

Hybridschweißen von Kunststoffen – Durch den kombinierten Einsatz von Laserstrahlung und Heizstrahlung beim Schweißprozess eröffnen sich völlig neue Anwendungsfelder

Hybrid welding of plastics - The combined utilisation of laser radiation and heating radiation during the welding process opens up totally new fields of application

René Geiger, Oliver Brandmayer, LPKF Laser & Electronics AG, Erlangen; Thomas Frick, Bayerisches Laserzentrum, Erlangen

Zusammenfassung

Hybridschweißen ist eine Weiterentwicklung des Durchstrahlschweißens von Kunststoffen. Es vereint die monochromatische Laserstrahlung mit einer zweiten Strahlungsquelle. Als Sekundärstrahlung wird polychromatisches Licht, erzeugt von Halogenlampen, verwendet. Besonders bei großen dreidimensionalen Bauteilen ist die Anwendung des konventionellen Laserdurchstrahl-Schweißverfahrens beschränkt. Eigenspannungen im Material, geringe Vorschubgeschwindigkeiten und eine geringe Spaltüberbrückbarkeit resultieren aus dieser Technologie. Mit der Anwendung des Hybridschweißprozesses ist es gelungen dies zu kompensieren.

Der Südkoreanische Automobilzulieferer SL Corp. ist bestrebt das Laserschweißen von Kunststoffen für die Produktion von Automobilrückleuchten einzusetzen. Optisch ansprechende Schweißnähte sowie neue Möglichkeiten des Designs werden von dieser Technologie erwartet. Tests der unterschiedlichen Schweißverfahren ergaben, dass das Hybridschweißverfahren durch seine Vorteile in optischer und mechanischer Qualität der Schweißnaht für die Produktion von Automobilrückleuchten am meisten geeignet ist.

Summary:

Hybrid welding is a refinement of the transmission welding of plastics. It combines the monochromatic laser radiation with a second radiation source. Polychromatic light, produced by halogen lamps, is used as the secondary radiation. The application of the conventional laser transmission welding process is limited particularly in the case of large three-dimensional components. Residual stresses in the material, low feed speeds and a low gap-bridging capacity result from this technology. It has been possible to compensate for this by applying the hybrid welding process.

The South Korean automobile component supplier SL Corp. is endeavouring to use the laser welding of plastics for the production of automobile tail lights. Optically attractive weld seams as well as new possibilities of the design are expected from this technology. Tests with the different welding processes indicated that the hybrid welding process is most suitable for the production of automobile tail lights due to its advantages in the optical and mechanical quality of the weld seam.

Einleitung

Das Laserstrahlschweißen von Kunststoffen hat in den letzten Jahren stetig an Bedeutung gewonnen und hat mittlerweile einen festen Platz innerhalb der unterschiedlichen Schweißverfahren für Kunststoffbauteile eingenommen. Es hat das Potential, langfristig für 20 % aller Fügeanwendungen des kunststoffverarbeitenden Marktes eingesetzt zu werden [1]. Beim Laserstrahlschweißen von Kunststoffen wird heutzutage fast ausschließlich die Technologie des Durchstrahlschweißens eingesetzt. Bei dieser Technologie werden zwei Kunststoffe mit unterschiedlichen Absorptionseigenschaften im Wellenlängenbereich der eingesetzten Laserstrahlung im Überlapp geschweißt, Bild 1. Das Absorptionsvermögen wird durch

	Dipl.-Ing. (FH) René Geiger Autorenprofil: Author profile: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=201924 www.joining-plastics.info/?id=201924 r.geiger@lpkf.de
	Dipl.-Ing. Oliver Brandmayer Autorenprofil: Author profile: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=201925 www.joining-plastics.info/?id=201925 o.brandmayer@lpkf.de
	Dipl.-Ing. Thomas Frick Autorenprofil: Author profile: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=201926 www.joining-plastics.info/?id=201926 t.frick@blz.org

unterschiedliche Additive oder Additivkonzentrationen in den Werkstoffen eingestellt. Die zu fügenden Kunststoffbauteile liegen übereinander und

Introduction

The laser welding of plastics has become increasingly significant in recent years and has, in the meantime,

occupied a permanent position within the different welding processes for plastic components. It has the potential to be used for 20 % of all the joining applications of the plastic-processing market in the long term [1]. Nowadays, the technology of transmission welding is utilised almost exclusively for the laser welding of plastics. In the case of this technology, two plastics with different absorption properties in the wavelength range of the laser radiation used are welded in an overlap, Fig. 1.

The absorption capacity is set using different additives or additive concentrations in the materials. The plastic components to be joined are located one on top of the other and the laser radiation is focused through the top part which is transparent for the laser wave-

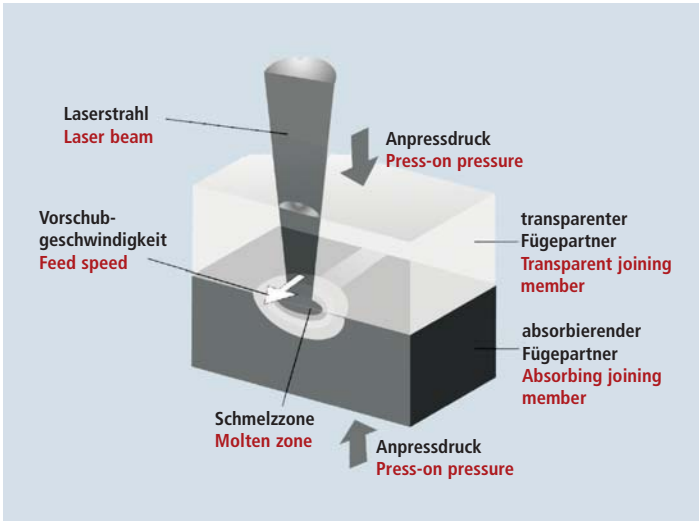


Bild 1: Laserstrahlschweißen in Durchstrahltechnik
Fig. 1: Laser welding in the transmission technique

die Laserstrahlung wird durch das für die Laserwellenlänge transparente Oberteil hindurch auf das absorbierende Unterteil fokussiert. Es kommt zur Schmelzbildung im absorbierenden Fügepartner und mittels Wärmeübertrag wird auch das transmissive Oberteil an der Grenzfläche aufgeschmolzen, so dass es zu einer Schweißverbindung der Fügepartner in der plastifizierten Zone kommen kann. Durch die Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Werkstück wird die Schweißnaht erzeugt. Der Anpressdruck beim Schweißen sorgt für eine Verbesserung des thermischen Kontaktes zwischen den Fügepartnern und ist für das Erreichen hoher Nahtfestigkeiten unerlässlich [2].

