

Trenutne smeri razvoja pri spajanju materialov v avtomobilski industriji

Current Development Trends For Material Joining In The Automotive Industry

Janez Tušek - Damjan Klobčar

Prispevek opisuje trenutno stanje spajanja materialov v svetovni avtomobilski industriji. Teoretično so opisani in s praktičnimi primeri prikazani postopki spajanja materialov, ki se uporabljajo v največjih avtomobilskih tovarnah v svetu. Prikazano je uporovno varjenje, obločno varjenje, spajkanje, hibridno varjenje, varjenje čepov, lepljenje in mehansko spajanje. Na koncu je podan sklep, ki pove, da gre razvoj na tem področju v smeri uporabe laserja za varjenje in spajkanje, lepljenja in mehanskega spajanja s kovicami in brez njih.

© 2004 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: spajanje materialov, varjenje, spajkanje, lepljenje)

This paper describes the current state of the field of material joining in the world's automotive industry. The processes of material joining that are used in the biggest automotive factories are theoretically described and confirmed with practical examples. Resistance spot welding, arc welding, brazing, hybrid welding, stud welding, adhesive bonding and mechanical joining are described. We conclude that the future of material joining in the automotive industry is likely to be in the use of laser beams for welding and brazing, adhesive bonding and in mechanical joining with or without rivets.

© 2004 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: joining, welding, brazing, adhesive bonding)

0 UVOD

Razvoj v avtomobilski izdelavi je eden izmed najizrazitejših in najpomembnejših v celotni kovinski in elektroindustriji. To še posebej velja za industrijsko razvite države, kamor lahko štejemo tudi Slovenijo. Velika konkurenca na svetovnem trgu narekuje izdelovalcem avtomobilov uporabo novih materialov, sodobnih izdelovalnih tehnologij in sodobnih ter okolju prijaznih tehnik spajanja.

Še pred nedavnim so bile avtomobilske karoserije izdelane skoraj izključno iz malolegirane jekla, varjene plamensko, obločno in elektroporovno točkovno. Z uporabo novih materialov, kakor so jekla z veliko trdnostjo, prevlečene jeklene pločevine, aluminij in kompoziti pa so se potrebe po razvoju in uvajanju novih tehnologij spajanja močno povečale.

Na sliki 1 so shematsko predstavljene tehnike spajanja materialov, ki se dandanes najpogosteje uporabljajo v avtomobilski izdelavi. Razdelimo jih lahko v pet večjih skupin, to so; varilni postopki, spajkanje, hibridno varjenje, lepljenje in mehansko spajanje ([1] in [2]).

0 INTRODUCTION

Developments in the automotive industry are some of the most intensive and important in the metal and electrical industries. This is especially true for the group of highly developed industrial countries, of which Slovenia is a member. Fierce competition ensures that the world's car producers use new materials, state-of-the-art production technologies and environmentally friendly joining techniques.

Not long ago, almost all car bodies were made of mild steel, and were flame welded, arc welded or resistance spot-welded. The use of new materials – different grades of high-strength steels, steel sheets with different kinds of surface coatings, aluminium and plastic composites – has increased the need to develop and introduce new joining technologies.

The joining techniques that are commonly used in the automotive industry are schematically shown in Fig. 1. They can be divided into five major groups, i.e. welding, brazing, hybrid welding, adhesive bonding and mechanical joining ([1] and [2]).

I VARJENJE

Varjenje je še vedno tehnika spajanja, brez katere si sploh ne moremo zamisliti izdelave avtomobila. Razvoj varjenja je sledil novostim, podobno kakor razvoj na drugih področjih. Nastajali so posodobljeni, izboljšani in popolnoma novi postopki varjenja (spajanja) materialov, hkrati pa izginjali stari, neučinkoviti postopki. Že skoraj celo desetletje v avtomobilski industriji ne uporabljamo več plamenske tehnike. Počasi izginja klasično obločno varjenje. Za varjenje vedno več uporabljamo laser, več vrst hibridnih postopkov obločnega varjenja in obločne postopke za varjenje čepov ter še nekatere druge postopke varjenja; kakršni so ultrazvočno varjenje, varjenje s trenjem, varjenje z elektronskim snopom, difuzijsko varjenje in drugo. Še vedno je med vsemi postopki varjenja, elektroporovno točkovno varjenje daleč najpomembnejši in najpogosteje uporabljan postopek varjenja v avtomobilski izdelavi [5].

1.1 Uporovno varjenje

Pri uporovnem varjenju izrabljamo joulsko toploto, ki se razvije pri prevajanju varilnega toka skozi dve ali celo več pločevin, ki običajno sestavljajo prekrivni zvarni spoj. Ker je dotikalna upornost na stiku pločevin največja, se v tej točki pojavi največ toplote, ki raztali del materiala obeh varjencev za nastanek zvarne točke.

V sodobnih avtomobilih so že okoli 50 % celotne mase avtomobila jekla z veliko trdnostjo, ki pri uporovnem varjenju zahtevajo nekoliko spremenjen varilni postopek. Zahteva se večja pritiska sila na elektrodah, manjša jakost varilnega toka, daljši čas varjenja in pa daljši čas držanja sklenjenih elektrod po varjenju.

