



Fachbereich: Ingenieur- und Naturwissenschaften
Studiengang: BMMP16

[Bachelorarbeit]

[Erstellung eines Konzeptes für ein Fertigungssystem zum laserstrahlunterstützten Schweißen von Folien aus Kunststoffen inklusive der Möglichkeiten zur automatisierten Qualitätsüberwachung]

vorgelegt bei

[Prof. Dr.-Ing. Rolf Kademann]

Hochschule Merseburg

Lehrgebiet [BMMP16, Bachelor Mechatronik]

eingereicht von

[Suotao Tang]

[24716]

Merseburg, [28.06.2020]

Hochschule Merseburg

Fachbereich Ingenieur und Naturwissenschaften

Aufgabenstellung für die Bachelorarbeit von Herrn Suotao Tang (MMP16)

Thema: Erstellung eines Konzeptes für ein Fertigungssystem zum laserstrahlunterstützten Schweißen von Folien aus Kunststoffen inklusive der Möglichkeiten zur automatisierten Qualitätsüberwachung

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Rolf Kademann; Hochschule Merseburg, Fachbereich INW
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Kirchhofer; Hochschule Merseburg, Fachbereich INW

Aufgabenstellung:

Zunehmend gewinnt die Automatisierung in mannigfaltiger Form in der Produktionstechnik an Bedeutung, so dass es bei der Auslegung der einzusetzenden Fertigungstechnik eine Vielzahl an technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen zu beachten gilt.

Im Rahmen der Bachelorarbeit sind, gemäß der o. g. Themenstellung, das Maschinenkonzept zu konzipieren, deren Struktur darzustellen sowie dazugehörige maschinenbautechnische und organisatorische Besonderheiten aufzuzeigen und deren Einbindung in den Prozessablauf zu analysieren.

Hinweise zur Lösung der Aufgabenstellung

1. Analyse des gegenwärtigen Standes der Möglichkeiten des o. g. Folienschweißens als unter Beachtung der Prozessabläufe, der einsetzbaren Materialien, Vorrichtungen und der möglichen Anlagentechniken sowie erforderlichen Hilfseinrichtungen
2. Dokumentation der vorhandenen Lösungen für die o. g. technischen Einrichtungen in derartigen Prozessen
3. Auslegung und Bewertung von allgemeinen Lösungsvarianten für das automatisierte lasergestützte Folienschweißen
4. Beschreibung einer möglichen Lösung an einem selbst gewählten Beispielteil (mit Begründung)
5. Darstellung des Zusammenhangs zwischen den maschinenbaulichen und organisatorischen Schnittstellen Materialfluss (Ausgangsteil, Fertigteil, Vorrichtungen und Prüfmöglichkeiten), Transport und Handhabung sowie Ver- und Entsorgung der einzelnen Elemente für die Vorzugsvariante gemäß Abschnitt 4

Anzahl der Exemplare:

2 (zuzüglich 1 Exemplar in digitaler Form)



Prof. Dr.-Ing. M. Staiger
Vorsitzender des Prüfungsausschusses
des Studiengang MMP



Prof. Dr.-Ing. R. Kademann
Themenstellender Hochschullehrer

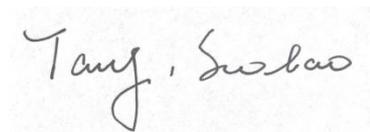
Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unerlaubte Hilfe Dritter angefertigt habe. Alle Stellen, die inhaltlich oder wörtlich aus Veröffentlichungen stammen, sind kenntlich gemacht. Diese Arbeit lag in gleicher oder ähnlicher Weise noch keiner Prüfungsbehörde vor und wurde bisher noch nicht veröffentlicht.

[Ort, Datum]

Merseburg, [28.06.2020]

[Unterschrift]



Inhaltverzeichnis

0. Einleitung.....	3
1. Begriff des Laserstrahlschweißens von Folien aus Kunststoffen.....	4
1.1. Was ist Laserstrahlschweißen von Folien aus Kunststoffen?.....	4
1.2. Definition von Kunststofffolien.....	5
1.2.1. PVA-Folien.....	5
1.2.2. CPP-Folien.....	5
1.2.3. BOPP-Folien.....	5
1.2.4. LDPE-Folien.....	6
1.2.5. PET-Folien.....	6
1.2.6. PA-Folien.....	6
1.3. Geschichte der Technologie zur LS-Bearbeitung von Kunststofffolien.....	7
2. Prinzip der Kunststoff-Laserschweißtechnologie.....	8
3. Technologie.....	10
3.1. Einsetzbare Materialien.....	10
3.2. Laserwellenlänge.....	11
3.2.1. CO ₂ -Laser.....	11
3.2.2. Nd: YAG-Laser.....	12
3.2.3. Halbleiterlaser.....	14
3.3. Absorber.....	14
3.4. Einfärbung.....	17
3.5. Andere Parameter.....	19
3.6. Vorrichtungen und möglichen Anlagentechniken.....	19
4. Verschiedene Laserstrahlschweißmethoden.....	21
4.1. Konturschweißen (contour welding).....	21
4.2. Maskenschweißen (Mask welding).....	23
4.3. Quasi-Simultanschweißen (Quasi-simultaneous welding).....	24
4.4. Simultanschweißen (simultaneous welding).....	25
5. Anwendungen in verschiedenen Bereichen.....	26
5.1. Automobilindustrie.....	26
5.2. Medizinische Industrie.....	28
5.2.1. Analytisches Instrument.....	28
5.2.2. Ballonkatheter.....	29
5.2.3. Ausgabesystem.....	30
5.2.4. Mikrofluidische Komponente.....	30
5.3. Verpackungsindustrie.....	31
5.4. Textilindustrie.....	31
6. Prozessüberwachung und Qualitätskontrolle.....	32
6.1. Echtzeit-Prozessüberwachung.....	32
6.2. Prüfmethode für die Schweißqualität.....	33
6.2.1. Schweißwegüberwachung.....	33
6.2.2. Pyrometersteuerung.....	33

6.2.3. Reflexdiagnose.....	33
6.2.4. Branderkennung.....	34
6.2.5. Kamerabilder Sammlung.....	34
7. Vorteile des LS-Schweißen in der Kunststoffindustrie.....	35
8. Kunststoff-Laserschweißen von Ohrenschmalzschutz als Beispiel.....	37
8.1. Ohrenschmalzschutz.....	38
8.2. Einsetzbare Anlagentechnik.....	39
8.2.1. Variante 1.....	40
8.2.2. Variante 2.....	43
8.2.3. Variante 3.....	44
8.3. Bewertungskriterien.....	45
8.4. Begründung der ausgewählte Lösung.....	46
9. Entwicklungsstand von Geräten in Europa, Amerika und China.....	47
9.1. Entwicklungsstand von Geräten in Europa und Amerika.....	47
9.2. Entwicklungsstand von Geräten in China.....	49
10. Zusammenfassung.....	50
11. Literaturverzeichnis.....	52
12. Abbildungsverzeichnis.....	53

0. Einleitung

Wenn Leute denken, dass Laser Metall schweißen kann, denken nicht viele Leute, dass Laser Plastik schweißen kann. In der Tat ist dies eine schwierige Aufgabe, da Kunststoff zu viel CO₂-Laserstrahlen absorbiert. Um Überlappungsschweißnähte zu bilden, schmilzt die obere Platte normalerweise zu stark, wenn versucht wird, die untere Schicht zu schmelzen. Das Stumpfschweißen ist aufgrund der Installationsanforderungen und der Unterstützung von Kunststofflösungen schwierig. Wenn jedoch die richtigen Kunststoff- und Laserparameter ausgewählt sind, kann der Kunststoff auch geschweißt werden.

Inwieweit elektromagnetische Wellen von einem Material reflektiert, übertragen oder absorbiert werden, hängt von der Wellenlänge und der Temperatur der Strahlung sowie dem Oberflächenzustand des Materials ab. Nur absorbierende Strahlungsenergie kann in Wärme umgewandelt werden und die Oberfläche des Materials schmelzen.

Das Ziel der Bachelorarbeit ist ein Konzept für ein Fertigungssystem zum laserstrahlunterstützten Schweißen von Folien aus Kunststoffen inklusive der Möglichkeiten zur automatisierten Qualitätsüberwachung zu erstellen.

In diesem Artikel werden einige grundlegende Konzepte, verwandte Prinzipien und verwandte Technologien des Kunststoff-Laserschweißens erläutert. Außerdem werden vier verschiedene Laserschweißverfahren vorgestellt. Dann gibt es die Anwendung dieser Technologie in verschiedenen Bereichen und wie eine automatisierte Prozessüberwachung und Qualitätskontrolle erreicht werden kann. Die Anwendung der Kunststoff-Laserschweißtechnologie auf Autolampe wird als Beispiel zur Erläuterung dieser Technologie verwendet.

1. Begriff des Laserstrahlschweißens von Folien aus Kunststoffen

1.1. Was ist Laserstrahlschweißen von Folien aus Kunststoffen?

Die Laserschweißtechnologie verwendet die von einem Laserstrahl erzeugte Wärme, um Kunststoffkontaktflächen zu schmelzen und dann thermoplastische Folien, Filme oder Formteile miteinander zu verbinden.