Mit dem Laserstrahlschweißen von Kunststoffen können hochfeste Schweißnähte erzeugt werden, die unter der Oberfläche eines Kunststoffpartners liegen und somit hohen optischen Anforderungen genügen. Durch den Einsatz eines gut fokussierbaren Laserstrahles werden die Bauteile mit geringer thermischer und mechanischer Belastung gefügt. Anwendung findet das Verfahren bei einer Vielzahl von Applikationen im Bereich der Medizintechnik und vor allem im Bereich der Automobilindustrie, beispielsweise zum Fügen von Gehäusen für Elektronikkomponenten oder zum mediendichten Schweißen von Schaltern und Sensoren. Obwohl sich das Verfahren aufgrund der flexiblen Strahlführung auch für komplexe dreidimensionale Schweißnahtverläufe eignen würde, ist ein Einsatz in diesem Bereich bisher

length and on to the absorbing bottom part. This results in the melt formation in the absorbing joining member and the transmissive top part is also melted at the boundary surface by means of heat transfer so that a welded joint between the joining members can be manufactured in the plastified zone. The weld seam is produced by the relative movement between the laser radiation and the workpiece. The press-on pressure during the welding ensures an improvement in the thermal contact between the joining members and is indispensable for the attainment of high seam strengths [2].

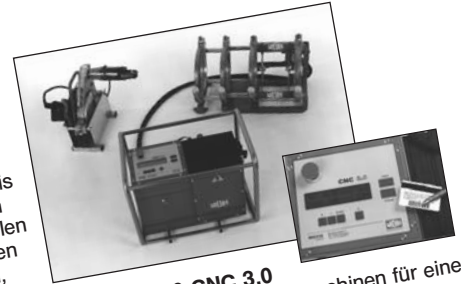
With the laser welding of plastics, it is possible to produce high-strength weld seams which are located below the surface of one plastic member and thus satisfy stringent optical requirements. Because an easy-to-focus laser beam is utilised, the components are joined with low thermal and mechanical loads. The process is used for a large number of applications in the field of medical technology and, above all, in the field of the automobile industry, e.g. for the joining of housings for electronic components or for the media-tight welding of switches and sensors. Although the process would also be suitable for complex three-dimensional weld seam courses because of the flexible beam manipulation, it has been utilised hardly at all in this field until now. The reason for this is the extremely restricted possibility of bridging joining gaps in the contour welding process [3]. Since joining gaps between the two plastics hinder the heat trans-

60 JAHRE 2006



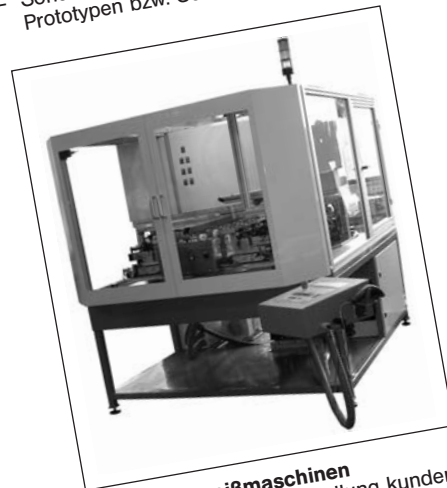
Kunststoff-Schweißtechnik

Moderne Kunststoffrohr- und Serienteil-Schweißmaschinen bis DA 2000 mm zum rationellen Verschweißen von Rohren, Tafeln, Formteilen und Serienteilen aus Polyolefinen.



WIDOS 4600 CNC 3.0
 CNC-gesteuerte Schweißmaschinen für eine optimale Schweißnahtqualität durch Überwachung während und Benutzerführung im Schweißablauf sowie zur Fehlervermeidung.

- Heizelement-Stumpfschweißmaschinen für Werkstatt und Baustelle
- Heizelement-Muffenschweißmaschinen
- CNC-gesteuerte Schweißmaschinen Rückverfolgbarkeit nach ISO/ITC 138, standardmäßig
- Außen-/Innenwulstentferner
- Elektromuffenschweißgeräte
- Handheizelemente
- Prüfgeräte und Werkzeuge für die Kunststoffrohr- und Plattenbearbeitung
- Kunststoffrohr-Sägemaschinen und Trenngeräte
- Sonderschweißmaschinen für die Herstellung von Prototypen bzw. Serienteilen



Sonderschweißmaschinen
 CNC-gesteuert, zur Herstellung kundenspezifischer Filter.



WIDOS
 Wilhelm Dommer Söhne GmbH
 Einsteinstraße 5
 D-71254 Ditzingen-Heimerdingen
 Telefon 0 71 52 / 99 39-0
 Telefax 0 71 52 / 99 39 40
 www.widos.de · info @ widos.de

weitestgehend ausgeblieben. Grund dafür ist die stark eingeschränkte Möglichkeit des des Konturschweißverfahrens Fügespalte zu überbrücken [3]. Da Fügespalte zwischen den beiden Kunststoffen den Wärmeübertrag vom unteren in den oberen Fügepartner behindern, können bereits Fügespalte von weniger als 0,1 mm die Ausbildung belastbarer Schweißnähte verhindern. Insbesondere bei großen Bauteilen mit dreidimensional verlaufenden Schweißbereichen hoher Gesamtlänge ist es aufgrund der Fertigungstoleranzen der Kunststoffbauteile trotz aufwändiger Spannkonstruktionen kaum möglich, die Bauteile ohne Fügespalte über dem gesamten Schweißbereich zu fixieren. Demgegenüber werden beim quasimultanen oder simultanen Schweißen von Kunststoffen Fügewege realisiert, wodurch auch größere Unebenheiten in der Fügezone ausgeglichen werden können. Um trotz Vorliegen von Fügespalten für eine Vielzahl von Anwendungen mit komplexen, dreidimensionalen Schweißnahtverläufen ein Konturlaserstrahlschweißen zu ermöglichen, wurde in Zusammenarbeit des Bayerischen Laserzentrums mit der Firma LPKF das neuartige Verfahren des hybriden Laserstrahlschweißens entwickelt, welches im Folgenden beschrieben wird.

Technologie des Hybriden Laserstrahlschweißens von Kunststoffen

Bei der Technologie des hybriden Laserstrahlschweißens von Kunststoffen wird gleichzeitig Laserstrahlung (Primärstrahlung P) und die Strahlung von Heizstrahlern (Sekundärstrahlung S) als Energiequelle für den Schweißprozess genutzt. Im Unterschied zur Laserstrahlung emittieren die eingesetzten Heizstrahler Infrarotstrahlung in einem deutlich breiteren Wellenlängenbereich. In der Folge ist bei der Fokussierung beider Strahlungsquellen auf den gleichen Punkt einer Schweißnaht der Fokusdurchmesser der Heizstrahlung deutlich größer als der Fokusdurchmesser der Laserstrahlung. Beim Schweißvorgang bedeutet dies, dass jeder Punkt der Schweißnaht bereits vor und nach der Bestrahlung durch den Laser von den Heizstrahlern bestrahlt wird. Der entscheidende Grund für den zusätzlichen Einsatz von

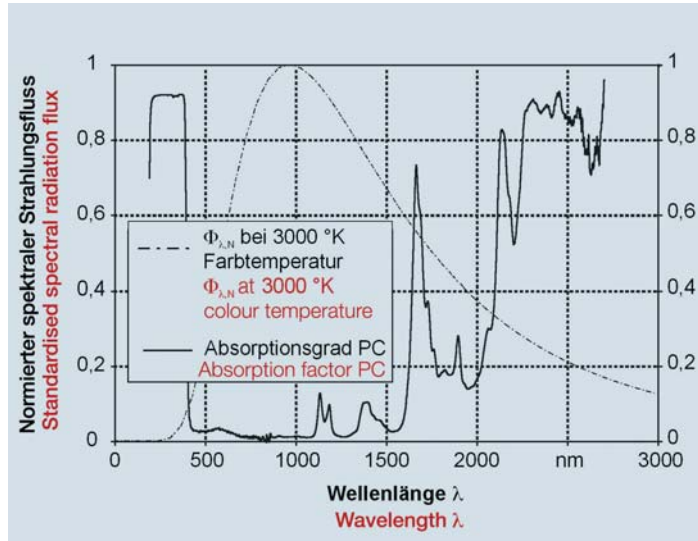


Bild 2: Emissionsspektrum eines Heizstrahlers im Vergleich zum Absorptionsspektrum einer ungefüllten PC Probe (Materialstärke 2 mm)