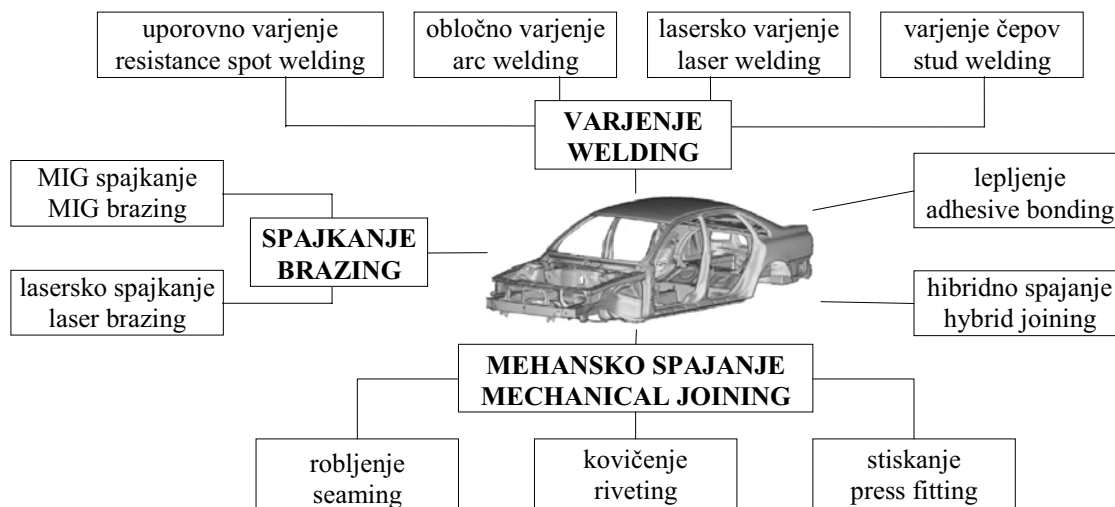
I WELDING

Welding is still the most important joining technique for car production. The development of welding techniques has followed innovations and developments in other fields. Modernized, improved and completely new joining techniques have been developed, while old and unproductive techniques have disappeared. It has been ten years since flame welding was used in the automotive industry, and classical arc welding is slowly disappearing. These days, laser welding, various hybrid techniques of arc welding and stud welding are frequently used, as well as ultrasonic welding, friction welding, electron-beam welding, diffusive welding, etc. However, of all welding procedures, resistance spot welding is still the most important and the most widely used in automobile manufacturing [5].

1.1 Resistance spot welding

Resistance spot welding makes use of Joule heating, which is produced when a welding current is conducted through two or more steel sheets, which often form a lap joint. Because the resistance is the highest at the sheet contact, most of the heat is produced there. This heat then melts the material and the welding spot is formed.

A modern car body contains approximately 50 weight-% of HSS; this requires different welding parameters when it is resistance spot welded. An increased electrode force, a decreased welding current, an increased welding time and increased holding times for the electrodes are the required welding parameters.



Sl. 1. Tehnike spajanja materialov, ki jih uporabljamo v avtomobilski izdelavi
Fig. 1. Joining techniques used in automobile manufacturing

V praksi se vedno bolj uveljavlja borirano jeklo z veliko trdnostjo od 1200 do 1400 MPa, ki se uporablja za odbojnik, ojačitvene loke pri strehah in za pragove avtomobilskih karoserij.

Pri velikem številu avtomobilov so odbojniki privijačeni na karoserijo avtomobila. Boljša rešitev je, če so odbojniki na karoserijo privarjeni, ker se s tem poveča stabilnost, predvsem torzijska togost [3].

Pri uporovnem točkovnem varjenju še vedno ostajata največja težava in največji strošek obraba elektrod; predvsem zaradi prevlečenih materialov. V avtomobilski izdelavi se uporabljajo predvsem pocinkana jeklena pločevina. Čisti cink ima tališče pri 419 °C in vrelišče pri 906 °C, kar pomeni, da cink zavre pri mnogo nižji temperaturi, kakor se jeklo ali baker raztalita. Cink med varjenjem prodira v bakreno elektrodo, dela novo zlitino, ki ima večjo upornost, kar spremeni pogoje varjenja. V novejšem času se uporabljajo sintrane elektrode, izdelane iz bakra in aluminijevega oksida. Vzdržljivost teh elektrod pri uporovnem varjenju pocinkanih materialov je precej boljša in doba trajanja daljša.

Drugi večji problem točkovnega uporovnega varjenja je v zagotavljanju kakovosti in preverjanju kakovosti zvarne točke. Veliko število raziskovalcev po svetu proučuje uporabo različnih metod preizkušanja kakovosti zvarnega spoja brez porušitve. Kljub temu, danes še ne poznamo metode, ki bi bila uporabna v velikoserijski proizvodnji za pregled vseh zvarnih točk na vseh avtomobilih [4].

1.2 Obločno varjenje

Pri izdelavi avtomobilskih karoserij se obločna tehnika varjenja praktično uporablja le še za privaritev tečajev za vrata na karoserijo in za izdelavo posameznih elementov podvozja avtomobilov. Pri tem moramo omeniti obločno varjenje MAG s ploščato elektrodo, ki je bilo razvito prav za izdelavo posameznih elementov za podvozja za različne vrste avtomobilov. S ploščato elektrodo širine od 3 do 5 mm in debeline od 0,5 do 0,8 mm lahko varimo v zaščiti plinske mešanice in dosežemo hitrosti do 2,0 m/min ([5] in [6]).

In practical applications, boron-alloyed-type high-strength steel with a strength ranging from 1200 to 1400 MPa is being used more often. This steel is normally used for the car bumpers, the B-pillar roof bow and the B-pillar doorstep reinforcements of car bodies.