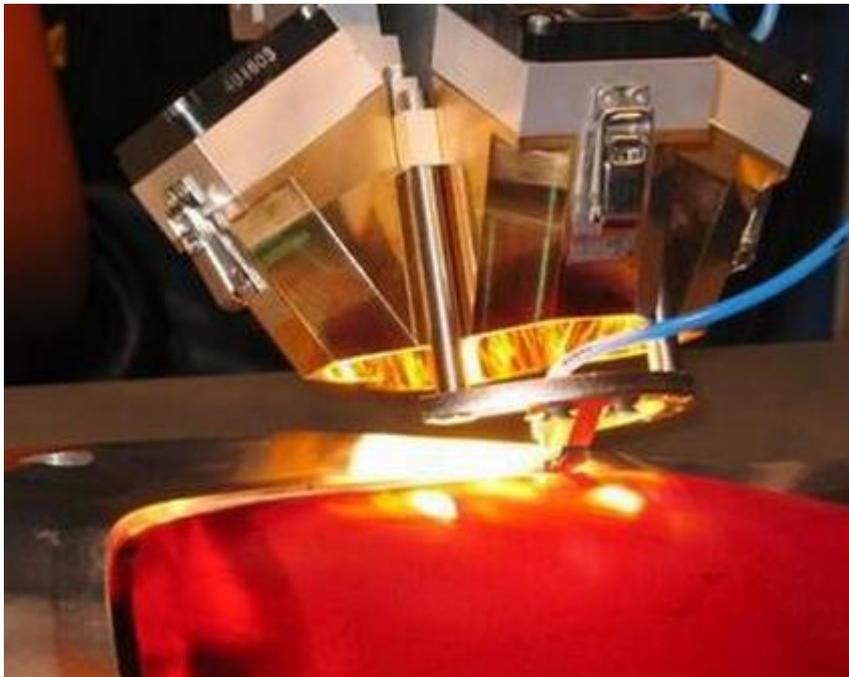


Abbildung 1. Laserstrahlschweißen

[Quelle: http://blog.sina.com.cn/s/blog_3eb807e90102wkh6.html]

1.2. Definition von Kunststofffolien

Kunststoffolie, umgangssprachlich auch Plastikolie oder auch Polymerolie genannt, ist ein dünnes (<1 mm) Blatt aus Kunststoff. Es wird zunächst in Endlosbahnen gefertigt, aufgerollt und später in passende Stücke geschnitten. Dickeres Material kann nicht aufgerollt werden und heißt dann Tafel.[wiki 0]

1.2.1. PVA-Folien

Diese Kunststoffolie wird in der Regel zum aseptischen Abfüllen von Milch, Saft, Essig und anderen Flüssigkeiten verwendet und kann die Kosten für die aseptische Verpackung von Lebensmittelverarbeitungsunternehmen erheblich senken, die Produktionseffizienz verbessern und gleichzeitig die Barrierefähigkeit der aseptischen Verpackung gewährleisten. Die Dicke beträgt grundsätzlich 5-8 µm.

1.2.2. CPP-Folien

CPP ist auch eine gebräuchliche Art von Kunststoffolie und kann je nach Verwendungszweck in gewöhnliche Sorten (Dicke von 25 bis 50 µm) und Kochsorten (Dicke von 60 bis 80 µm) unterteilt werden. Letzteres wird normalerweise auf der inneren Schicht der Fleischverpackung verwendet.

1.2.3. BOPP-Folien

Die Dicke der BOPP-Folie liegt im Allgemeinen zwischen 20 und 40 µm, sie ist hochtransparent, nicht leicht zu tragen, nicht leicht zu atmen und hat relativ stabile physikalische Eigenschaften.

1.2.4. LDPE-Folien

Die Dicke dieser Kunststoffolie beträgt normalerweise weniger als 30 μm . Aufgrund ihrer durchscheinenden und weichen Textur wird sie im Allgemeinen verwendet, um die Innenfolie aus Einweghandschuhen oder flexiblen Verbundverpackungen herzustellen.

1.2.5. PET-Folien

Die Dicke dieser Kunststoffolie beträgt etwa 12 μm , was eine hervorragende Härte, Luftdichtheit und Zähigkeit aufweist, fest und durchstoßfest ist und nicht leicht zu tragen ist. Sie wird üblicherweise als Außenmaterial für das Kochen und Verpacken verwendet.

1.2.6. PA-Folien

Die Dicke dieser Kunststoffolie ist relativ dick, im Allgemeinen über 60 μm , und sie weist eine hohe Sauerstoffbarriere, Ölbeständigkeit und Zugfestigkeit auf. Vakuumverpackung von Lebensmitteln, fettige Lebensmittelverpackungsarbeiten.

1.3. Geschichte der Technologie zur LS-Bearbeitung von Kunststofffolien

Durch die großtechnische Ausbeutung und Nutzung von Erdöl und die rasche Entwicklung der petrochemischen Industrie ist Kunststoff als technischer Werkstoff kostengünstig und leicht zugänglich (Produkte der Erdölraffinerie- und chemischen Industrie), hat eine einfache und schnelle Verarbeitungstechnologie, ein geringes Gewicht der fertigen Produkte und hervorragende physikalische Eigenschaften kann eine Vielzahl von technischen Eigenschaften bieten, und seine Anwendung ist sehr umfangreich. Als technischer Ersatz für Metalle wie Stahl, Aluminium, Magnesium und andere nichtmetallische Werkstoffe werden Kunststoffe zunehmend in der industriellen Fertigung und im Alltag eingesetzt.

Neben den klassischen metallischen Werkstoffen wächst derzeit die Palette der laserschweißbaren Werkstoffe stetig, auch der Einsatz von nichtmetallischen Werkstoffen wie Keramik nimmt zu: Kunststoffe gehören zu den Vertretern organischer Werkstoffe. Als Gegenstand des Laserschweißens muss der Kunststoff, der mit dem Laser geschweißt werden kann, duroplastisch sein. In den 1970er Jahren begann man, Laser für das Kunststoffschweißen einzusetzen. Erst in den 1990er Jahren wurden großtechnische Anwendungen in der Industrie erreicht. Die früheste in der Literatur beschriebene Laser-Kunststoffschweißanwendung war 1972, als mit einer 100-Watt-CO₂-Laserlichtquelle Polyethylenbleche mit einer Geschwindigkeit von 10 mm pro Sekunde (maximale Dicke 1,5 mm) geschweißt wurden.

Aufgrund der Einschränkungen der Lasertechnologie und der geringen Festigkeit, der geringen Wärmebeständigkeit und der leichten Verformung von Kunststoffen sind Laser als Schweißwerkzeuge in der Kunststoffindustrie bisher nicht sehr beliebt, ebenso sind die Produkte des Kunststoffs Laserschweißens begrenzt Verpackungen, medizinische Geräte usw. Mit der rasanten Entwicklung von Kunststoffen und verschiedenen Lasern und Laserbearbeitungsmaschinen wird jedoch auch die Forschung und Anwendung der Kunststoff-Laserschweißtechnologie immer umfangreicher.

2. Prinzip der Kunststoff-Laserschweißtechnologie

Das Grundprinzip des Laserschweißens von Kunststoffen ähnelt dem von metallischen Werkstoffen. Als eine Art Schweißwärmequelle hat der Laser die Vorteile einer ausgezeichneten Kollimation, einer hohen Strahlungsenergiedichte und einer kleinen aktiven Fläche. Das aus Spiegeln, Linsen oder Lichtleitern bestehende Strahlengangsystem fokussiert beim Schweißen den vom Laser erzeugten Strahl auf den zu schweißenden Bereich zu einer wärmeaktiven Zone. Der Kunststoff in der wärmeaktiven Zone wird aufgeschmolzen; Das geschmolzene Material bildet eine Verbindung und die zu verschweißenden Teile werden verbunden.

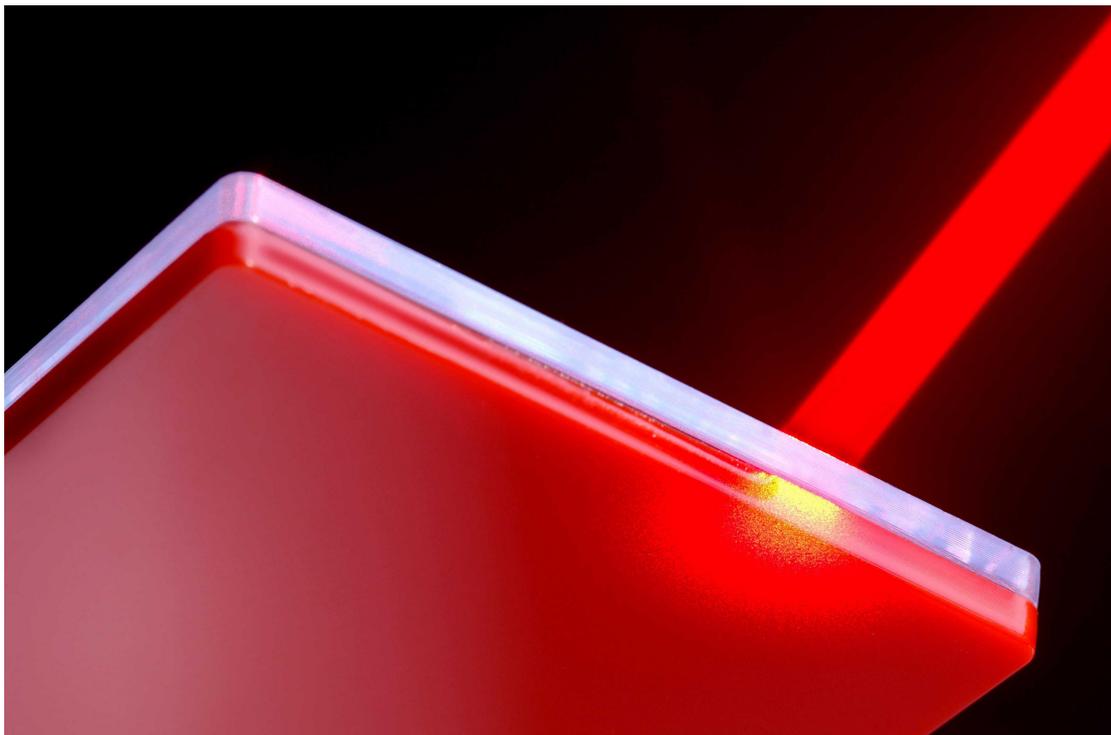


Abbildung 2.1. Laserschweißen von Kunststoffen

[Quelle: <https://www.haerberle-laser.de/laserschweissen-laserschneiden-beispiele/prinzip-laser-kunststoffschweissen/>]

Beim Laserdurchstrahlschweißen handelt sich um einen einstufigen Prozess, bei dem die Erwärmung des Kunststoffes und der Fügevorgang nahezu gleichzeitig ablaufen. Dabei muss ein Fügepartner im Bereich der Laserwellenlänge einen hohen Transmissionsgrad und der andere einen hohen Absorptionsgrad aufweisen. Vor dem Schweißprozess werden beide Bauteile in der gewünschten Endlage positioniert und der Fügedruck aufgebracht.