Fig. 2: Emission spectrum of a radiant heater in comparison with the absorption spectrum of an unfilled PC specimen (material thickness: 2 mm)

Heizstrahlern beim Laserstrahlschweißen besteht jedoch im Absorptionsverhalten der Heizstrahlung. Im Unterschied zum Laser wird bei der Bestrahlung der Fügepartner durch die Heizstrahler ein Teil der Infrarotstrahlung bereits im oberen Fügepartner absorbiert (ab ca. 2000 nm) und erwärmt diesen, während der verbliebene Anteil der Heizstrahlung im unteren Fügepartner absorbiert wird (Bild 2). Die direkte Erwärmung des oberen Fügepartners durch die Heizstrahlung hat zwei entscheidende Vorteile für den Schweißprozess. Zum einen ist der obere Fügepartner bereits vorgewärmt,

fer from the bottom joining member to the top joining member, joining gaps of less than 0.1 mm may already prevent the formation of loadable weld seams. Particularly in the case of large components with welding regions with high total lengths and three-dimensional courses, the fabrication tolerances of the plastic parts mean that, in spite of complicated clamping structures, it is hardly possible to fix the components across the entire welding region without any joining gaps. In contrast, joining paths are achieved during the quasi-simultaneous or simultaneous welding of plastics and larg-

er uneven areas in the joining zone can even be compensated for in this way. In order to permit contour laser welding for a large number of applications with complex, three-dimensional weld seam courses in spite of the existence of joining gaps, the innovative process of hybrid laser welding which is described below was developed in cooperation between the Bayerisches Laserzentrum and LPKF.

Technology of the hybrid laser welding of plastics

In the case of the technology of the hybrid laser welding of plastics, laser radiation (primary radiation P) and the radiation from radiant heaters (secondary radiation S) simultaneously serve as the energy source for the welding process. In contrast with the laser radiation, the radiant heaters used emit infrared radiation in a considerably wider wavelength range. Consequently, the focus diameter of the heating radiation is substantially greater than the focus diameter of the laser radiation when both radiation sources are focused on the same point of a weld seam. During the welding operation, this means that the radiant heaters already expose every point of the weld seam to radiation before and after the application of radiation by the laser. However, the decisive reason for the additional utilisation of radiant heaters during the laser welding is to be found in the absorption behaviour of the heat-

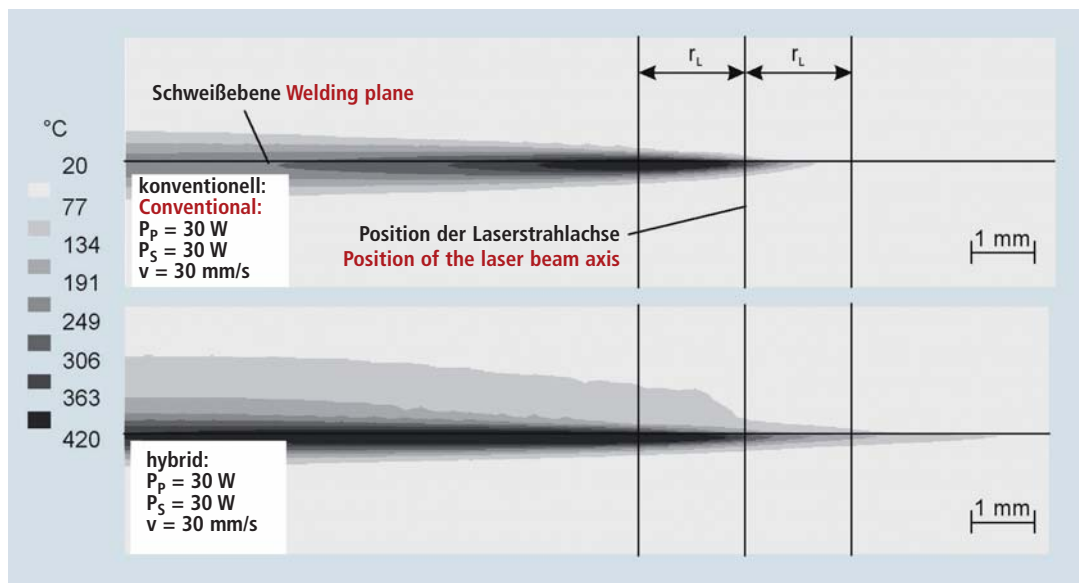


Bild 3: Temperaturverteilung beim konventionellen (oben) und hybriden Laserstrahlschweißen (unten) von PC/PC 1 Gew.% Ruß

Fig. 3: Temperature distribution in the case of the conventional (top) and hybrid (bottom) laser welding of PC / PC with 1 % carbon black by weight

wenn beide Fügepartner vom Laser bestrahlt werden, es ist in der Folge ein niedriger Wärmefluss vom unteren Fügepartner in den oberen Fügepartner notwendig, um den Werkstoff aufzuschmelzen und eine Schweißnaht auszubilden. Dies ist insbesondere bei einem nicht vollständigen thermischen Kontakt zwischen den Fügepartnern infolge eines Fugespaltens ein entscheidender Vorteil. Zum anderen sinkt die Steifigkeit von Kunststoffen mit steigender Temperatur [4]. Dies bedeutet, ein durch Heizstrahler erwärmter oberer Fügepartner lässt sich durch die anliegende Spannkraft leichter verformen und dem Nahtverlauf anpassen, so dass sich Fugespalte minimieren lassen.

Die Ausbildung der Temperaturfelder beim Schweißprozess wird mit einem Simulationsmodell auf Basis Finiter Elemente untersucht. Bild 3 zeigt die Temperaturverteilung beim Schweißprozess beim konventionellen Laserdurchstrahlschweißen im Vergleich zum hybriden Laserstrahlschweißen mit zusätzlichem Einsatz von Heizstrahlern.

In Bild 3 ist zu erkennen, dass der obere Fügepartner beim hybriden Schweißprozess deutlich höhere Temperaturen aufweist, als beim konventionellen Laserstrahlschweißen ohne Einsatz zusätzlicher Heizstrahler. Das Temperaturfeld beim hybriden Laserstrahlschweißprozess zeigt zudem, dass sich ein längeres Schmelzbad in der Schweißebene in Nahrichtung ausbildet als beim konventionellen Laserstrahlschweißprozess. Durch ein längeres Schmelzbad und die damit verbundenen höheren Temperaturen, die über einen längeren Zeitraum in der Schweißebene vorherrschen, werden Diffusionsprozesse unterstützt, die entscheidend zur Ausbildung der Nahtfestigkeit beitragen. Es ist folglich zu erwarten, dass sich die Nahtfestigkeiten beim hybriden Laserstrahlschweißprozess gegenüber dem konventionellen Laserstrahlschweißprozess deutlich erhöhen.