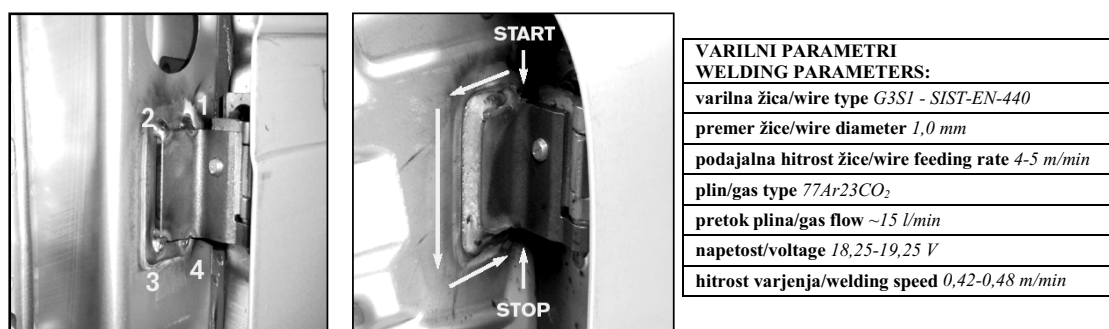
Generally, the bumper beam is screwed to the car body, but the body torsion stiffness is much better if a welded solution is applied [3].

In general, the main problems and the high costs are associated with electrode wear, which is due to coated materials. Car bodies are often produced from zinc-coated steel sheets. Pure zinc melts at 419 °C and boils at 906 °C, which means that it boils at a much lower temperature than the steel and copper melt. During the welding, zinc penetrates the copper electrode, and produces a new alloy with a higher resistance, which changes the welding conditions. More recently, sintered electrodes of copper and aluminium oxide are used for the welding of zinc-coated sheets, due to improved endurance and a longer electrode life.

Other measures have to be taken regarding quality assurance in the running production. Besides destructive testing, the non-destructive testing of welds is frequently done. Generally, there is no test that can be widely used for the testing of all the welding spots on the car body in high series production [4].

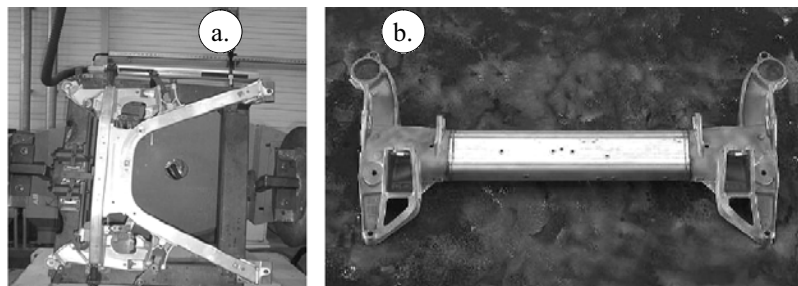
1.2 Arc welding

In car-body manufacturing, arc welding is mainly used for precision mounting of the side doors, and for the sub-frames. Metal active gas (MAG) welding with a flat filler electrode was developed for the welding of car-body sub-frames. It enables welding speeds up to 2.0 m/min when welding with gas-shielding mixtures and flat electrodes of 3-to-5-mm thick ([5] and [6]).



Sl. 2. Potek klasičnega varjenja MAG z žico premera 1,2 mm za privaritev tečajev za vrata na karoserijo avtomobila [5]

Fig. 2. The course of MAG welding with a filler wire of 1.2-mm diameter for side-door-hinge welding on a car body [5]



Sl. 3. Utripno varjenje MIG aluminijastih komponent za sprednje podvozje avtomobila znamke BMW 7 (a) in za avtomobil znamke Citroen C5 (b) [2]

Fig. 3. Pulsed MIG welded aluminium components: a) front axle sub-frame, BMW 7-series and b) rear axle, Citroen C5 [2]

Na sliki 2 je prikazan potek klasičnega varjenja MAG z okroglo žico premera 1,2 mm za pritrditvi tečajev za vrata na karoserijo avtomobilov. Ta postopek še vedno uporabljajo v različnih tovarnah za različne tipe avtomobilov (Renault - clio, Volvo - S40, Citroen - C5 itn).

V večji meri se obločna tehnika varjenja uporablja pri izdelavi podvozij, obes in osi. Na sliki 3 je prikazano varjenje MIG z utripnim varilnim tokom pri izdelavi komponent iz aluminija za avtomobil znamke BMW 7 (sl. 3a) in za avtomobil znamke Citroen C5 (sl. 3b).

1.3 Varjenje čepov

Varjenje čepov imenujemo postopek, s katerim pravokotno na površino privarimo element s poudarjeno eno izmero (vijaki, nosilni čepi, nosila za kable itn). V avtomobilski izdelavi ta postopek uporabljamo za pritrnitev nosil za kable, nosil za pritrnitev izolacije in drugo.

Na sliki 4 je shematsko prikazan postopek za varjenje čepov, ki se uporablja v avtomobilski izdelavi [7].

1.4 Lasersko varjenje

V avtomobilski izdelavi se uporaba laserja močno povečuje. Uporabljamo ga za rezanje, varjenje, spajkanje in drugo (preoblikovanje, toplotno obdelavo). Lasersko varjenje je močno povezano s tako imenovano

Fig. 2 shows the course of MAG welding, with a filler wire of 1.2 mm diameter, for the side-door-hinge welding on a car body. This is a generally used welding procedure for side-doors-hinge welding (Renault - Clio, Volvo - S40, Citroen - C5, etc).

Generally, arc welding is used for the welding of sub-frames, axle sub-frames and axles. The Fig. 3 shows MIG pulsed welding of aluminium components for the BMW 7-series (Fig. 3a) and for the Citroen C5 (Fig. 3b).