Der transparente Fügepartner wird vom Laserstrahl ohne nennenswerte Erwärmung durchstrahlt. Erst im zweiten Fügepartner wird der Laserstrahl in einer oberflächennahen Schicht vollständig absorbiert, wobei die Laserenergie in Wärmeenergie umgewandelt und der Kunststoff aufgeschmolzen wird. Aufgrund von Wärmeleitungsprozessen wird auch das transparente Bauteil im Bereich der Fügezone plastifiziert. Durch den von außen aufgebrachten sowie durch den aus der Ausdehnung der Kunststoffschmelze resultierenden inneren Fügedruck kommt es zu einer stoffschlüssigen Verbindung der Bauteile. [wiki 1]

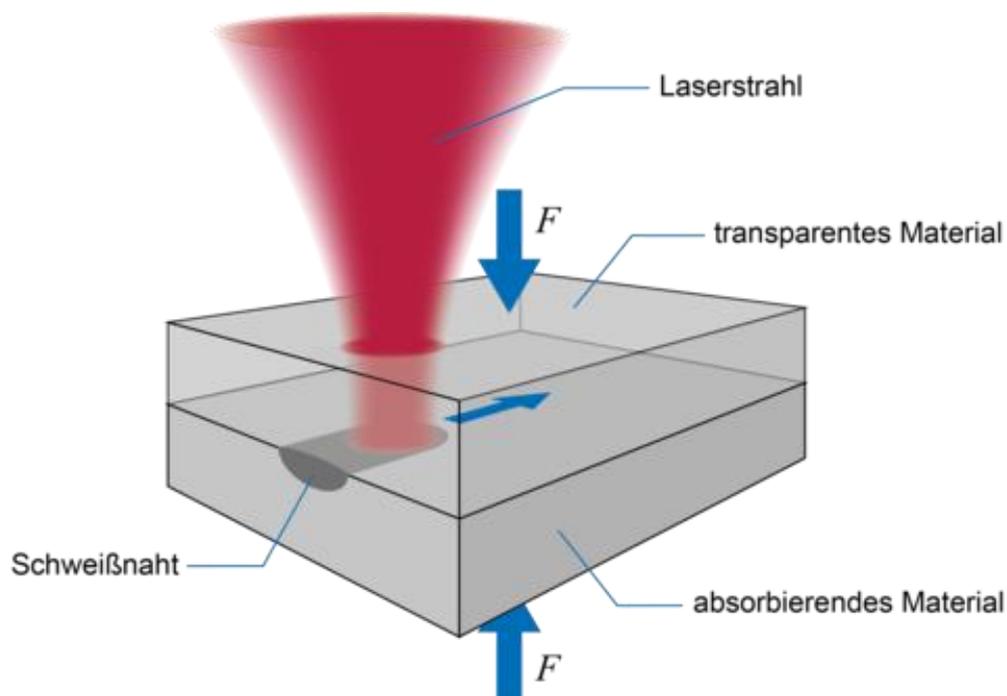


Abbildung 2.2. Grundprinzip des Laserschweißens von Kunststoffen

[Quelle: <https://www.laserline.com/de-int/kunststoffschweissen/>]

3. Technologie

3.1. Einsetzbare Materialien

Laserschweißbare Kunststoffe sind Thermoplaste. Theoretisch können alle Thermoplaste lasergeschweißt werden. Die Anforderungen der Kunststofflaserschweißtechnik an zu schweißende Kunststoffe sind: Werkstoffe in der wärmeaktiven Zone erfordern eine gute Absorption von Laserlichtwellen, und Werkstoffe, die nicht zur wärmeaktiven Zone gehören, erfordern insbesondere eine gute Lichtwellendurchlässigkeit. Dies gilt insbesondere beim Schweißen von zwei dünnen Kunststoffteilen. Das Hinzufügen eines Absorptionsmittels zu dem Kunststoff in der Wärmeeinflusszone kann normalerweise das Ziel erreichen. Einkomponentige Kunststoffe, die derzeit zum Laserschweißen geeignet sind, umfassen:

PMMA-Polymethylmethacrylat (PMMA), PC-Kunststoff, ABS-Kunststoff, LDPE-Polyethylen mit niedriger Dichte, HDPE-Polyethylen mit hoher Dichte, PVC-polychlorierter Z-Dünnkunststoff, Nylon 6-Nylon 6, Nylon 66 - Nylon 66, PS-PS-Harz usw.

Die oben genannten Kunststoffteile aus verschiedenen Kunststoffen, wie Formkunststoffen, Kunststoffplatten, Folien, Elastomeren, Fasern und Textilien, können als Schweißgegenstände verwendet werden. Da das Laserschweißen die Eigenschaften eines kleinen Wärmeeinwirkungsbereichs und einer präzisen und einfachen Steuerung aufweist, die beim herkömmlichen Schweißen nicht gegeben sind, können auch die oben genannten verschiedenen Einzelmaterialien geschweißt werden.

3.2. Laserwellenlänge

Beim Laserschweißen von Metallmaterialien wird im Allgemeinen ein Nd:YAG- oder CO₂-Laser als Lichtquelle verwendet, und das Kunststoffschweißen ist keine Ausnahme. Mit der rasanten Entwicklung der Halbleitermaterialindustrie wurden Halbleiterlaser allmählich als Lichtquellen verwendet. Unter den dreien sind, da die höhere Leistung leicht zu erhalten ist, die ersteren zwei in der traditionellen Materialverarbeitungsindustrie beliebter, während das Laserschweißen mit trockenem Kunststoff keine hohe Lichtquellenleistung erfordert, aber Steuerbarkeit und einfache Bedienung aufweist. Hohe Leistungsanforderungen, daher sind Halbleiterlaser auch beim Kunststoffschweißen sehr nützlich.

3.2.1. CO₂-Laser

Die längere Wellenlänge beträgt 10,6 Mikrometer und gehört zum Ferninfrarotbereich. Im Allgemeinen absorbieren Kunststoffe diese Wellenlänge gut. Gegenwärtig beträgt die maximale Ausgangsleistung 50 kW, die Umwandlungseffizienz etwa 10% und der minimale Fokusbereich etwa 0,2 mm bis 0,7 mm. Beim Schweißen von Kunststoffen hat die Wärmeeinwirkungszone eine tiefere Tiefe, die zum Schweißen von dickeren Kunststoffen geeignet ist. CO₂-Laser können nicht durch Lichtwellenleiter übertragen werden, sondern nur einen starren optischen Übertragungsweg durch das aus Linsenreflektoren bestehende optische System aufbauen, der die Funktionsfähigkeit des Laserkopfs beeinträchtigt.

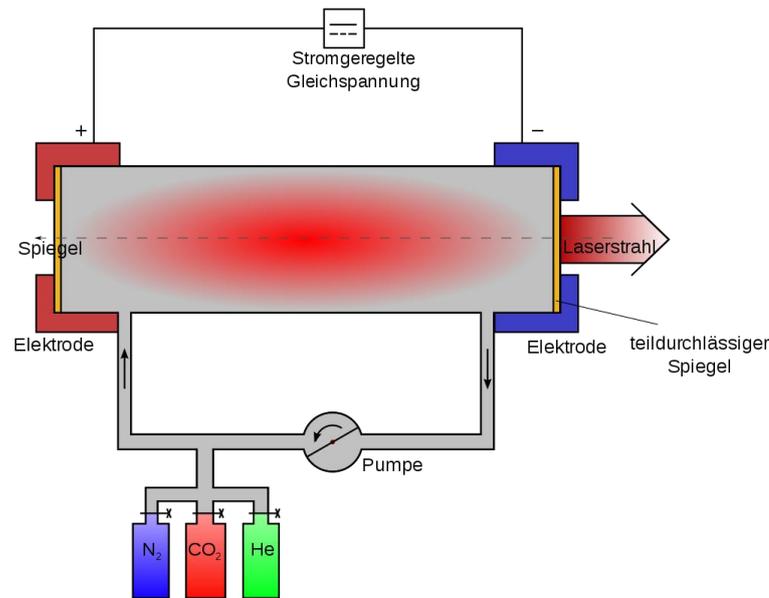


Abbildung 3.2.1. Grundprinzip von CO₂-Laser

[Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlendioxidlaser#/media/Datei:Co2_laser_funktionsprinzip.svg]

3.2.2. Nd: YAG-Laser

Das Grundelement dieser Laserquelle bildet ein Neodym-dotierter Yttrium-Aluminium-Granat-Kristall. Somit handelt es sich beim Nd:YAG-Laser um einen Festkörperlaser – im Unterschied zum CO₂-Laser, dessen Lasermedium das Gas Kohlendioxid darstellt. Yttrium-Aluminium-Granat ist ein künstlich synthetisiertes Kristall, das mit Neodym-Atomen angereichert wird. Als Lichtquelle dienen entweder Gasentladungslampen oder Diodenlaser, welche Neodym-Atome anregen. Nd:YAG-Laser emittieren das Licht vorwiegend im Infrarot-Bereich und zwar auf der Wellenlänge von 1064 nm. [yag]