Schweißergebnisse

Für einen Vergleich des hybriden Laserstrahlschweißens mit dem konventionellen Laserstrahlschweißprozess werden Nahtfestigkeiten in Abhängigkeit verschiedener Prozessparameter ermit-

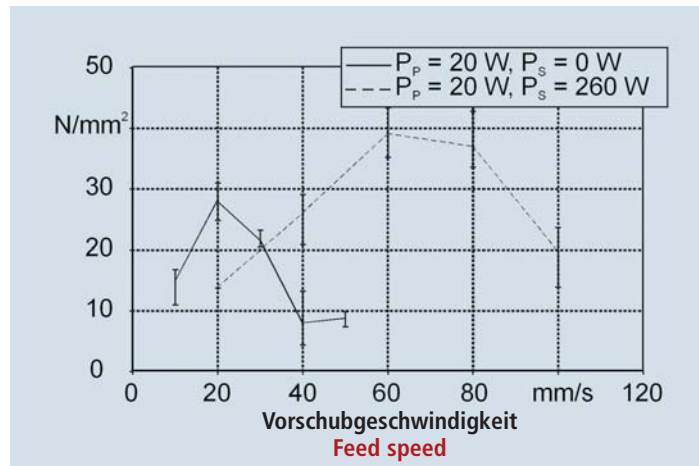


Bild 4: Vergleich der Bruchspannungen von konventionell und hybrid geschweißten PC Schweißproben (PC/PC 1 Gew.% RuB)

Fig. 4: Comparison of the fracture stresses of welded PC specimens manufactured by means of conventional and hybrid welding (PC / PC with 1 % carbon black by weight)

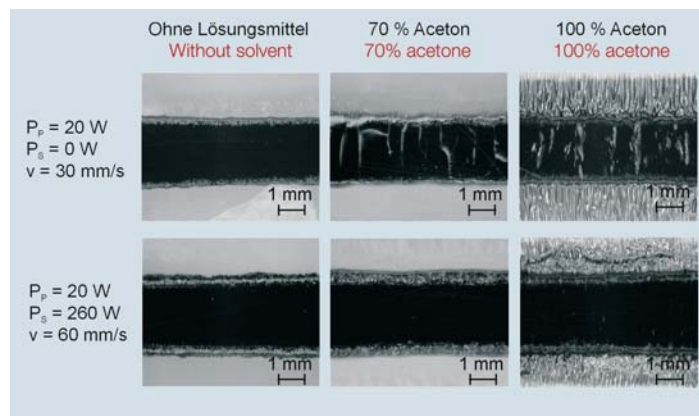


Bild 5: Nahtaufsicht von lösungsmittelbehandelten PC-Schweißproben; konventionelles Laserstrahlschweißen (obere Reihe) gegenüber hybridem Laserstrahlschweißen (untere Reihe)

Fig. 5: Top view of seams of solvent-treated welded PC specimens; conventional laser welding (top row) compared with hybrid laser welding (bottom row)

telt. Bild 4 zeigt die ermittelten Bruchspannungen für Polycarbonat Proben in T-Stoßgeometrie in Abhängigkeit unterschiedlicher Vorschubgeschwindigkeiten.

Bild 4 zeigt, dass beide Bruchspannungskurven einen qualitativ ähnlichen Verlauf besitzen. Bei niedrigen Vorschubgeschwindigkeiten kann es aufgrund der hohen Streckenenergien zur thermischen Zersetzung in der Schweißnaht kommen, was zu einer Reduzierung der effektiv tragfähigen Grenzfläche zwischen den Fügepartnern führt und somit die ermittelte Bruchspannung reduziert. Mit zunehmender Vorschubgeschwindigkeit werden thermische Zersetzungen vermieden, die Bruchspannungen durchlau-

ing radiation. In contrast with the laser, some of the infrared radiation is already absorbed in the top joining member when the radiant heaters expose the joining members to radiation (as from approx. 2,000 nm) and heats the top joining member while the remaining proportion of the heating radiation is absorbed in the bottom joining member (Fig. 2).

The direct heating of the top joining member by the heating radiation has two decisive advantages for the welding process. On the one hand, the top joining member has already been preheated when both joining members are exposed to radiation by the laser. Consequently, a low heat flux from the bottom joining member into the top join-

ing member is necessary in order to melt the material and to form a weld seam. This is a decisive advantage particularly in the case of an incomplete thermal contact between the joining members due to a joining gap. On the other hand, the stiffness of plastics falls as the temperature rises [4]. This means that a top joining member heated by radiant heaters is easier to deform using the applied clamping force and to adapt to the seam course so that joining gaps can be minimised.

The formation of the temperature fields during the welding process is investigated with a simulation model on the basis of finite elements. Fig. 3 shows the temperature distribution during the welding process in the case of the conventional laser transmission welding in comparison with the hybrid laser welding with the additional utilisation of radiant heaters.

On Fig. 3, it can be recognised that the top joining member exhibits substantially higher temperatures during the hybrid welding process than during the conventional laser welding without utilising additional radiant heaters. Furthermore, the temperature field during the hybrid laser welding process shows that a longer molten pool is formed in the welding plane in the seam direction than during the conventional laser welding process. A longer molten pool and the connected higher temperatures prevailing in the welding plane over a longer period support diffusion processes which make a decisive contribution to the formation of the seam strength. Consequently, the seam strengths may be expected to increase considerably in the hybrid laser welding process compared with the conventional laser welding process.

Welding results

For a comparison of the hybrid laser welding with the conventional laser welding process, seam strengths are established depending on various process parameters. Fig. 4 shows the established fracture stresses for polycarbonate specimens in a T joint geometry depending on different feed speeds. Fig. 4 shows that both fracture stress curves exhibit a course with a similar quality. Low feed speeds may result in thermal degradation in the weld seam because of the high energies per unit

fen ein Maximum. Bei weiterer Zunahme der Vorschubgeschwindigkeit sinkt die Einwirkzeit hoher Temperaturen in der Fügezone stetig, wodurch Diffusionsprozesse erschwert werden und die erzielbaren Bruchspannungen abnehmen.

Neben diesem allgemeinen Verlauf der beiden Kurven zeigt Bild 4 jedoch deutlich, dass die effektiv zu erzielenden Bruchspannungen beim hybriden Schweißprozess deutlich höher liegen, als beim konventionellen Schweißen. Aufgrund der effektiveren Erwärmung des oberen Fügepartners beim hybriden Schweißprozess und der längeren Einwirkzeit hoher Temperaturen im Fugebereich kann eine verbesserte Diffusion stattfinden, welche zu deutlich höheren Nahtfestigkeiten führt.

Neben der erzielbaren Nahtfestigkeit ist die Vermeidung von Spannungsrissen infolge von Eigenspannungen beim Schweißprozess ein wichtiges Qualitätskriterium. In Bild 5 sind PC-Schweißproben abgebildet, welche mit den in Bild 4 ermittelten optimalen Prozessparametern geschweißt und anschließend mit Lösungsmittel behandelt wurden, um Spannungsrisse gezielt auszulösen.