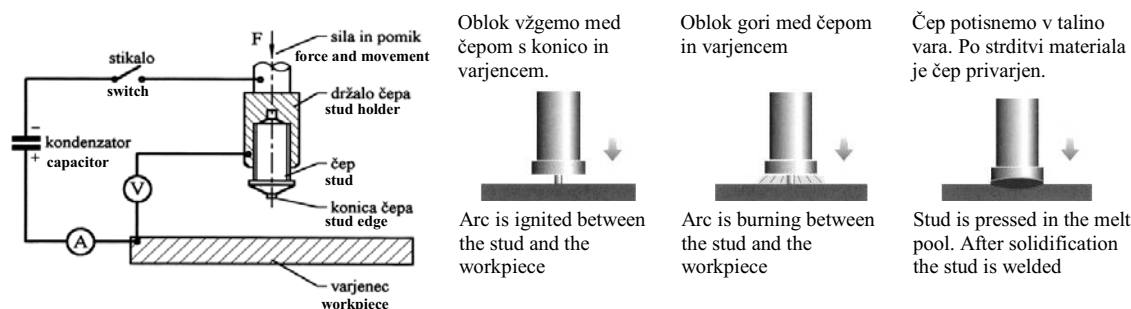
1.3 Stud welding

Stud welding is used for the perpendicular welding of components with one dimension expressed (screws, supporting studs, cable carriers, etc.). Generally, this procedure is used for the fastening of cable carriers, carriers for holding the isolation, etc.

Fig. 4 shows stud welding as used in the car-production industry [7].

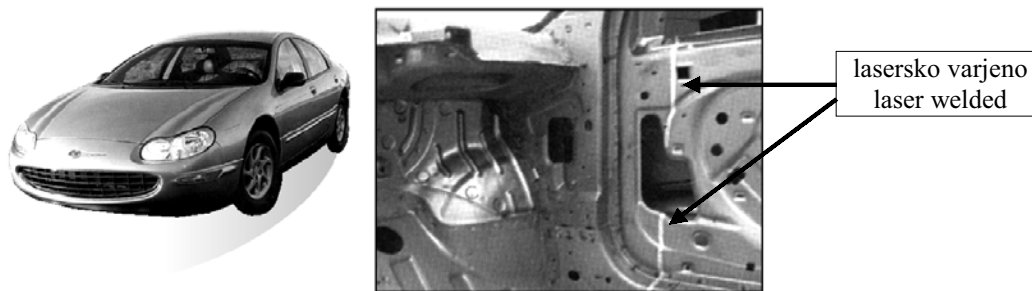
1.4 Laser welding

In general, the use of lasers in the automotive industry is on the increase. Lasers can be used for cutting, welding, brazing and other techniques (forming, heat treatment). Laser welding is closely

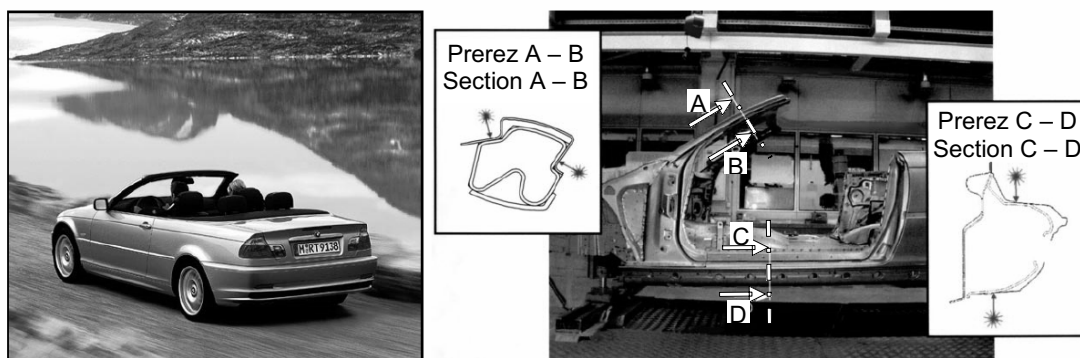


Sl. 4. Shematski prikaz varjenja čepov na karoserijo avtomobila [7]

Fig. 4. Stud welding on a car body [7]



Sl. 5. Lasersko varjeni krojeni deli za notranjo stran vrat za avto znamke Chrysler concorde [2]
 Fig. 5. Chrysler concorde: laser-welded tailored blanks for the inner side-door structure [2]



Sl. 6. Uporaba laserskega varjenja pri izdelavi avtomobila znamke BMW 3 cabrio [10]
 Fig. 6. Laser welding of the BMW 3-series cabrio [10]

proizvodnjo krojenih delov, kar pomeni, da z laserjem zvarimo polizdelke in nato te preoblikujemo v končne izdelke. Z uporabo te tehnike lahko prihranimo predvsem pri masi končnega izdelka, pri širini toplotno vplivanega področja in pri možnosti optimalne porazdelitve mehanskih napetosti v končnih izdelkih ([8] in [9]). Na sliki 5 je prikazana notranja stran stranskih vrat avtomobila znamke Chrysler concorde, ki je zvarjena po načelu krojenih delov. Tista dela notranje strani vrat, na katerih so tečaji vrat, in na drugi strani, kjer je ključavnica, sta izdelana iz debelejšje pločevine kakor preostali deli. Med seboj pa so zvarjeni z laserjem in nato preoblikovani kakor prikazuje slika 5.

Veliko možnosti za uporabo laserskega varjenja sploh še ni izkoriščenih. Tu mislimo predvsem na zamenjavo uporovnega točkovnega varjenja z laserskim varjenjem in na številne možnosti pri konstrukcijskih rešitvah, ki naj bi bile prilagojene laserskemu varjenju.

Kot primer si oglejmo sliko 6, ki prikazuje dva dela nosilne konstrukcije avtomobila znamke BMW 3 cabrio, ki sta izdelana s hidropreoblikovanjem in nato varjena z laserjem. To je mogoče izvesti, če se zunanji in notranji del tesno stikata s hidropreoblikovanim nosilom. Prav zato je pomembno, da varilni strokovnjaki in konstrukterji sodelujejo že od samega začetka načrtovanja novega avtomobila [10].

