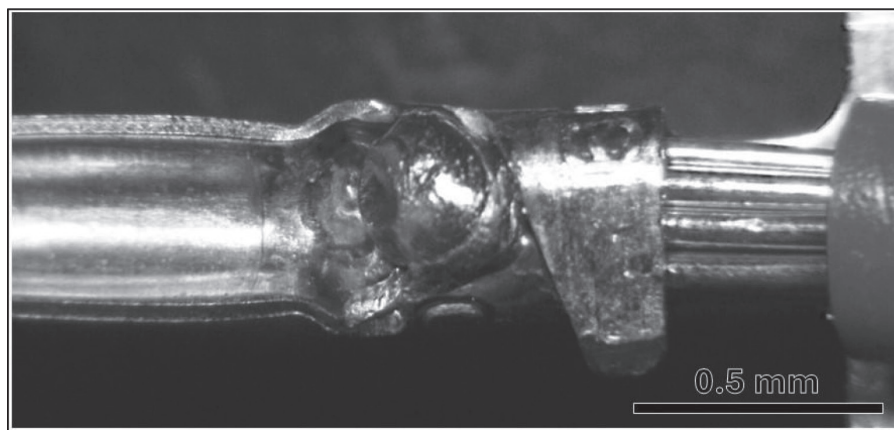


Figura 6. Conector sertizat după sudarea cu laser a capătului firului torsadat format din filamente de aluminiu

Figure 6. Crimped connector after laser welding of stranded wire end consisting of aluminium filaments

Sistemul PFO – controlat de programul TruControl 1000 – a oferit posibilitatea de a stabili o traiectorie de sudare opțională într-un singur puls de sudare, așa cum se arată în figura 7.

The PFO system – controlled by TruControl 1000 program – provided the possibility to establish an optional welding path within one welding pulse, as it is shown in figure 7.

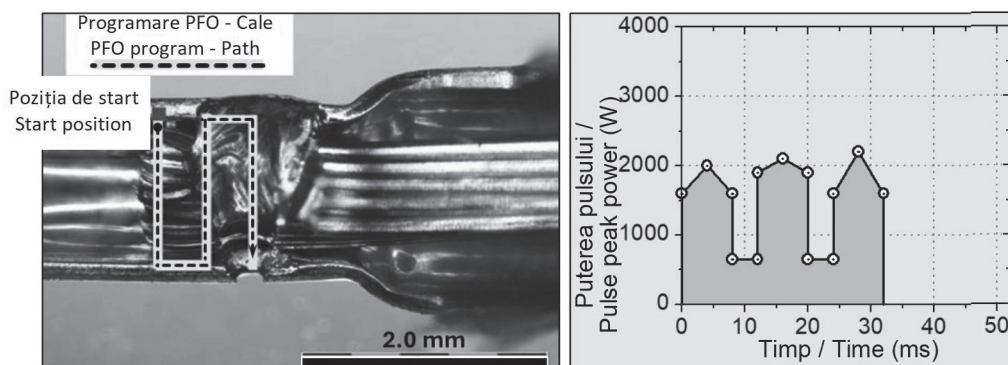


Figura 7. Traseul de sudare (a) și forma impulsului (b) utilizate pentru sudarea filamentelor torsadate de cupru neacoperite la terminalul de cupru neacoperit

Figure 7. Welding path (a) and pulse shape (b) used for welding uncoated copper stranded filaments to uncoated copper terminal

Pe lângă forma unică a traseului de sudare, forma impulsului poate fi creată și în cadrul unui singur puls de sudare. Variabilitatea traseului de sudare și a formei impulsului oferă posibilități suplimentare pentru sudarea tuturor sârmelor pe terminal. În timpul dezvoltării tehnologiei, a fost utilizată și o cameră video de mare viteză pentru a înțelege procesele de topire și solidificare și pentru a le controla în consecință.

Pentru optimizare, a fost, de asemenea, necesară determinarea traseului de sudare și a formei pulsului cele mai favorabile. Topirea sârmelor și evitarea deteriorării terminalului au fost, de asemenea, factori importanți. La determinarea traseului de sudare și a formei pulsului, pentru a evalua calitatea îmbinărilor, au fost luate în considerare următoarele criterii:

- Toate sârmele firului participă la îmbinare.
- Partea din spate a terminalului nu este topită, iar partea laterală se topește doar parțial.
- Tranziția suprafeței sudurii între terminal și firul elementar este continuă.