Bild 5 zeigt, dass die konventionell geschweißten Proben deutlich mehr Spannungsrisse zeigen, als die mit dem hybriden Laserstrahlschweißen gefügten Proben. Dies hängt unmittelbar mit der Erwärmung des oberen Fügepartners durch die Heizstrahler zusammen. Durch die niedrigere Steifigkeit der Fügepartner können Eigenspannungen besser abgebaut werden [5], so dass sich die Gefahr der Spannungsrissbil-

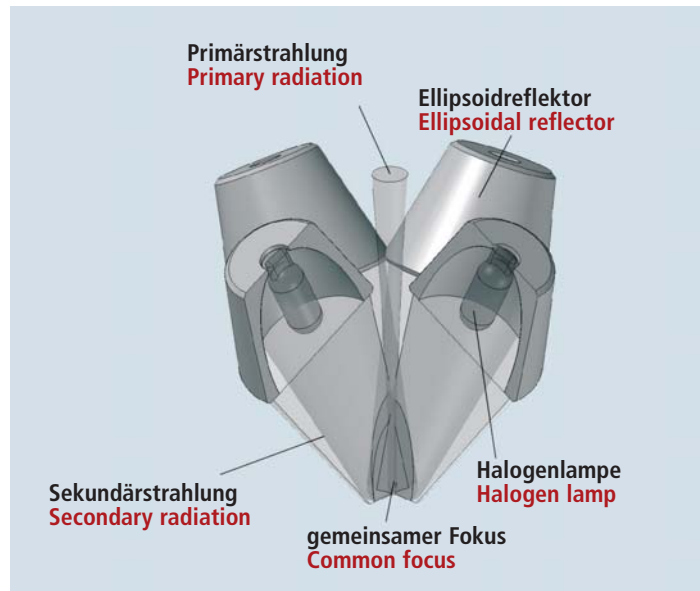


Bild 6: Schematische Anordnung der Halogenlampen an einem Hybridschweißkopf

Fig. 6: Schematic arrangement of the halogen lamps on a hybrid welding head

dung beim hybriden Laserstrahlschweißen gegenüber dem konventionellen Laserstrahlschweißen deutlich reduziert.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass mit dem neuen hybriden Laserstrahlschweißverfahren deutliche Verbesserungen bezüglich Nahtfestigkeiten und Spannungsrissvermeidung erreicht werden können. Für einen erfolgreichen Einsatz des Verfahrens zum Fügen komplexer Bauteile, muss jedoch zunächst eine serientaugliche Systemtechnik entwickelt werden.

Systemtechnik

Die Herausforderung bei der Realisierung eines hybriden Laserstrahlschweiß-

length. This leads to a reduction in the effective load-bearing boundary surface between the joining members and thus reduces the established fracture stress. As the feed speed increases, thermal degradation phenomena are avoided and the fracture stresses pass through a maximum. If the feed speed rises further, the time of exposure to high temperatures in the joining zone falls continuously. This makes diffusion processes more difficult and the attainable fracture stresses decrease.

However, in addition to this general course of both curves, Fig. 4 also shows clearly that the fracture stresses to be achieved effectively are substantially higher in the hybrid welding process

than in the conventional welding. The more effective heating of the top joining member during the hybrid welding process and the longer time of exposure to high temperatures in the joining region may result in improved diffusion which leads to considerably higher seam strengths.

Not only the attainable seam strength but also the avoidance of stress cracks caused by residual stresses during the welding process are important quality criteria. Fig. 5 shows welded PC specimens which were welded with the optimum process parameters established on Fig. 4 and were subsequently treated with solvent in order to trigger stress cracks in a selective way.

Fig. 5 shows that the conventionally welded specimens exhibit considerably more stress cracks than the specimens joined with the hybrid laser welding. This is directly connected with the heating of the top joining member by the radiant heaters. Due to the lower stiffness of the joining members, residual stresses can be decreased in a better way [5] so that the risk of stress cracking is reduced substantially in the hybrid laser welding compared with the conventional laser welding.

The conducted investigations show that distinct improvements with regard to seam strengths and to the avoidance of stress cracks can be achieved with the new hybrid laser welding process. However, system technology suitable for series production must firstly be developed for the successful utilisation of the process for the joining of complex components.

System technology

The confocal unification of the primary and secondary radiation in the processing zone represents the challenge with regard to the implementation of a hybrid laser welding system for industrial series utilisation. The laser radiation can be manipulated and focused with conventional optical elements such as an optical waveguide in connection with a lens system. However, the incoherence and the polychromatic radiation spectrum of the secondary radiation make it more difficult to use corresponding system elements during its focusing. In order to nevertheless be able to produce the highest possible intensity of the secondary radiation in

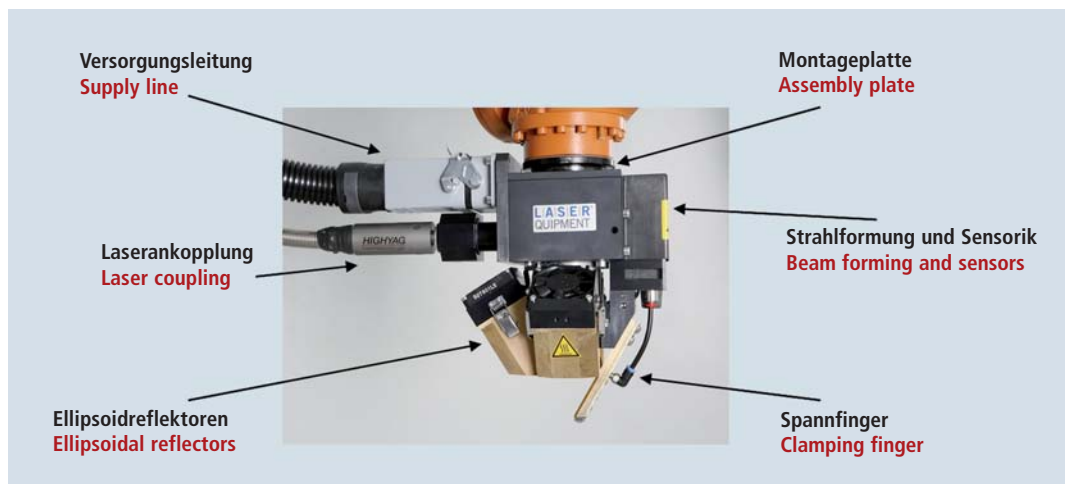


Bild 7: Hybridschweißkopf mit angeschlossenen Versorgungssteckern

Fig. 7: Hybrid welding head with connected supply plugs

systems für den industriellen Serieneinsatz stellt die konfokale Vereinigung von Primär- und Sekundärstrahlung in der Bearbeitungszone dar. Die Führung und Fokussierung der Laserstrahlung kann mit herkömmlichen optischen Elementen wie einem Lichtwellenleiter in Verbindung mit einem Linsensystem erfolgen. Die Inkohärenz und das polychromatische Strahlungsspektrum der Sekundärstrahlung erschweren jedoch den Einsatz entsprechender Systemelemente bei ihrer Fokussierung. Um dennoch eine möglichst hohe Intensität der Sekundärstrahlung in der Schweißebene erzeugen zu können, werden zur Fokussierung der Sekundärstrahlung beschichtete Ellipsoidreflektoren eingesetzt, in deren einem Brennpunkt sich das Lampenfilament befindet. Da die Intensität der inkohärenten Sekundärstrahlung mit steigendem Arbeitsabstand des Reflektors abnimmt, ist eine Systemtechnik mit einem kurzen Sekundärstrahlungsweg zu bevorzugen. Um die Überlagerung der Foki von Laser-