V obeh primerih vidimo, da z laserjem varimo prekrivne spoje, ki sta iz aluminijaste pločevine. Uporabljen je bil CO₂ laser moči 8 kW. Celotna dolžina vseh neprekinjenih varov je bila 1,6 m.

connected to the tailored blanks technique, which consists of the laser welding of semi manufactures that are then formed in the finished product. With the use of this technique, the optimum material thickness and strength can be provided for different areas in a single component, the mass of the product can be reduced and the width of the heat-affected zone can be narrower ([8] and [9]). Fig. 5 shows the inner side-door structure of a Chrysler concorde that is produced using laser-welded tailored blanks. The thicker sections of the tailored blank provide the appropriate strength in the hinge and door-lock attachment area and are laser welded with the thinner area of the car doors. These parts are then formed as shown in Fig.5.

In general, only a few advantages of laser welding are exploited. Resistance spot welding can be replaced with laser welding and other parts, which have to be designed for laser welding.

For instance, Fig. 6 shows the joint geometries for the A-pillar and floor sill of the BMW 3-series cabrio, which are hydroformed and then laser welded. This can be made if the inner and outer sheets are in close contact. To produce such an application, welding experts and designers must cooperate from the beginning of the new car project [10].

In both the above-mentioned cases, the aluminium sheets in the lap joint are laser welded with an 8kW CO₂ laser. The overall weld length is 1.6 m.

2 SPAJKANJE

Spajkanje kot postopek spajanja se v avtomobilski industriji uporablja že od vsega začetka izdelave avtomobilov, toda tehnika spajkanja se je od takrat močno spremenila. Dandanes v največji meri uporabljamo le dva postopka, ki sta dokaj avtomatizirana in zelo učinkovita. Prvi je spajkanje MIG in drugi lasersko spajkanje.

V splošnem ima postopek spajkanja kar nekaj prednosti v primerjavi z varjenjem. Kot največjo prednost štejemo majhen vnos energije med spajkanjem in s tem manjše zaostale napetosti in deformacije v celotnem spajkanem spoju.

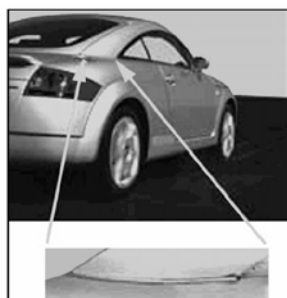
2.1 Spajkanje MIG

Spajkanje MIG se po opremi ne razlikuje od varjenja MIG, po postopku in dodatnem materialu pa ne od klasičnega spajkanja. Pri spajkanju MIG uporabljamo električni oblok kot vir toplote za taljenje spajke in za ogretje delov na delovno temperaturo. Dodatni material je v obliki žice, ki je navita na kolut in se med spajkanjem z nespremenljivo hitrostjo dovaja na mesto spajkanja. Za zaščito varilnega obloka, tekoče spajke in mesta spajkanja uporabljamo čisti argon. Najpogosteje spajkanje MIG uporabljamo za spajanje pocinkanih materialov, nerjavnih jekel in povski tam, kjer je pomembna korozijska odpornost spoja. Pri spajkanju pocinkanih pločevin se cink veže z bakrom iz spajke in se na ta način prepreči njegov odgor.

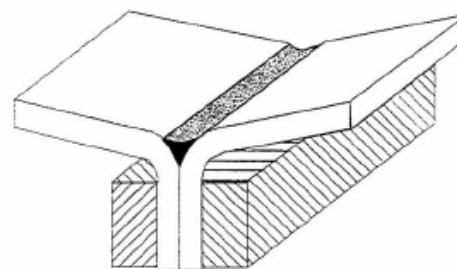
Vnos energije je pri spajkanju MIG v primerjavi z varjenjem MIG tudi do desetkrat manjši ([11] in [12]).

2.2 Lasersko spajkanje

Za lasersko spajkanje lahko zapišemo, da je nov postopek spajanja, saj je bil prvič uporabljen pri izdelavi avtomobila znamke Audi TT coupe, kar je prikazano na sl. 7. Z raziskavami je bilo ugotovljeno, da je mogoče le s spajkanjem doseči zaželeno obliko med streho in preostalim delom karoserije, ki sta izdelana iz pocinkane jeklene pločevine ([11] in [13]).



a)



b)

Sl. 7. Lasersko spajkanje karoserije avtomobila znamke Audi TT coupe: a) – prikaz spoja na avtomobilu, b) – shematski prikaz spajkanega spoja [2]

Fig. 7. Laser brazing of the Audi TT coupe: a) joint on the car, b) schematically shown brazed joint [2]

2 BRAZING

Brazing has been used in the car industry from the earliest days of car production. Since then it has undergone many changes. These days MIG brazing and laser brazing are widely used as a result of automation and high productivity.

In general, brazing has advantages over welding due to the lower heat input, which reduces the residual stresses and deformations in the brazed joint.

2.1 MIG brazing

MIG brazing has similarities with MIG welding, in terms of the equipment, and with classical brazing in terms of the procedure and filler material. In this case an electrical arc is used for melting the brazing wire and for heating the workpieces to the working temperature. The brazing wire is coiled on a disk and is brought to the work place at a constant speed. For the shielding of the arc, the liquid braze and the brazing workplace, pure argon gas is used. MIG brazing is used for brazing zinc-coated sheets, stainless steels and where corrosion resistance of the joint is required. When brazing zinc-coated sheets, zinc bonds with the copper and prevents its burn off.

The heat input during MIG brazing can be up to ten times smaller than during MIG welding ([11] and [12]).

2.2 Laser brazing

Laser-beam brazing is a new manufacturing process, developed and used for the first time in the production of the Audi TT coupe (see Fig. 7). Comparative investigations showed that only with this new process is it possible to achieve the sharp-edged transition from the roof dome to the wing in the area of the C-pillar, because zinc-coated material was used ([11] and [13]).