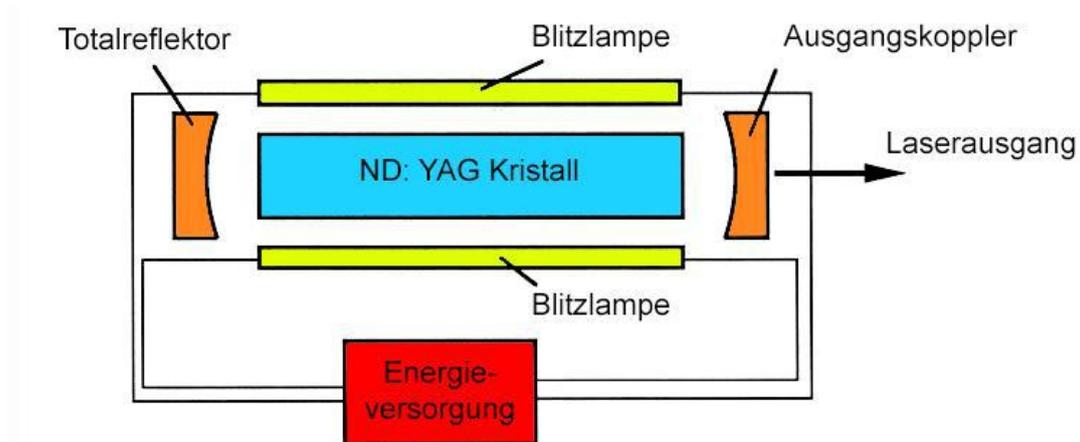


Abbildung 3.2.1. Grundprinzip von Nd: YAG-Laser

[Quelle: <https://www.laserschneiden-marktplatz.de/lasertypen/ndyag-laser>]

Die kürzere Wellenlänge beträgt 1,06 Mikrometer, was zum nahen Infrarotbereich gehört und von Kunststoffen nicht leicht absorbiert wird. Die maximale Ausgangsleistung beträgt 6 kW, die Umwandlungseffizienz 3% und der minimale Fokussierdurchmesser 0,1 bis 0,5 mm. Der Nd: YAG-Laser zeichnet sich durch eine kleine Fokussierfläche aus, die sich leicht durch Lichtwellenleiterübertragung herstellen lässt. Der Laserkopf kann am Roboterarm montiert werden, um eine numerische Steuerung und eine präzise Automatisierung des Schweißprozesses zu erreichen. Darüber hinaus kann er die obere Schicht besser passieren. Das zu schweißende Material erreicht das zu schweißende Material in der unteren Schicht oder der Zwischenschicht und wird absorbiert, wodurch das Schweißen realisiert wird.

3.2.3. Halbleiterlaser

Wellenlänge ist 0,8 ~ 1,0 Mikron, maximale Ausgangsleistung ist 6 kW, Umwandlungseffizienz ist 30%, minimaler Fokussdurchmesser ist 0,5 mm. Aufgrund seiner geringen Ausgangsleistung eignet es sich für Situationen mit geringen Anforderungen an die Laserleistung, z. B. für das Präzisionsschweißen von kleinen Kunststoffgeräten. Der Wirkungsgrad der Halbleiterlaser-Energieumwandlung ist hoch, die Miniaturisierung und die Portabilität des Lasers sind einfach zu realisieren.

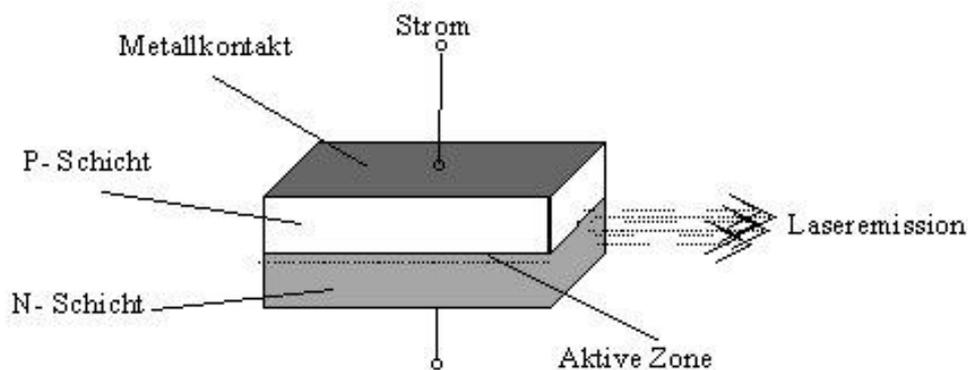


Abbildung 3.2.1. Grundprinzip von Halbleiterlaser

[Quelle: <http://www.waehlich.de/dv.beratung/team/georg/fh.aachen/absolventen/steinbrecher/halbleiter.html>]

3.3. Absorber

Das Aufbringen von Absorbens ist ein sehr wichtiger Prozess beim Kunststoff-Laserschweißen. Wie bereits erwähnt, besteht die Essenz des Kunststoff-Laserschweißens darin, den zu schweißenden Kunststoff in der wärmeaktiven Zone zu schmelzen und dann auf natürliche Weise abzukühlen, um das Verbinden der Kunststoffteile zu erreichen. Zum Schmelzen des Kunststoffs muss die Laserenergie vom Kunststoffteil absorbiert werden. Kunststoff selbst kann natürlich Laserenergie mit einer hohen Absorptionsrate absorbieren. Es ist natürlich das Beste,

aber im Allgemeinen absorbiert Kunststoff ohne Zugabe eines Absorptionsmittels Licht nicht sehr gut, seine Absorptionseffizienz ist gering und seine Schmelzeffizienz ist nicht ideal.

Das ideale Absorptionsmittel ist im Allgemeinen Ruß. Ruß kann im Grunde die gesamte Laserenergie bei der Infrarotwellenlänge absorbieren, wodurch der Wärmeabsorptionseffekt des Kunststoffs erheblich verbessert wird und das Material in der wärmeaktiven Zone schneller und besser schmilzt. Einige andere Farben von Farbstoffen können den gleichen Effekt der Absorption von Lichtwellen haben.



Abbildung 3.3. Ruß

[Quelle: <http://www.cnpowder.com.cn/news/45341.html>]

Das Welding Institute (TWI) hat einen Farbstoff entwickelt, der für sichtbares Licht transparent ist. Mit diesem Farbstoff als Absorptionsmittel können transparente Kunststoffschweißnähte erhalten werden. Ruß absorbiert sowohl Laserlichtwellen im Infrarotbereich als auch Wellen des sichtbaren Lichts. Deshalb sieht Ruß schwarz aus. Wenn Ruß als Absorptionsmittel verwendet wird, wird die Farbe der Laserschweißnaht dunkler und unterscheidet sich von der Farbe des Grundmetalls. TWI-entwickelte Farbstoffe, die für sichtbares Licht transparent sind, absorbieren nur magnetische Wellen im Infrarotbereich und kein sichtbares Licht, sodass die Schweißnaht immer noch transparent aussieht.

In vielen Fällen erfordert das Kunststoffschweißen schöne und empfindliche Endprodukte, weshalb Farbstoffabsorber, die für sichtbares Licht transparent sind, im Vergleich zu Ruß sehr beliebt sind.

Es gibt drei Möglichkeiten, Absorptionsmittel hinzuzufügen: Eine besteht darin, das Absorptionsmittel direkt in das zu schweißende Material zu infiltrieren. Die Kunststoffteile, die in das Absorptionsmittel eingedrungen sind, sollten darunter und die Kunststoffteile, die nicht in das Absorptionsmittel eingedrungen sind, darüber gelegt werden. Die Lichtwelle durchläuft. Die zweite ist das Einweichen des Absorptionsmittels auf die Oberfläche des zu verschweißenden Kunststoffteils, so dass nur ein Teil des Kunststoffs, in den das Absorptionsmittel eingedrungen ist, zu einer wärmeaktiven Zone wird und geschmolzen wird. Die dritte ist das Aufsprühen des Kontakts der beiden zu verschweißenden Kunststoffteile Oder bedrucken Sie ein Absorptionsmittel.

3.4. Einfärbung

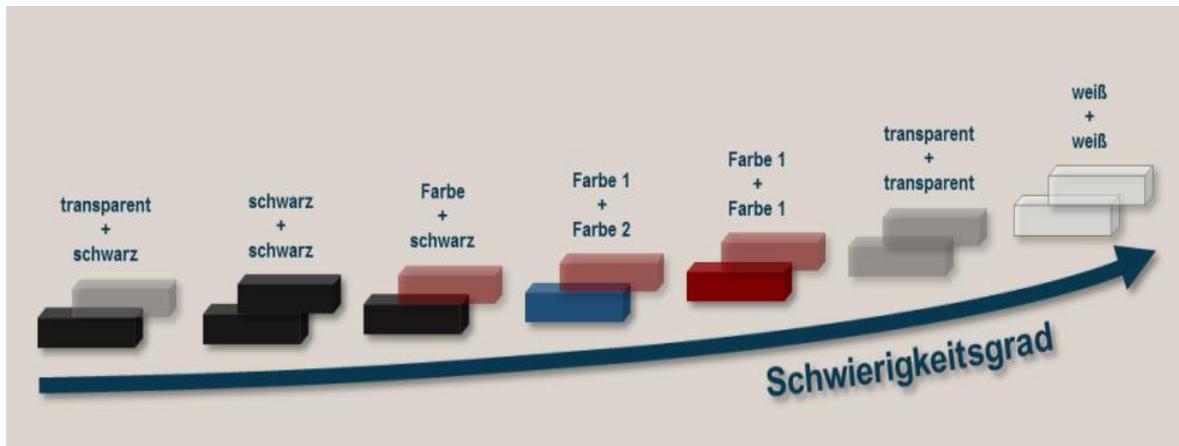


Abbildung 3.4. Schwierigkeitsgrad von Schweißen

[Quelle: https://www.evosys-laser.de/fileadmin/evosys-laser/Technische_Dokumente/2018-01-10_Evosys_Richtlinie_Kunststoffschiessen_dt.pdf]

Ungefärbte Kunststoffe werden selten zu Endprodukten verarbeitet. Beispielsweise müssen für sichtbare Komponenten in der Konsumgüter- oder Automobilindustrie ästhetische Überlegungen und Spezifikationen berücksichtigt werden. Einige Bereiche benötigen jedoch auch eine funktionale Farbgebung, wie z. B. Signalfarben.