Besides the unique design of the welding path, the pulse shape can also be edited within one welding pulse. The variability of the welding path and the pulse shape offers additional possibilities for the welding of all filaments to the terminal. During the development of the technology, a high-speed camera was also used to understand the melting and solidification processes and to control them accordingly.

Determining the favourable welding path and the pulse shape is also an optimization task. Melting of the filaments and avoiding the damage of the terminal are also important factors. The following criteria were considered when determining the welding path and pulse shape to assess the quality of the joints:

- All filament of the strand is involved in the joint.
- The back of the terminal is not melted, and the side of the terminal melts only slightly.
- The transition of the weld face between the terminal and the strands is continuous.

Câteva dintre observațiile făcute în timpul acestei cercetări experimentale sunt:

- Terminalele în formă de U sunt evident mai favorabile în ceea ce privește designul îmbinării și geometria sudurii. Prin utilizarea lor, se poate obține o rezistență a îmbinării cu aproximativ 40% mai mare decât în cazul terminalelor plate.
- La utilizarea conectorilor placați cu staniu, staniul a influențat pozitiv condițiile de umectare de pe fire și de pe suprafața terminalului. Cu toate acestea, în sudură s-a format o zonă bogată în staniu, unde duritatea atinge valoarea de 320 HV. Acest lucru crește rezistența îmbinării sudate, dar răspunsul la oboseală poate fi evaluat doar pe baza unor teste suplimentare.
- Este evident că, atunci când vine vorba de integrarea în producție a sudării cu laser a unor produse similare, dar în general foarte diverse, proiectarea bazată pe statistică a metodelor experimentale, precum și analiza datelor devin instrumente indispensabile pentru dezvoltarea tehnologică. În acest scop a fost utilizat software-ul Camo Unscrambler. Această metodă de proiectare asigură reproductibilitatea și prelucrarea ulterioară a factorilor tehnologici.

3. Concluzii

Procesul de schimbare tehnologică, descris pe scurt mai sus, a reușit să ofere capacități ingineresti semnificative. Printre acestea s-au numărat inginerii de dezvoltare ai producătorului, inginerii de cercetare și dezvoltare de la universități și institute de cercetare, precum și inginerii de la companiile de aplicații laser. Procesul a durat totuși doi ani, dar a fost un succes deplin. Producătorul a primit protecție prin brevet pentru produsele fabricate în acest mod.

Bibliografie/References

- [1] Roessler, D.M. (1991) Update on laser processing in the automotive industry. International Conference on Lasers '91, San Diego, paper WF.5
- [2] Suh, J. and Han, Y.H. (1994) Laser welding in automotive industry. Journal of KWJS, 12(2), 49-63
- [3] Kyung-Min Hong, Yung C. Shin (2017) Prospects of laser welding technology in the automotive industry: A review. Journal of Materials Processing Technology, 245, 46-69
- [4] Angeloni, C., Francioso, M., Liverani, E., Ascari, A., Fortunato, A., Tomesani, L. (2024) Laser welding in e-mobility: process characterization and monitoring. Lasers in Manufacturing and Materials Processing (2024) 11:3–24

Pentru citare:

Dobranszki, J., Introducing laser welding into the production of airbag connectors, Sudura, nr. 3 (2025), year XXXV, 34-39

Some experiment-based conclusions of this research are:

- U-shaped terminals are clearly more favourable in terms of joint design and welding geometry. With their use, approximately 40 % higher joint strength can be achieved than with flat terminals.
- When using tin-plated connectors, tin positively influenced the wetting conditions on the elementary strands and the terminal surface. However, a tin-enriched zone was formed in the weld, where the hardness reaches values around 320 HV. This increases the strength of the welded joint, but the fatigue characteristics can only be evaluated based on further tests.
- It is obvious that when it comes to integrating laser welding of similar, but overall, very diverse products into production, statistics-based design of experiment methods and data analysis become indispensable tools for technological development. In this case, the Camo Unscrambler software was used for this purpose. This experimental design method ensures the reproducibility and subsequent processing of technological factors.

3. Conclusions

The technology change process, which was briefly described above, was able to provide significant engineering capacities. This included the manufacturer's development engineers, research and development engineers from universities and research institutes, and engineers from laser application companies. The process still took two years, but it was a complete success. The manufacturer received patent protection for the products manufactured in this way.