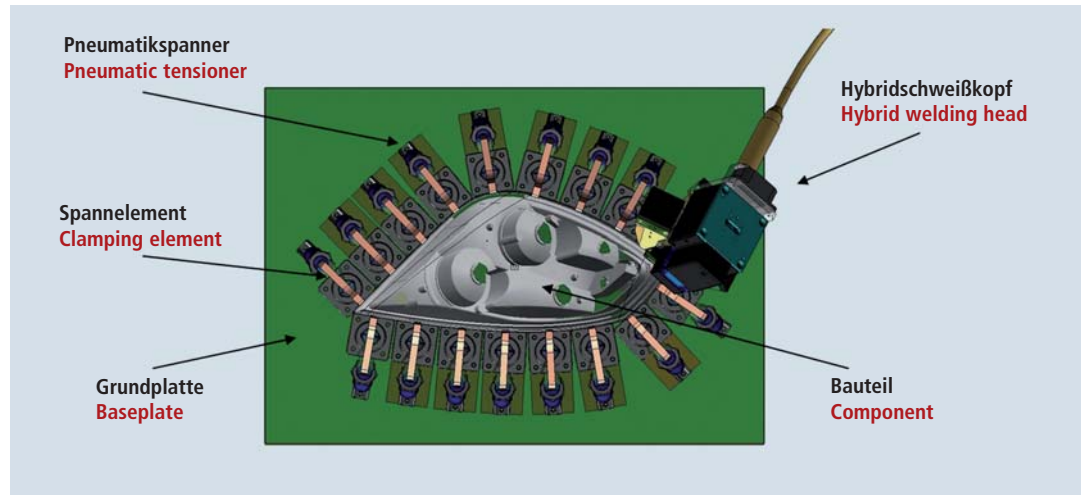


Bild 8: Bearbeitungskopf mit Spanntechnik fürs Hybridschweißen in der Aufsicht
Fig. 8: Top view of the processing head with the clamping technique for the hybrid welding

strahlung und Heizstrahlern (Halogenlampen) in der Schweißebene zu ermöglichen, kommt ein Aufbau zum Einsatz, bei der die Rotationsachsen der Ellipsoidreflektoren zur Laserstrahlachse in einem Winkel von 32 Grad geneigt sind, Bild 6 [6].

the welding plane, the secondary radiation is focused by coated ellipsoidal reflectors in one focal point of which the lamp filament is located. Since the intensity of the incoherent secondary radiation decreases as the working distance of the reflector increases, prefer-

ence should be given to system technology with a short secondary radiation path. A set-up in which the rotation axes of the ellipsoidal reflectors are inclined at an angle of 32° in relation to the laser beam axis is used in order to permit the superimposition of



- *Ihr kompetenter Partner in der Schweiß- und Prüftechnik*
- *Zugelassene Kursstätte für Kunststofffügetechnik*

Wir bieten:



- Vorbereitungsllehrgänge auf die Kunststoffschweißerprüfung
- Kunststoffschweißerprüfung nach DVS® 2212
- DVS® Lehrgänge 2281 und 2282
(Kunststoffschweißer in der Prüfgruppe I und II)
- Durchführung der mechanisch-technologischen Prüfungen für die planmäßige Überwachung der Schweißer
- Schweißaufsicht nach DVGW-Merkblatt GW 331



Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt SLV Hannover, Niederlassung der GSI - Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH
 Am Lindener Hafen 1 · 30453 Hannover · Tel. (05 11) 2 19 62 -0 · Fax (05 11) 2 19 62 22 · www.slv-hannover.de · info@slv-hannover.de

Ein Hybridschweißsystem für den industriellen Einsatz gliedert sich in mehrere Hauptsysteme. Dazu zählen der Schaltschrank, der Bearbeitungskopf und der Mehrachs-Roboter mit Montagetisch. Der Schaltschrank beinhaltet die Laserstrahlquelle mit Kühler, sowie die Steuereinheit. Als Schnittstelle zum Anlagenbediener dient ein Industrie-PC mit Touchpanel, der ebenfalls im Schaltschrank integriert ist. Der Hybridschweißkopf ist mittels einer Adapterplatte an die Roboterhand montiert. Dadurch ist der Betrieb mit sämtlichen gängigen Mehrachs-Robotiksystemen gewährleistet, Bild 7.

Über einen Lichtwellenleiter und eine Versorgungsleitung wird der Bearbeitungskopf mit Energie und Druckluft aus dem Schaltschrank versorgt. Die elektrische Leistung der Sekundärstrahlung ist bei dem dargestellten Schweißkopf durch die Baugröße der Halogenlampen auf insgesamt 1000 W begrenzt. Die Leistung der Laserstrahlquelle beträgt demgegenüber 90 W, die Strahlführung zum Bearbeitungskopf erfolgt mittels Glasfasern. Der Fokusbereich der Laserstrahlung in der Bearbeitungsebene kann in einem Bereich von 1 mm bis 4 mm durch die Anordnung der Fokussierlinsen variiert werden. Im Gegensatz dazu wird der minimal erzielbare Fokusbereich durch die Größe der Lampenfilamente begrenzt und beträgt bei dem dargestellten System ungefähr 10 mm. Im Servicefall kann das Lichtkarussell mit Spannroller komplett vom Grundkörper, welcher die Strahlführungs- und -formungskomponenten sowie die Spann- und Hubvorrichtung enthält, getrennt werden. Zum Ausgleich fertigungsbedingter Toleranzen und zur Vereinfachung der 3D-Kontureinrichtung erlaubt der Schweißkopf bei konstantem Spanndruck $\pm 1,5$ mm Hub entlang der Flächennormalen. Das System verfügt über ein Kabelmanagement, das Kopfdrehungen von bis zu 360° zulässt, ohne die minimalen Biegeradien des Lichtwellenleiters zu unterschreiten. Da die Sekundärstrahlung direkt am Kopf erzeugt und fokussiert wird, sind die dazu nötigen Lampen und Reflektoren konvektionsgekühlt.

Wesentlicher Bestandteil für eine qualitativ hochwertige Schweißung von



Bild 9: Anwendungsbeispiel Automobilrückleuchte (Gehäuse: PMMA, Deckglas: PC)

Fig. 9: Example of an application for an automobile tail light (housing: PMMA, cover glass: PC)



Bild 10: Ansicht Schweißbereich

Fig. 10: View of the welding region

dreidimensionalen Bauteilen im Hybridverfahren ist das Einbringen eines ausreichend hohen Fügedrucks in die Schweißzone. Dazu muss ein geeignetes Spannkonzzept gewählt werden. Besondere Vorteile bietet dabei die Kombination eines am Schweißkopf montierten Spannringes mit am Bauteilrand angreifenden Kipphebeln, (Bild 8).

Grundvoraussetzung für das Spannen der Bauteile ist eine optimale Positionierung des unteren Fügepartners, wobei die Unterstützung entlang der Schweißkontur durchgängig gewährleistet sein muss. Der obere, transparente Fügepartner sollte entsprechend seiner Fertigungstoleranzen durch die Bauteilaufnahme ausreichend vorpositioniert sein. Ausgehend von diesem Basiszustand verspannen dann die entlang der Schweißkontur angebrachten Spannelemente die beiden Fügepart-

the foci of the laser radiation and the radiant heaters (halogen lamps) in the welding plane, Fig. 6 [6].