Daher werden dem Kunststoff während der Verarbeitung Farbstoffe zugesetzt, die das Aussehen gemäß den Spezifikationen verändern. Aufgrund der Vielzahl von Variablen wie Farbe, Kunststoff, Wandstärke, Laserwellenlänge usw. ist es nicht möglich, eine Farbmatrix aus transparenten Laserstrahlen und Farbeinstellungen zu erstellen, die Laserstrahlen absorbieren. Aufgrund der einfachen Erstellung von Farbkombinationen (siehe Abbildung 3.4.) kann die erste Aussage zum Laserkunststoffschiessen mit Farben getroffen werden.

Bei den Pigmentadditiven wird zwischen unlöslichen Pigmenten und in Kunststoffen löslichen Farbstoffen unterschieden. Beide Gruppen haben einen großen Einfluss auf das Lasertransmissionsschweißen von Kunststoffen, weil Sie beeinflussen die

optischen Eigenschaften von Thermoplasten im nahen Infrarotbereich.

Im Gegensatz zu Farbstoffen sind Farbpigmente in Kunststoffen nahezu unlöslich. Farbpigmente können anorganische oder organische Eigenschaften haben und anorganische Pigmente sind vollständig unlöslich.

Die wichtigste Gruppe anorganischer Pigmente sind Schwarzpigmente. Wichtigster Vertreter ist Ruß, der sich neben dem attraktiven Preis auch positiv auf die Leistungsfähigkeit von Kunststoffen auswirkt. Ruß ist bereits bei geringen Konzentrationen von 0,5-1% ausreichend deckend. Da es nahezu das gesamte Wellenlängenspektrum absorbiert, eignet es sich hervorragend zum Einfärben von laserabsorbierenden Verbindungspartnern.

Eine weitere wichtige Gruppe anorganischer Farbpigmente sind Weißpigmente. Zu den wichtigsten Vertretern zählen heute Titandioxid TiO_2 , Zinkweiß- ZnO und Zinksulfid- ZnS . Es ist schwierig, Bauteile mit einer starken weißen Farbe zu schweißen, da Weißpigmente die beim Laserkunststoffschweißen verwendete Strahlung im nahen Infrarotbereich stark reflektieren und streuen.

Aufgrund der besonderen Anforderungen des Lasertransmissionsschweißens von Farbstoffen bei der Transmission und Absorption von Wellenlängen im nahen Infrarotbereich haben die kunststoffproduzierende Industrie und die Farbmittelhersteller spezielle Additive und Farbstoffe entwickelt, die den Anforderungen entsprechen. Der heute bekannteste Farbton ist speziell für das Laserschweißen von Kunststoffen entwickelt worden, er ist IR-transparent schwarz. Durch das Abdecken verschiedener, teilweise lasertransparenter Farbpigmente können Sie opake Schwarzabdrücke von Bauteilen im sichtbaren Lichtbereich erzeugen. Im Gegensatz zu anderen Schwarztönen sind auf diese Weise erzeugte Farben für Wellenlängen im nahen Infrarotbereich transparent.

Ruß kann nicht für helle und helle Farbeinstellungen verwendet werden. Durch die

Verwendung eines alternativen Nahinfrarotabsorbers können nahezu alle Farben eingestellt werden.

3.5. Andere Parameter

Im Gegensatz zum Metallschweißen ist die zum Kunststoff-Laserschweißen erforderliche Laserleistung nicht so groß wie möglich. Je größer die Schweißlaserleistung ist, desto größer und tiefer ist der thermisch aktive Bereich auf dem Kunststoffteil, wodurch das Material überhitzt, deformiert und sogar beschädigt wird. Die Laserleistung sollte basierend auf der erforderlichen Schmelztiefe ausgewählt werden.

Die Geschwindigkeit des Laserschweißens von Kunststoffen ist relativ hoch: Im Allgemeinen kann die Schweißgeschwindigkeit einer 1 mm dicken Naht 20 m / min erreichen, während mit dem Hochgeschwindigkeits-CO₂-Laser Kunststofffolien mit einer maximalen Geschwindigkeit von 750 m / min geschweißt werden können.

3.6. Vorrichtungen und möglichen Anlagentechniken

Die Lasertransmissionsschweißtechnologie verwendet hauptsächlich zwei Arten von Lasergeräten: eines ist ein mit Neodym dotierter synthetischer Kristall aus Yttrium-Aluminium-Granat (Nd: YAG) und das andere ist eine Halbleiterdiode.

Nd: YAG-Laser haben eine Wellenlänge von 1064 Nanometern (nm) und werden von Kunststoffen, die spezielle Füllstoffe oder Pigmente enthalten, leicht absorbiert. Der Laser kann leicht über die Lichtleitfaser zum Laserkopf übertragen werden, insbesondere in der Schweißtechnik mit automatisierten Geräten.

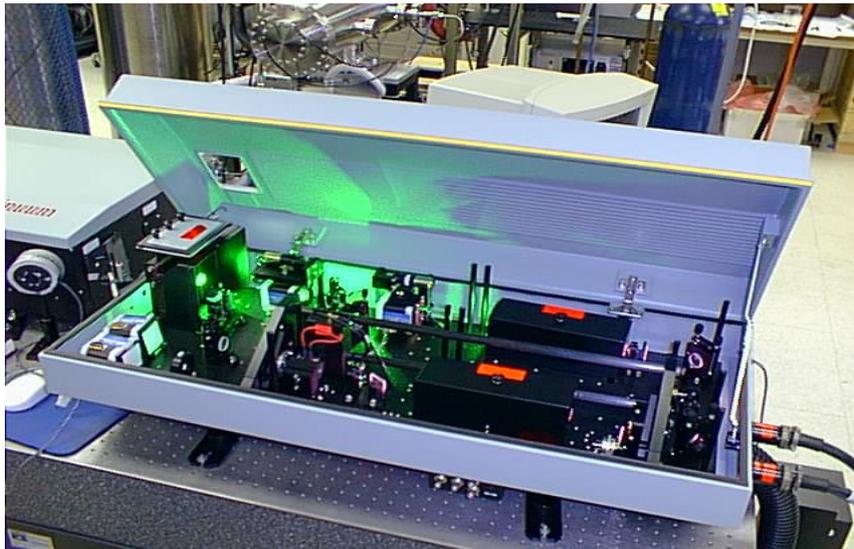


Abbildung 3.5. Vorrichtung von Nd:YAG-Laser

[Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Nd:YAG-Laser#/media/Datei:Powerlite_NdYAG.jpg]

Diodenlaser erzeugen Wellenlängen zwischen 800 und 1000 nm, was der effizienteste Energiebereich für das Schweißen ist. Es hat eine kompakte Struktur und kann leicht an Automatisierungsgeräten installiert werden. Die Absorptionseigenschaften eines Diodenlasers ähneln denen von Nd: YAG.

Kohlendioxid (CO₂) -Laser werden manchmal zum Kunststoffschweißen verwendet. Es kann 10600-nm-Lichtwellen erzeugen, die von Kunststoffen leichter absorbiert werden können als Nd: YAG- und Diodenlaser. Die Durchschlagskraft des Kohlendioxidlasers ist jedoch nicht so gut wie die der beiden anderen Laser. Daher werden Kohlendioxidlaser hauptsächlich zum Schweißen von Dünnschichtmaterialien verwendet.

4. Verschiedene Laserstrahlschweißmethoden

Entsprechend den unterschiedlichen Schweißaufgaben und -anforderungen kann der Laserschweißprozess wie folgt ablaufen.