Uporabljena je bila spajka na osnovi srebra in cinka s tališčem pri temperaturi 650°C. Spajka je bila na mesto spajkanja dovajana v obliki tanke brezkončne žice s protitaktno napravo in se je talila v zaščiti inertnega plina argona. Uporabljen je bil YAG laser z močjo 1 kW. Celotna dolžina spajkanega spoja na eni karoseriji je bila 330 mm.

Drugi primer uporabe laserskega spajkanja je spajkanje pokrova prtljažnika pri avtomobilu znamke VW bora. Izdelan je iz dveh delov. Tudi v tem primeru je bila uporabljena spajka v obliki žice, brez talila in raztaljena v zaščiti nevtralnega (argon) plina.

Zaradi zelo ugodnih tehnoloških, trdnostnih in ekonomskih rezultatov laserskega spajkanja pri izdelavi avtomobilskih karoserij se je podjetje VW odločilo, za širšo uporabo tega postopka v svoji proizvodnji pri izdelavi številnih različnih vrst avtomobilov.

2.3 Plazemsko spajkanje

Plazemsko spajkanje je v veliki meri podobno laserskemu spajkanju. Postopka se razlikujeta le v viru toplote za ogretje pločevin in za raztalitev spajke. Prednost plazemskega spajkanja je v cenejši napravi in v nekoliko širšem toplotnem viru, kar je v določenih primerih prednost, ker ogreje širšo okolico z nekoliko nižjo intenzivnostjo. Plazemsko lahko spajkamo ročno v vseh položajih ali avtomatsko ali pa celo robotizirano ([14] in [15]).

3 LEPLJENJE

Pri izdelavi avtomobilskih karoserij smo do danes lepljenje uporabljali le kot pomožno tehnologijo spajanja. Večinoma se je lepljenje uporabljalo za polnitev in pečatenje raznih robov ali zaključkov.

Lepljenje pa se v zadnjem obdobju vedno bolj uporablja kot samostojna tehnologija spajanja ali pa kot del mešanega postopka spajanja; to je v kombinaciji z drugim postopkom varjenja (uporovno, lasersko itn.) ali mehanskega spajanja.

Primer uporabe lepljenja v avtomobilski industriji je Lotus elise. Avtomobilska karoserija tega avtomobila je izdelana z lepljenjem, z lepilom na podlagi epoksidnih smol, ki je bilo sušeno z zunanjim ogrevanjem. Posamezni lepljeni elementi so med seboj vijачeni. Na celotni karoseriji je bilo uporabljenih 155 vijakov [3].

Lepljenje ima številne prednosti pred drugimi postopki spajanja. Postopek je mogoče izvesti le z ene strani, spoj deluje prek celotne površine, kar poveča statično in dinamično togost in trdnost celotne karoserije. Največja prednost lepljenja je v zmožnosti spajanja različnih kovinskih (jeklo, aluminij) in nekovinskih (polimeri, keramika, kompoziti) materialov med seboj ([16] in [17]).

Z razvojem novih lepil na podlagi gume se je možnost lepljenja še povečala. Z uporabo različnih vrst lepil, oblike posameznih elementov bo mogoče izdelati poljubne in zaželeno dele, ki bodo ustrezali sodobnim usmeritvam s trdnostnega, z varnostnega,

The brazing wire is silver based and has an extremely low processing temperature of 650 °C. Thin brazing wire is melted in the argon shielding gas and is brought to the brazing place with a push-pull system. The brazing cell is equipped with a 1kW Nd:YAG laser source. The total brazing length on a single car body is estimated to be 330 mm.

The second example of laser brazing is the brazing of the outer trunklid, which consists of an upper and a lower part. Even in this case, brazing wire is used with no flux and the brazing is conducted in an argon shielding gas.

Because of the good technological, strengthening and economic results of laser brazing, VW claims that all future trunklids will be made in this way.

2.3 Plasma brazing

Plasma brazing is a process similar to laser brazing. The difference between them is in the heat source for melting the braze and heating the workpiece. The advantage of plasma brazing is a cheaper device and a wider heating area, which heats a wider part of the workpiece with a lower intensity than the laser. Plasma brazing can be manual, automated or even robotised ([14] and [15]).

3 ADHESIVE BONDING

Until now, adhesives have been used to a limited extent in car-body manufacturing. They are mainly used as a combination of a sealant and a stiffening element for closures, such as hoods and trunk lids.

Adhesive bonding has recently been used as an independent joining technology or as part of hybrid joining, i.e. in combination with other welding procedures (resistance spot welding, laser welding, etc) or mechanical joining.

An example of an adhesive bonding application is the aluminium structure of a Lotus Elise, which features an interesting assembly philosophy consisting of a one-component curing epoxy adhesive combined with 155 flow-drill screws.

Adhesive technology offers many advantages, i.e. single-sided accessibility, and increased stiffness and strength as a result of continuous joints. Another big advantage of adhesive bonding is its ability to join different materials, such as aluminium to steel or polymers to metals ([16] and [17]).

The development of new, rubber-based adhesives will increase the possibilities of adhesive bonding. The use of different adhesives and element shapes will enable the production of specially designed products, which will respond to state-of-

okoljevarstvenega, ekonomskega in oblikovalskega vidika.

the-art trends of stiffness, safety, ecology, economics and design.

4 HIBRIDNO VARJENJE

Hibridno varjenje imenujemo postopek spajanja materialov, v katerem sta združena dva samostojna postopka varjenja. Najpogosteje sta to lasersko in oblačno varjenje. Lahko uporabimo CO₂ ali YAG laser in pa enega od oblačnih postopkov varjenja (MAG/MIG, TIG, plazma).