A hybrid welding system for industrial utilisation is divided into several main systems. These include the switchgear cabinet, the processing head and the multiaxis robot with an assembly table. The switchgear cabinet contains the laser beam source with a cooler as well as the control unit. An industrial PC with a touch panel serves as the interface to the installation operator and is also integrated into the switchgear cabinet. The hybrid welding head is assembled on the robot hand using an adapter plate. This guarantees operation with all the common multiaxis robotic systems, Fig. 7.

The processing head is supplied with energy and compressed air from the switchgear cabinet via an optical waveguide and a supply line. In the case of

the illustrated welding head, the electric power of the secondary radiation is limited to 1,000 W in total by the construction size of the halogen lamps. In contrast, the power of the laser beam source is 90 W and the beam manipulation to the processing head is carried out using glass fibres. The focus diameter of the laser radiation in the processing plane can be varied in a range from 1 mm to 4 mm by the arrangement of the focusing lenses. On the other hand, the minimum attainable focus diameter of the secondary radiation is limited by the size of the lamp filaments and is approx. 10 mm in the case of the illustrated system. In the event of servicing, the light carousel with the clamping roller can be separated completely from the base body which contains the beam manipulation and forming components as well as the clamping and lifting jigs. In order to compensate for fabrication-induced tolerances and to simplify the setting-up of the 3D contour, the welding head permits a stroke of ± 1.5 mm along the normal to the surface at a constant clamping pressure. The system is equipped with a cable management unit which allows head rotations up to 360° without dropping below the minimum bending radii of the optical waveguide. Since the secondary radiation is produced and focused directly at the head, the lamps and reflectors needed for this purpose are convection-cooled.

One essential constituent for the high-quality welding of three-dimensional components in the hybrid process is the input of a sufficiently high joining pressure into the welding zone. To this end, it is necessary to choose a suitable clamping concept. In this respect, particular advantages are offered by the combination of a clamping finger assembled on the welding head with rocker arms engaging at the edge of the component (Fig. 8).

One basic prerequisite for the clamping of the components is the optimum positioning of the bottom joining member. In this case, the support along the welding contour must be guaranteed at all times. According to its fabrication tolerances, the top, transparent joining member should be adequately prepositioned by the component holder. Starting from this basic condition,

ner spielfrei miteinander. Da meist kein ausreichender Überstand zwischen oberem und unterem Fügepartner besteht und somit eine Abschattung der Schweißkontur nicht vermieden werden kann, müssen die Pneumatikspanner während des Schweißvorgangs sequentiell geöffnet und anschließend wieder geschlossen werden. Zudem schränken geschlossene Spannelemente die Bewegungsfreiheit des Schweißkopfs an der Roboterhand deutlich ein. In den Bereichen der Schweißzone, wo durch den Spannroller aufgrund schlechter Zugänglichkeit, wie beispielsweise in spitz zulaufenden Ecken, kein Fügedruck in die Schweißnaht eingebracht werden kann, übernimmt diese Funktion der Pneumatikspanner.

Anwendungsbeispiel

Eines der prädestinierten Einsatzfelder für das Laser-Hybridschweißen von Kunststoffen stellt das mediendichte Fügen von Leuchten moderner Kraftfahrzeuge dar. Die konventionellen Fügetechniken, wie Kleben oder Vibra-

tionsschweißen, die heute in diesem Bereich zum Einsatz kommen sind oft mit zahlreichen Nachteilen behaftet. So müssen die Fügezonen häufig kaschiert werden, um optisch nicht ansprechende Fugebereiche zu verdecken.

Alternative Laserschweißverfahren für das Schweißen dreidimensionaler Kunststoffbaugruppen, die derzeit am Markt erhältlich sind, wurden bei einem Benchmarkversuch des südkoreanischen Automobilzulieferers SL Corporation in zahlreichen Versuchen an einer Heckleuchte mit dem Hybridschweißen verglichen. Die Aufgabe besteht in der mediendichten Verbindung eines Rückleuchtegehäuses mit dem Deckglas durch eine optisch ansprechende Schweißnaht, Bild 9.

Das Gehäuse besteht aus schwarz, grau oder rot pigmentiertem Polymethylmethacrylat (PMMA), als Werkstoff für das Deckglas wird ungefülltes sowie rot pigmentiertes Polycarbonat (PC) eingesetzt. Alle Farbkombinationen sind zu verschweißen. Die gesamte Schweißnahtlänge beträgt ca. 1000 mm. Um eine

the clamping elements fitted along the welding contour then brace both joining members with each other without any play. Since there is mostly insufficient projection between the top and bottom joining members and it is thus impossible to avoid the shading of the welding contour, the pneumatic tensioners must be opened sequentially during the welding operation and subsequently closed once again. Furthermore, closed clamping elements considerably restrict the freedom of movement of the welding head on the robot hand. In those regions of the welding zone where the clamping roller cannot input any joining pressure into the weld seam due to poor accessibility (e.g. in corners with acute angles), this function is performed by the pneumatic tensioner.

Example of an application

The media-tight joining of lights in modern motor vehicles represents one of the predestined utilisation fields for the laser hybrid welding of plastics.

The conventional joining techniques used in this sector today such as adhesive bonding or vibration welding are often afflicted by numerous disadvantages. For example, the joining zones must frequently be laminated in order to cover joining regions which are not optically attractive.

During a benchmark test carried out by the South Korean automobile component supplier SL Corporation, those alternative laser welding processes for the welding of three-dimensional plastic subassemblies which are available on the market at present were compared with the hybrid welding in numerous tests on a tail light. The task consists of the media-tight joining of a tail light housing with the cover glass by means of an optically attractive weld seam, Fig. 9.

The housing is made of polymethyl methacrylate (PMMA) with black, grey or red pigmentation. An unfilled polycarbonate (PC) as well as a polycarbonate with red pigmentation are used as the material for the cover glass. All the

Trade journal for PLASTICS JOINING TECHNOLOGY



JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN is the only international trade journal dealing exclusively with the title subject. Application-oriented specialist articles indicate the newest developments and the state of the art not only for series welding but also for the joining of plastics in pipeline and tank construction and in apparatus engineering. Furthermore, you learn everything important from the fields of companies, quality management and standardisation, events, research and development as well as health and safety and environmental protection.



K 2007 Hall 11, Booth D11

SUBSCRIBE NOW!

As from 2008, JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN will be published four times per year. Secure your regular copy and become a subscriber now.

www.joining-plastics.info

AS FROM 2008, FOUR ISSUES PER YEAR!