Abbildung 4. verschiedene Laserstrahlschweißmethoden

[Quelle: <https://docplayer.org/73561419-Laserdurchstrahlschweissen-von-thermoplasten.html>]

- 1: Konturschweißen (contour welding)
- 2: Maskenschweißen (Mask welding)
- 3: Quasi-Simultanschweißen (Quasi-simultaneous welding)
- 4: Simultanschweißen (simultaneous welding)

4.1. Konturschweißen (contour welding)

Beim Konturschweißen fährt ein fokussierter Laserstrahl die Schweissnaht sequenziell ab und schmilzt sie lokal auf. Dabei bleibt das Schweissvolumen aufgrund der geometrischen Verhältnisse klein und der Austritt von Schmelze wird vermieden. Die Relativbewegung erfolgt durch Bewegung des Bauteils, des Lasers oder aus einer Kombination von beiden. [kon]

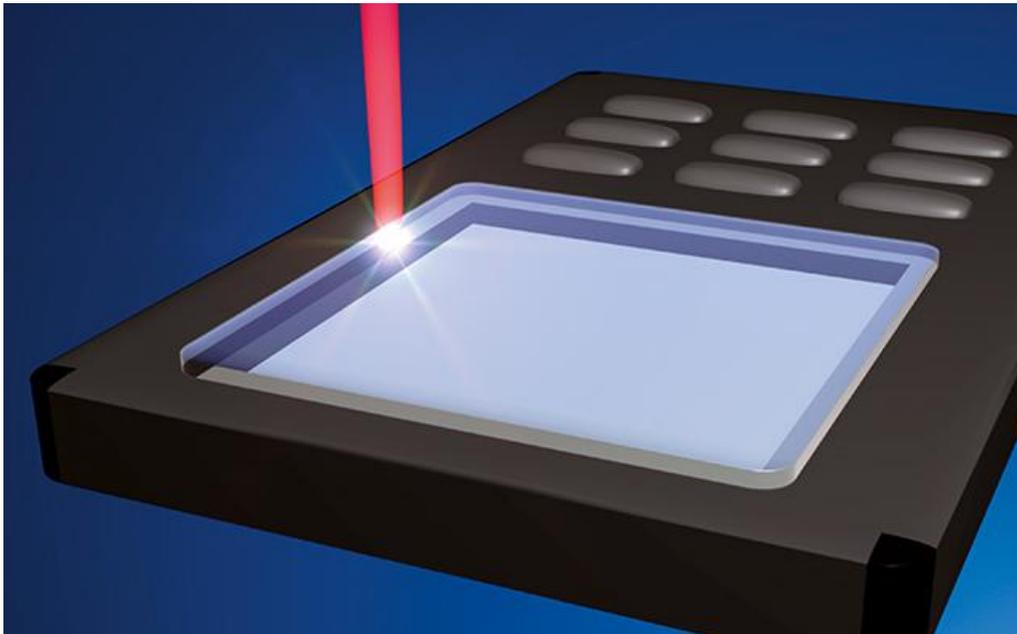


Abbildung 4.1. Konturschweißen (contour welding)

[Quelle: <https://www.leister.com/de/laser-plastic-welding/know-how/schweisskonzepte/konturschweissen>]

Konturschweißen ist das einfachste und am weitesten verbreitete Schweißverfahren. Während des Schweißens wird der Laserstrahl durch das optische System und das Galvanometer auf das zu schweißende Objekt bewegt oder der Laserstrahl steht und das zu schweißende Objekt wird bewegt. Die Wechselwirkungszeit zwischen dem Laser und dem zu schweißenden Objekt hängt von der Strahlfokusgröße und der Bewegungsgeschwindigkeit ab, die die Schweißzeit und den Schweißeffekt beeinflussen. Das Konturschweißen ist ein sehr flexibles Schweißverfahren, mit dem sich komplexes dreidimensionales Schweißen erzielen lässt und das ein breites Anwendungsspektrum in der Verpackungsindustrie aufweist.

4.2. Maskenschweißen (Mask welding)

Das Maskenschweißen ist ein Verfahren, bei dem eine Maske, ein Grundkonturschweißen oder ein synchrones Schweißverfahren verwendet wird und das dem Prinzip der Lithographie bei der Chipherstellung ähnelt. Dieses Verfahren wird hauptsächlich bei komplexen geometrischen Schweißmustern mit einer Mindestnahtbreite von mehr als 100 µm angewendet. Masken bestehen häufig aus Blech oder metallisiertem Glas. Da die Herstellung der Maske mühsam ist und die Maske nur für ein geometrisches Schweißmuster hergestellt wird, mangelt es dem Maskenschweißen oft an Flexibilität, es ist jedoch für eine Schweißverarbeitung in großem Maßstab geeignet.

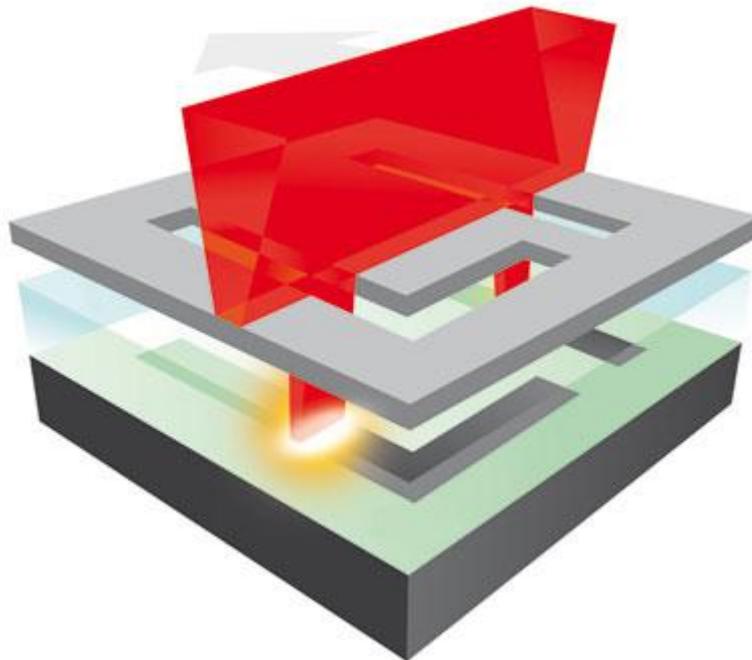


Abbildung 4.2. Maskenschweißen (Mask welding)

[Quelle: <https://www.limo.de/praxisanwendungen/kunststoffschweissen/>]

4.3. Quasi-Simultanschweißen (Quasi-simultaneous welding)

Beim Quasisimultanschweißen wird ein Laserstrahl so schnell zwischen den Schweißorten hin- und her abgelenkt, dass quasi an allen Orten gleichzeitig Wärme eingebracht wird. Es kann somit als eine Kombination des Konturschweißens mit dem Simultanschweißen verstanden werden. Der hohe Vorschub des Verfahrens bewirkt, wie beim Simultanschweißen, eine Plastifizierung der gesamten Nahtfläche. [quasi]

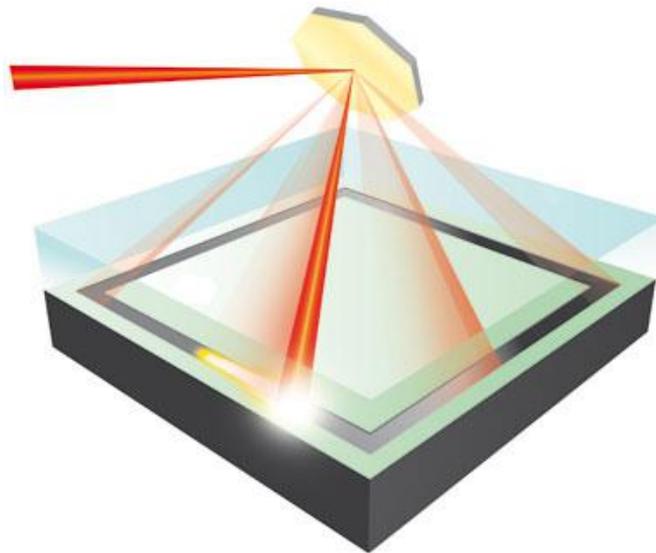


Abbildung 4.3. Quasi-Simultanschweißen (Quasi-simultaneous welding)

[Quelle: <https://www.limo.de/praxisanwendungen/kunststoffschweissen/>]

Quasi-Simultanschweißen ist ein Prozess, der Konturschweißen und Simultanschweißen kombiniert. Der Laserstrahl durchläuft das Galvanometer mit einer sehr schnellen Geschwindigkeit von bis zu 10 m / s und wiederholt den Scanvorgang mehrfach, so dass der gesamte Schweißbereich gleichzeitig aufgeschmolzen wird, der Effekt ist ähnlich wie beim Synchronschweißen. Durch das gleichzeitige Aufschmelzen sind das Quasi-Simultanschweißen und das Simultanschweißen gleichermaßen für das Brückenschweißen zweier benachbarter Teile mit großem Spalt geeignet.

4.4. Simultanschweißen (simultaneous welding)

Beim Simultanschweißen wird mit mehreren, ggf. nahtangepasst geformten Strahlen gearbeitet, um die gesamte Nahtkontur gleichzeitig zu bestrahlen. Dies sorgt für eine extreme Verkürzung der Prozesszeiten (auf < 1 s) und ermöglicht das Überbrücken der Spaltmaße durch Abschmelzen. Zusätzlich ist die Schweißnaht fester als beispielsweise beim Konturschweißen, da das Simultanschweißen eine höhere Wechselwirkungszeit hat. Je aufwändiger die Nahtkontur, desto aufwändiger fällt das Erstellen der passenden Strahlgeometrie aus und insbesondere das Einstellen einer homogenen Leistungsdichteverteilung. [sim]

Beim Simultanschweißen beleuchtet der Laserstrahl gleichzeitig den Schweißbereich, was die Schweißbearbeitungszeit erheblich verkürzt und das Brückenschweißen zweier benachbarter Teile mit großem Spalt ermöglicht. Im Vergleich zum Konturschweißen ist das im Synchronschweißverfahren geschweißte Teil aufgrund der längeren Laseraktionszeit zuverlässiger.