Medsebojni sinergetski učinek laserskega žarka in varilnega obloka prispeva kar nekaj prednosti varjenja, ki se izraža na različne načine. S hibridnim postopkom lahko povečamo hitrost varjenja, produktivnost, globino uvara, kakovost zvarnega spoja ter izkoristek varjenja in uporabljene energije ([18] in [19]).

5 MEHANSKO SPAJANJE

K mehanskemu spajanju materialov štejemo klasično kovičenje, samokovičenje in robljenje. Pri klasičnem kovičenju uporabljamo kovice različnih oblik, različnih materialov in za različne načine pritrdjevanja. Na sliki 8 je prikazan primer enostranskega kovičenja s posebej oblikovano dvokrako kovico, ki prebije obe pločevini in jih poveže v trajno zvezo.

Kovica mora biti izdelana iz kakovostnejšega materiala kakor sta pločevini, ki ju kovičimo. Kovica mora imeti določeno trdnost, togost in preoblikovalnost. Dobro preoblikovalne materiale pa lahko tudi samokovičimo, kar pomeni, da kovice sploh ne potrebujemo. V tem primeru mora imeti matrica (spodnji del orodja) posebno obliko, v kateri se preoblikujeta obe pločevini in s tem nastane neločljiva zveza.

Največje prednosti mehanskega spajanja so: tehnika spajanja je preprosta, zaostale napetosti v spoju so majhne, praktično brez deformacij, postopek je za okolje prijeten, orodje in oprema sta razmeroma poceni z dolgo dobo trajanja ter z majhnimi stroški vzdrževanja in zagotavljanje kakovosti del je razmeroma preprosto.

4 HYBRID WELDING

Hybrid welding consists of joining processes involving two independent welding procedures. Many times these include laser (CO₂ or the Nd:YAG) and arc-welding techniques (MAG/MIG, TIG, plasma).

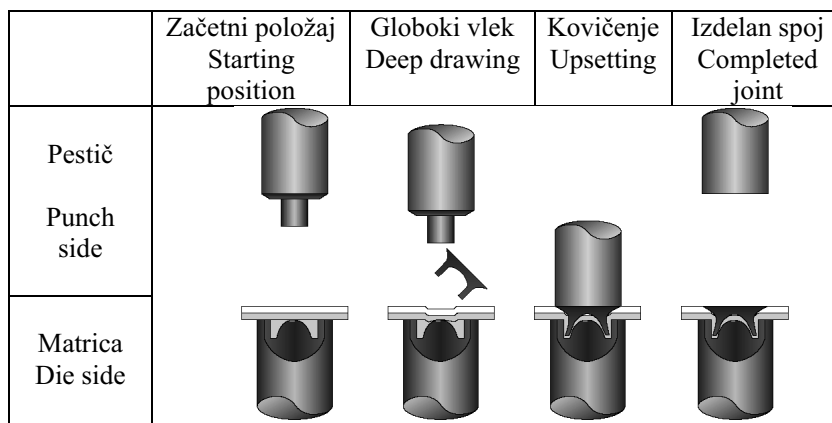
The synergetic effect of a laser beam and a welding arc enables higher welding speeds and productivity, as well as better weld depths, welding-joint quality and energy efficiency ([18] and [19]).

5 MECHANICAL JOINING APPLICATIONS

Mechanical joining applications consist of riveting, self-piercing riveting and clinch joining. When riveting rivets of different shapes and materials are used for divers joining applications. Fig. 8 shows one-side riveting with a specially shaped two-legged rivet that breaks through the sheets and fastens them together in a permanent connection.

The rivet must be of better quality than the riveting sheets. It must have a defined strength, stiffness and formability. Materials with good formability can be self-piercing riveted, which means that no additional rivets are needed when riveting. In this case, the matrices (the bottom part of the tool) must be of a special shape in which both sheets are formed into a permanent connection.

The advantage of mechanical joining techniques are: simplicity, low residual stresses in the joint, almost no deformations, environmentally friendly process, relatively cheap tools, and equipment with a long tool life. Maintenance costs are low and the quality assurance is done relatively easily.



Sl. 8. Enostransko kovičenje z dvokrako kovico [19]
Fig. 8. One-side riveting with a two-legged rivet [19]

6 SKLEPI

V prispevku je podan pregled postopkov spajanja, ki se uporabljajo pri izdelavi avtomobilov. Podanih je nekaj praktičnih primerov uporabe za več vrst različnih vrst osebnih avtomobilov in nakazan razvoj na tem področju za prihodnost.

Iz celotnega prispevka in iz podatkov omenjenih referenc lahko ugotovimo, da imamo dandanes v praksi; to je v industrijski avtomobilski izdelavi uporabljenih veliko število postopkov spajanja materialov, ki se med seboj zelo razlikujejo.

Poleg klasičnega talilnega in netalilnega varjenja uporabljamo spajkanje, lepljenje, mehansko spajanje in sestavljene postopke iz več samostojnih postopkov, ki jih imenujemo hibridno spajanje. Prihodnji razvoj na tem področju lahko v grobem razdelimo v štiri smeri. Za talilno varjenje; to je za bolj obremenjene spoje, se bo v prihodnje v največji meri uporabljalo lasersko varjenje z dodajnim materialom in brez njega ali pa hibridno varjenje (laser + oblok), za trdnostno manj zahtevne spoje se bo uporabljalo spajkanje, ki pa se bo razvijalo v dveh smereh (laser ali spajkanje MIG), tretja smer razvoja bo lepljenje in četrta mehansko spajanje.

V največji meri pa bo razvoj spajanja materialov v avtomobilski industriji odvisen od vrste materialov, ki se bodo uporabljali pri izdelavi avtomobilskih delov.

6 CONCLUSIONS

This paper describes a survey of joining processes that are used in car-body manufacturing. A few practical examples are shown and a number of development trends are indicated.