- Always up to date**
The newest know-how from plastics joining technology
- From experts for experts**
Well-founded specialist articles from research and industry
- Everything important**
From the fields of companies, quality management, standardisation, health and safety and environmental protection



Verlag für Schweißen und verwandte Verfahren
DVS-Verlag GmbH
Aachener Straße 172 • D - 40223 Düsseldorf
Tel: +49 2 11/15 91 -159
Tel: +49 2 11/15 91 -150

gleichmäßige Schweißnahtqualität über die gesamte Länge zu erreichen, war es nötig, das Design der Leuchte geringfügig für das Laserschweißen zu modifizieren. So wurde unter anderem die Steifigkeit des Gehäuses erhöht, um bei Einbringung des Anpressdruckes eine Bewegung des Gehäuses zu vermeiden. Für die Einbringung des Spanndrucks zeigte sich, dass die Kombination aus Spannroller und sequenzieller Spannentechnik die besten Ergebnisse liefert. Die ausschließliche Verwendung eines Spannrollers ist durch die Designvorgaben nicht möglich. Die Rückleuchte besitzt eine Spitze mit einem Winkel kleiner 45°. Daher ist ein Aufsetzen des Spannrollers auf dem Deckglas - bei Energieeinbringung in den äußersten Punkt - nicht möglich. Die Spannkraft wird hier durch sequenzielle Spannfinger erreicht. Die hohe Druckeinbringung durch den Spannfinger verursacht eine Materialbewegung des Deckglasmaterials in Schweißrichtung. Die sequenziellen Spannfinger wirken dieser Materialbewegung entgegen.

Umfangreiche Tests im Zuge des Verfahrensvergleiches zum Fügen der beschriebenen Rückleuchte bestätigen die bereits vorgestellten Vorteile des Einsatzes der Sekundärstrahlung auf den Schweißprozess. Die geschweißten Rückleuchten zeichnen sich durch besonders optisch ansprechende Schweißnähte aus, von hoher, gleichbleibender mechanischer Qualität. Eine Blasenbildung in der Schmelze tritt über die gesamte Schweißnahtlänge nicht auf, Bild 10. Die Prozessgeschwindigkeiten liegen beim Hybrid-Laserstrahlschweißen, bei gleichzeitig höheren Nahtfestigkeiten, in etwa um einen Faktor fünf höher als bei konventionellen Konturlaserschweißverfahren. Die vorgestellte Leuchte

kann, unabhängig von der Einfärbung des absorbierenden Fügepartners, in knapp 30 Sekunden vollständig geschweißt werden. Eine anschließende Wärmebehandlung zum Abbau von Eigenspannungen ist nicht erforderlich.

Zusammenfassung und Ausblick

Mittels konventionellem Kunststofflaser-schweißen im Durchstrahlverfahren können mechanisch hoch belastbare Schweißverbindungen mit hoher Prozesssicherheit erzeugt werden. Jedoch stößt das Verfahren bei komplexen dreidimensionalen Schweißnähten derzeit an seine Grenzen.

Mit der Kombination von Laserstrahlung und Heizstrahlung (Hybridschweißen) konnten gegenüber dem konventionellen Laserstrahl-Schweißprozess deutliche Verbesserungen erzielt werden. So ist es möglich die Vorschubgeschwindigkeit ohne Einbuße von Nahtfestigkeit deutlich zu erhöhen. Auch die maximale Bruchfestigkeit der Schweißverbindung kann durch das Hybridschweißen nachgewiesenermaßen deutlich erhöht werden. Zudem profitiert man vom einem wesentlich vergrößerten Prozessfenster. Durch die zusätzliche Vergrößerung der Spaltüberbrückbarkeit und einer signifikanten Reduktion der Eigenspannungen in der Schweißnaht erhöht sich die Prozessstabilität deutlich.

Alle benannten Vorteile des hybriden Schweißens konsequent umgesetzt ermöglichen den Schritt zum Prozesssicheren Verschweißen dreidimensionaler Bauteile von sehr großen Abmessungen. Dabei bleibt aufgrund der modularen Bauweise des Hybridschweißsystems die Flexibilität in den Anwendungen in keiner Weise auf der Strecke.

colour combinations must be welded. The total weld seam length is approx. 1,000 mm. In order to achieve a uniform weld seam quality over the entire length, it was necessary to slightly modify the design of the light for the laser welding. Thus, the measures included an increase in the stiffness of the housing in order to avoid any movement of the housing when the press-on pressure was input.

For the input of the clamping pressure, it was shown that the combination of the clamping roller and the sequential clamping technique supplies the best results. The exclusive use of a clamping roller is not possible due to the design specifications. The tail light has a tip with an angle smaller than 45°. Therefore, the clamping roller cannot be placed on the cover glass - the energy would be input into the outermost point. Here, the clamping force is achieved by sequential clamping fingers. The high pressure input by the clamping finger causes a material movement of the cover glass material in the welding direction. The sequential clamping fingers counteract this material movement.

Comprehensive tests in the wake of the process comparison relating to the joining of the described tail light confirm the already presented advantages of utilising the secondary radiation for the welding process. The welded tail lights are characterised by particularly optically attractive weld seams, with a high, constant mechanical quality. No bubbles form in the melt at any point across the entire weld seam length, Fig. 10.

With higher seam strengths at the same time, the process speeds in hybrid laser welding are around five times higher

than in conventional contour laser welding processes. Irrespective of the colouring of the absorbing joining member, the presented light can be welded completely in just 30 seconds. It is not necessary to carry out any subsequent heat treatment in order to reduce residual stresses.

Summary and prospects

Welded joints which can be subjected to high mechanical loads can be produced with high process reliability by means of conventional plastic laser welding in the transmission process. However, the process is currently reaching its limits in the case of complex three-dimensional weld seams.

With the combination of laser radiation and heating radiation (hybrid welding), it was possible to achieve distinct improvements compared with the conventional laser welding process. Thus, the feed speed can be raised substantially without any fall in the seam strength. It has been proven that the maximum fracture strength of the welded joint can also be increased considerably by the hybrid welding. Furthermore, benefits are gained from a substantially widened process window. There is a considerable increase in the process stability due to the additional enlargement of the gap-bridging capacity and to a significant reduction in the residual stresses in the weld seam.

If all the specified advantages of the hybrid welding are implemented consistently, this permits the step to the welding of three-dimensional components with very large dimensions in a reliable process. In no way does this diminish the flexibility in the applications because of the modular construction of the hybrid welding system.

Literatur References

- [1] Poprawe, R.: Lasertechnik für die Fertigung – Grundlagen, Perspektiven und Beispiele für den innovativen Ingenieur. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2005.
- [2] Hierl, S.; Geiger, M.; Lenfert, K.; Baur, R.; Luchs, R.; Mahrle, J.: Laserstrahl-Kunststoffschiessen in der Automobilelektronik. In: Geiger, M.; Otto, A. (Hrsg.): Laser in der Elektronikproduktion und Feinwerktechnik – LEF 2000. Bamberg: Meisenbach, 2000, 53-68.
- [3] Frick, T.; Hopfner, M.: Laserstrahlschweißen von Kunststoffen, BLZ-Anwenderfibel, Band 1. 2. überarbeitete Auflage, Bayerisches Laserzentrum (Hrsg.), Erlangen, 2005.
- [4] Domininghaus, H.: Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften. 5. Auflage. Berlin: Springer, 1998.
- [5] Chandramowli, K.; Benatar, A.: Analysis of residual stresses in hot plate welded polycarbonate. In: ANTEC 2004 Conference Proceedings. Brookfield, CT: SPE, 2004.
- [6] Frick, T.; Hofmann, A.: Hybridschweißen – Chancen für die Fertigung von 3D-Makroschweißungen. In: Geiger, M.; Polster, S. (Hrsg.): Laser in der Elektronikproduktion und Feinwerktechnik.