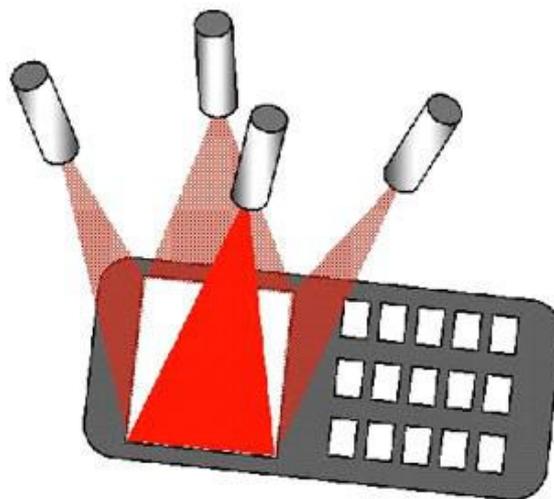


Abbildung 4.4. Simultanschweißen (simultaneous welding)

[Quelle: <https://sonotronic.de/bilder-1/alte-bilder/laser-simultanschweissen/view>]

5. Anwendungen in verschiedenen Bereichen

Das Kunststofflaserschweißen hat viele umfassende Vorteile: hohe Geschwindigkeit, hohe Schweißgenauigkeit, einfache Realisierung der Automatisierung der Schweißmaschine und präzise numerische Steuerung, den herkömmlichen Schweißprozessen überlegene Umgebungsbedingungen am Verarbeitungsort und relativ niedrige Kosten. Daher ist die Kunststoff-Laserschweißtechnologie in den folgenden Bereichen weit verbreitet.

5.1. Automobilindustrie

Der Megatrend der heutigen Automobilkarosserie besteht darin, ihr Gewicht zu reduzieren, weshalb Kunststoffe, Harze, Spezialglas und andere Materialien in Automobilen immer häufiger zum Einsatz kommen. Schweißen ist ein unverzichtbarer Prozess, und das Laserschweißen ist einer der Schweißprozesse, die die größten Vorteile gegenüber herkömmlichen Prozessen, ausgereifter Technologie und relativ niedrigen Kosten aufweisen. Daher wird das Laserschweißen von Thermoplasten, Kunstharzen, Synthetikgummi und einigen speziellen Glas- und anderen Automobilmaterialien in der Automobilindustrie häufiger eingesetzt.

In der Automobilindustrie können mithilfe der Kunststofflaserschweißtechnologie viele Automobilteile hergestellt werden, z.B. automatische Türschlösser, Einrichtungen für den schlüssellosen Zugang, Kraftstoffdüsen, Schaltgestelle, Motorsensoren, Fahrerhausgestelle, hydraulische Kraftstofftanks, Filterrahmen vorne, Lichter und Rücklichter. Andere Automobilanwendungen umfassen die Herstellung von Ansaugkrümmern und Hilfswasserpumpen.



Abbildung 5.1.1. Autolampen

[Quelle: http://www.sohu.com/a/330896269_167954]



Abbildung 5.1.2. Werkstück des Autos

[Quelle: http://www.sohu.com/a/330896269_167954]



Abbildung 5.1.3. Gehäuse des Autos

[Quelle: http://www.sohu.com/a/330896269_167954]

5.2. Medizinische Industrie

Im medizinischen Bereich kann die Laserschweißtechnologie zur Herstellung von Flüssigkeitstanks, Flüssigkeitsfiltrationsgeräten, Schlauchanschlüssen, Stomabeuteln, Hörgeräten, Implantaten, Mikrofluidikgeräten zur Analyse usw. verwendet werden.

Der Laser kann auch Kunststofffolien zusammenschweißen und bewegt sich entlang der Kanten der Folie, um durch Kleben eine Verpackungsstruktur zu bilden. Der Vorgang kann sehr schnell abgeschlossen werden.

Mit der breiten Anwendung von Kunststoffen im Bereich medizinischer Geräte sind auch neue Arten der Kunststoffherstellung und -verarbeitungstechnologie aufgetaucht. Als eine davon hat das Laserschweißen in der Industrie aufgrund seiner Vorteile wie Keine Verschmutzung, Berührungslose Verbindung und Nahtlose Verbindung breite Beachtung gefunden.

5.2.1. Analytisches Instrument

Analytische Instrumente sind normalerweise mit speziellen Komponenten ausgestattet, die für den einmaligen Gebrauch bestimmt sind. Um die Kosten zu minimieren, bestehen die meisten dieser Teile aus Kunststoff.

Die abgebildeten Komponenten werden in China für die Blutanalyse entwickelt. Hier wird das Konturschweißverfahren angewendet. Da beide Teile transparent gestaltet sind, gelten besondere Anforderungen an den Schweißprozess. Um den Laserstrahl zu absorbieren, muss beim Zusammenfügen zweier unterschiedlicher Teile das transparente Teil auf die Oberseite gelegt werden. Die beiden Fügeile hier - Gehäuse und Deckel - sind transparent. Bevor der eigentliche Schweißvorgang beginnt, wird er als Laserstrahlabsorber auf die Schweißnaht der beiden Bauteile aufgesetzt.

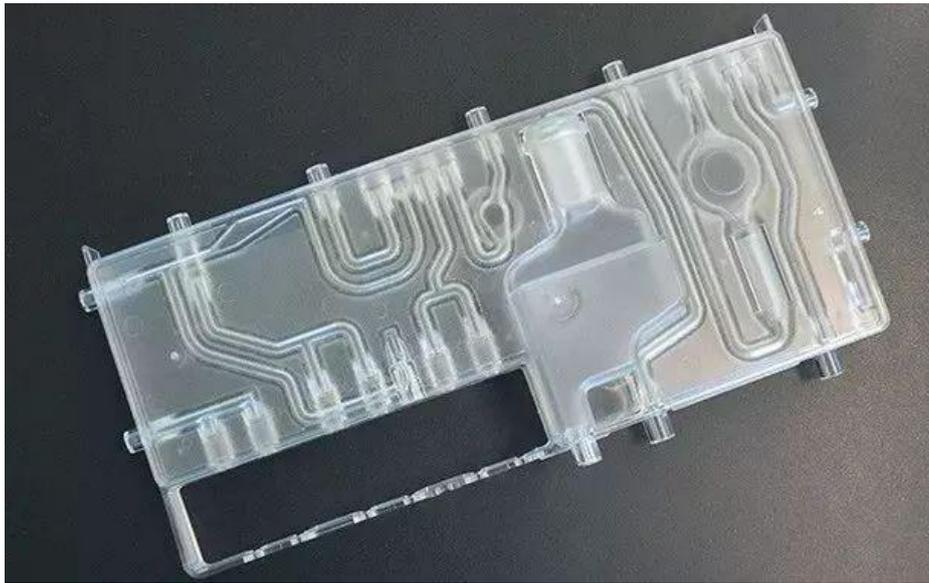


Abbildung 5.2.1. Analytische Instrumente

[Quelle: http://www.sohu.com/a/238161554_648361]

5.2.2. Ballonkatheter

Ballonkatheterlaserschweißen ist Infrarotschweißen unter Verwendung eines Lasers als Energiequelle. Der Laserstrahl kann direkt auf die Oberfläche des Kunststoffes gestrahlt werden, der den Laser absorbiert, um den Kunststoff zum Schweißen zu schmelzen. Fortschrittliche Laserschweißtechnologie kann die nahtlose Verbindung zwischen der Ballonspitze und dem Schlauchkörper realisieren, so dass der Ballonkatheter beim Vorrücken in das gekrümmte und schmale erkrankte Blutgefäß nicht behindert wird, die Beschädigung des Blutgefäßes minimiert wird und der Operationsprozess sicherer ist. Die Einführung der Laserschweißtechnologie ist vorteilhaft, um den Außendurchmesser der Ballondilatationskatheterspitze weiter zu verringern.

5.2.3. Ausgabesystem

Ein "Drug Delivery System" oder ein Drug Dosing System kann Patienten dabei helfen, ihre Medikamente weiter einzunehmen. Die immer kompakter werdende Struktur ist tragbarer. Beispielsweise ist die Rowe-Pumpe eine rein physikalisch angetriebene Pumpe, die mit unterschiedlichen Pumpdosen eingestellt werden kann. Seine Komponenten müssen einem Innendruck von bis zu 4 bar standhalten. Da es direkt am Patienten angewendet wird, sind die Hygieneanforderungen extrem hoch, der integrierte Mikrokanaldurchmesser liegt im Bereich $> 10 \mu\text{m}$ und die Schweißnaht muss absolut partikelfrei sein. Diese Anforderungen können mit Hilfe der Laserschweißtechnik erfüllt werden.



Abbildung 5.2.2. Ausgabesystem

[Quelle: http://www.sohu.com/a/238161554_648361]

5.2.4. Mikrofluidische Komponente

Mikrofluidische Bauteile können mit Hilfe des Maskenschweißprinzips präzise und fest verschweißt werden. Die Kanalgeometrie bleibt unverändert, sodass der Schmelzfluss in enge Kanäle von nur $200 \mu\text{m}$ vermieden wird.



Abbildung 5.2.4. Mikrofluidische Bauteile

[Quelle: http://www.sohu.com/a/238161554_648361]

5.3. Verpackungsindustrie

Zum Beispiel kann das Verpacken von fortschrittlichen Industrieprodukten unter Verwendung der Kunststofffolienschweißtechnologie eine Hochgeschwindigkeitsverarbeitung, zuverlässige Nähte und ein schönes Aussehen von Kunststoffverpackungen erzielen. Laserschweißen von Verpackungsmaterialien aus Kunststoff. Kunststoffe sind Thermoplaste und Elastomere.

5.4. Textilindustrie

Lasergeschweißte Textilien können als Laserstich bezeichnet werden. Die Nähte sind stark und zuverlässig, und die Verarbeitungsgeschwindigkeit ist sehr gut zum Nähen von Textilien geeignet. Einige wasserdichte Bekleidungsgeräte und Geräte, die Luftdichtheit erfordern, können durch Laserschweißen verarbeitet werden.

6. Prozessüberwachung und Qualitätskontrolle

Das Laserschweißen von Kunststoffen wurde bei der Herstellung von Kraftfahrzeugen und medizinischen Geräten verwendet. Im Vergleich zur traditionellen Anschlusstechnik Laser. Die Laserschweißtechnik hat viele Vorteile: Das Schweißen hat nahezu keine thermischen und mechanischen Verluste am Verbindungsmaterial; das Aussehen der Schweißnaht, partikelfreies Schweißen, bessere Kontrolle der Schweißqualität durch Echtzeit-Prozessüberwachung.