From the paper and the references it can be concluded that car-body manufacturing facilities use a wide range of different joining techniques.

Besides classical non-melting and melting welding techniques, brazing, adhesive bonding, mechanical joining and hybrid joining processes are used. The development trends in the field of joining are going in four directions. Welding that involves melting will be used for highly loaded joints. For this, laser welding with or without the filler material or hybrid welding (laser + arc) will be used. Joints of lower stiffness will be produced with brazing, where the development will go in two directions, i.e. laser brazing and MIG brazing. The third development direction will be adhesive bonding, and the fourth will be mechanical joining.

Generally, the development directions of joining processes in car manufacturing will depend mainly on the materials that will be used for the car parts.

7 LITERATURA

7 REFERENCES

- [1] Schubert, J., K. Ulrich, H. Scholler (1997) Schweißignung ungleichartiger Verbindungen des Stahlgusses GX12CrMoWVNbN10 – 11 mit niedriglegierten Stählen, *Schweissen & Schneiden*, Vol. 49, 9, 672-676, ISSN 0036-7184.
- [2] Larsson, J. K. (2002) Overview of joining technologies in the automotive industry. Proceedings: Advanced Processes and technologies in welding and allied processes; IIW International Conference, Edited: J. K. Kristensen, Copenhagen.
- [3] Larsson, J.K., L. Bengtsson L. (2001) The joining of high- and extra-high-strength steels in the automotive industry – Pitfalls and Possibilities, *Proceeding DVM-Tag 2001 Fügetechnik im Automobilbau*, Berlin.
- [4] Tušek, J., T. Blatnik (2002) Ultrasonic detection of lack of fusion in spot welds, *Insight*, Vol. 44, No. 10, 684-688, ISSN 1354-2575.
- [5] Himmelbauer, K. (2002) Schutzgasschweißen mit Flachdrahtelektrode, *Schweiss- und Prüftechnik*, Vol. 56, No. 3, 34-35, ISSN 1027-3352.
- [6] N.N. (2001) Die nach Essen hat sich gelohnt (15. Internationale Fachmesse »Schweissen & Schneiden«), *Der Praktiker*, Vol. 53, No. 12, 474-514, ISSN 0554-9965.
- [7] Trillmich, R. (1999) Qualitätssicherung beim Bolzenschweißen, *Der Praktiker*, Vol. 51, 11, 454-460, ISSN 0554-9965.
- [8] Prange, W., C. Schneider, U. Jaroni (1994) Tailored blanks – contributions to an optimized steel body shell, *Proceeding of the LANE'94*, (Laser Assited Net Shape Engineering), Edited by: M. Geiger, F. Vollertsen; 145-165, ISBN 3-87525-061-3.
- [9] Ahmetoglu, M., D. Brouwers, G. Kinzel (1994) Deep drawing of round cups from laser-tailored welded blanks, *Proceeding of the LANE'94*, (Laser Assited Net Shape Engineering), Edited by: M. Geiger, F. Vollertsen; 167-176, ISBN 3-87525-061-3.
- [10] Hornig, J. (2001) Laserstrahlschweissen am 3er Cabrio, *Proceeding SLV Tagungsreihe Dünnblechverarbeitung »Fügen von Stahlwerkstoffen«*, München.

- [11] Henebuth, H., P. Hoffmann, M. Geiger (1994) Automated laser beam brazing for automobile body construction, *Proceeding of the LANE'94*, (Laser Assisted Net Shape Engineering), Edited by: M. Geiger; F. Vollertsen; 145-165, ISBN 3-87525-061-3.
- [12] Tušek, J. (2001) MIG spajkanje - obločno spajkanje v zaščiti inertnega plina: Obločno spajkanje, *Vzdrževalec*, št. 79, 18-20, ISSN 1318-2625.
- [13] Korte, M. (2000) Laserstrahllöten – ein Fügeverfahren mit Zukunft, *Proceedings European Automotive Laser Application (EALA)*, Bad Nauheim.
- [14] Walduk, B. (1999) Using plasmabrazes in car body fabrication, *Welding & Fabrication*, August, 11-14.
- [15] Füssel, U., J. Zschetsche, U. Szieslo, L. Kriftel, J. Husner (2002) Plasmalöten mit strömführendem Zusatzwerkstoff. *Der Praktiker*, Vol. 54, 10, 336-340, ISSN 0554-9965.
- [16] Jost, R. (2002) Adhesive bonding in combination with mechanical joining, *Proceedings Joining in Automotive Lightweight Design*, Bad Nauheim.
- [17] Vollrath, K. (2002) Kleben für den Leichtbau bei Kraftfahrzeugen, *Der Praktiker*, Vol. 54, 7, 222-226, ISSN 0554-9965.
- [18] Dilthey, U., U. Reisgen, A. Wieschemann (1999) Hybrid technology laser beam – arc welding, *Proceeding of the Sheet Metal*, 399-406, ISBN 3-87525-110-5.
- [19] N.N. (2001) Entwicklungsstand und Forschungsergebnisse mit Praxisbezug, *Der Praktiker*, Vol. 53, No. 12, 522-535, ISSN 0554-9965.

Naslov avtorjev: prof.dr. Janez Tušek
mag. Damjan Klobčar
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
janez.tusek@fs.uni-lj.si
damjan.klobcar@fs.uni-lj.si

Authors' Address: Prof.Dr. Janez Tušek
Mag. Damjan Klobčar
University of Ljubljana
Faculty of Mechanical Eng.
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
janez.tusek@fs.uni-lj.si
damjan.klobcar@fs.uni-lj.si

Prejeto: 29.9.2003
Received:

Sprejeto: 8.4.2004
Accepted:

Odrpto za diskusijo: 1 leto
Open for discussion: 1 year