6.1. Echtzeit-Prozessüberwachung

Die Qualität der Schweißnaht muss zwei Anforderungen erfüllen: fest und dicht. Eine Anforderung von fest ist, dass das Material nicht überhitzt werden kann. Daher wird das Pyrometer verwendet, um die Temperatur der Schweißstelle kontinuierlich zu überwachen, und es kann auch durch das Pyrometer erfasst werden. Ob die Temperatur des Schweißmaterials hoch genug ist, um die Zuverlässigkeit des Schweißens zu gewährleisten. Die Anforderungen von dicht für alle Ort, an dem 100% geschweißt werden soll. Die Echtzeit-Prozessüberwachung kann zwei verbundene Teile am Schweißplatz steuern, ob es gleichmäßig schmilzt.

Um die Schweißqualität zu gewährleisten, müssen beim Schweißen die beiden oben genannten Anforderungen erfüllt sein. Neben der Sicherstellung der Schweißqualität kann die Echtzeit-Prozessüberwachung auch alle Daten während des Schweißprozesses aufzeichnen und eine unabhängige Datei für jede Schweißung erstellen, um die Schweißparameter und die Schweißqualität in Zukunft anzuzeigen.

6.2. Prüfmethode für die Schweißqualität

6.2.1. Schweißwegüberwachung

Die Schweißwegüberwachung ist die effektivste Überwachungsmethode für Quasi-Simultanschweißverfahren. Es kann verwendet werden, um direkte und indirekte Probleme zu identifizieren, die während des Schweißprozesses auftreten. Sein Arbeitsprinzip ist es, so viel Material wie möglich zu schmelzen, um Fertigungsabweichungen einzelner Bauteile auszugleichen. Bei verschiedenen Prozessen stoppt das Schweißen automatisch entsprechend der Zeit, dem gemessenen Weg oder dem Erreichen einer bestimmten Festigkeit.

6.2.2. Pyrometersteuerung

Pyrometer können Probleme schnell erkennen, indem sie Temperaturänderungen während des Konturschweißens messen. Das Pyrometer zeichnet Infrarotstrahlung und Temperatur auf, um die Qualität der Verbindungen automatisch zu bestimmen. Solange die gemessene Temperatur während des Schweißens zwischen dem eingestellten zulässigen Maximum und Minimum liegt, wird das Schweißen als erfolgreich angesehen. Das Pyrometer kann auch Änderungen am Material selbst feststellen. Zum Beispiel der Glasfasergehalt im Material auf der Schweißstrecke.

6.2.3. Reflexdiagnose

Das Reflexionsdiagnoseverfahren verwendet die Erfassung der Reflexion von einfallendem Licht an der Schweißgrenzfläche, um die Schweißqualität zu beurteilen. Wenn es an irgendeiner Stelle ein Problem mit dem Schweißen gibt, ist das reflektierte Signal dort schwächer als an der Stelle mit guter Schweißqualität. Wenn

beim kontinuierlichen Abtasten des reflektierten Signals festgestellt wird, dass ein Signal abrupt ist, liegt ein Problem mit dem Schweißen vor.

Das Reflexionsdiagnoseverfahren eignet sich besonders zum Schweißen von Materialien, wie sie beispielsweise in der Automobilbeleuchtung verwendet werden. Schweißverfahren werden im Allgemeinen zum Schweißen großer dreidimensionaler Teile in einem zu einem Prozess verwendet. Zu diesem Zeitpunkt kann das Reflexionsdiagnoseverfahren zum Steuern von Schweißverarbeitungsparametern verwendet werden. Darüber hinaus kann die Reflexionsdiagnose in Kombination mit anderen Prozessen wie Quasi-Simultanschweißen oder Konturschweißen eingesetzt werden.

6.2.4. Branderkennung

Das Laserschweißen von Kunststoffen kann die Brandspuren auf der Oberfläche des Schweißobjekts durch die Branderkennung identifizieren. Der Umfang solcher Brandspuren beträgt oft nur wenige Millimeter, so dass die Festigkeit der Schweißnaht in der Praxis nicht beurteilt werden kann. Merkmale und Brandspuren sind für einige Anwendungen nicht tolerierbar. Das Strahlungsspektrum während der Kauterisation reicht von sichtbarem Licht bis Infrarot. Wenn während des Schweißprozesses Strahlung in diesem Spektralbereich erfasst wird, wird das Kauterisationserkennungssignal in Bezug auf das Hintergrundgeräusch deutlich angezeigt.

6.2.5. Kamerabilder Sammlung

Eine weit verbreitete Methode ist die Echtzeit-CCD-Überwachung, die normalerweise für zwei Materialien mit relativ hohem Kontrast wie Milchweiß und Schwarz

verwendet wird. Diese Methode lässt sich besonders einfach in den Konturschweißprozess integrieren. Mit der richtigen Bewertungsmethode können die kleinsten Fehler in der Schweißnaht zuverlässig gefunden werden. Darüber hinaus kann diese Überwachungsmethode auf einfache Weise die Schweißnahtbreite analysieren und als Standard für andere Qualitätskontrollmaßnahmen dienen.

7. Vorteile des LS-Schweißen in der Kunststoffindustrie

Zu den Vorteilen des Laserschweißens beim Schweißen von Kunststoffteilen zählen: Präzisionsschweißen, Festigkeit und Dichtheit, Luftdichtheit und Wasserleckage, weniger Harzverschlechterung und weniger Schmutz während des Schweißens, und die Oberfläche des Produkts kann um die Schweißnaht herum fest miteinander verbunden werden. Das Laserschweißen hat nicht die Vorteile von Rückständen und ist daher besser für Medizinprodukte und elektronische Sensoren geeignet, die von der staatlichen Lebensmittel- und Arzneimittelbehörde kontrolliert werden.

Einfach zu steuern, können Werkstücke mit geringer Größe oder komplexer Struktur geschweißt werden. Da der Laser für die Steuerung von Computersoftware geeignet ist und die Leistung des Faserlasers flexibel jeden Teil des Teils erreichen kann, können beim Laserschweißen Bereiche geschweißt werden, die mit anderen Schweißmethoden nicht leicht zu erreichen sind, und Produkte mit komplexen Formen und sogar dreidimensionalen Geometrien geschweißt werden.

Im Vergleich zu anderen Schweißmethoden reduziert das Laserschweißen die Vibrationen und die thermische Belastung des Produkts erheblich. Dies bedeutet, dass Produkte oder Komponenten im Inneren des Geräts langsamer altern und auf Produkte aufgetragen werden können, die leicht beschädigt werden können. Kann viele verschiedene Materialien schweißen. Zum Beispiel ist es möglich, Polycarbonat

und glasfaserverstärktes schwarzes Polybutylenterephthalat durch einen Nahinfrarotlaser zu verbinden, während andere Schweißverfahren einfach nicht kombinierbar sind andere verschiedene Polymere sind miteinander verbunden.

Im Allgemeinen hat es die folgenden Vorteile

- Schweißgeräte dürfen nicht mit verklebten Kunststoffteilen in Berührung kommen.
- Schnell
- Die Anlage verfügt über einen hohen Automatisierungsgrad und eignet sich sehr gut zur Bearbeitung komplexer Kunststoffteile.
- Kein Blitz
- Fest verschweißt
- Hochpräzise Schweißteile
- Vibrationsfreie Technologie
- Luftdichte oder vakuumdichte Strukturen
- Minimieren hermische Schäden und thermische Verformungen
- Bindeharze unterschiedlicher Zusammensetzung oder Farbe

8. Kunststoff-Laserschweißen von Ohrenschmalzschutz als Beispiel

Mit der breiten Anwendung von Kunststoffen im Bereich der medizinischen Geräte entstehen auch neue Arten der Kunststoffherstellung und -verarbeitungstechnologie, darunter das Laserschweißen, da die medizinische Industrie aufgrund ihrer umweltfreundlichen, berührungslosen, nahtlosen Verbindung und anderer Vorteile große Bedenken hat.

Gegenwärtig ist es sehr häufig, dass Menschen an Hörstörungen und Hörverlust leiden. Glücklicherweise können neue Hörgeräte den Patienten helfen, die Hörbedingungen in hohem Maße zu verbessern. Durch die kontinuierliche Entwicklung von Hörgeräten wurden Hörgeräte immer miniaturisierter, wodurch Benutzer kleinere, komfortablere Hörgeräte erhalten, die für das bloße Auge unsichtbar sind.

Die heutigen typischen ITE-Hörgeräte haben nur die Größe einer kleinen Fingerspitze. Alle Hörgeräte stehen jedoch vor einem großen Problem: Das im Gehörgang erzeugte Ohrenschmalz verschmutzt den Schallausgabebereich. Um sicherzustellen, dass Hörgeräte ihre zuverlässigen Funktionen erfüllen können, müssen am Ort ihrer Schallausgabe Schutzmaßnahmen getroffen werden.

Da dieses Produkt Kunststofffolien verbinden muss, ist das Laserschweißen von Kunststofffolien bei der Anwendung dieses Produkts von großer Bedeutung.

8.1. Ohrenschmalzschutz

Phonak ist ein professioneller Schweizer Hörgerätehersteller mit einem Umsatz von mehr als 1 Milliarde Franken und einem Weltmarktanteil von 16 bis 17%. Er ist einer der weltweit führenden Hörgerätehersteller. Phonak arbeitet ständig an Innovationen und leistet einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Lebensqualität von Menschen mit Hörbehinderungen.

Eine seiner Innovationen ist der Ohrenschmalzschutz "Smart Guard". Der Protektor verwendet eine 15 µm dicke Membran, um den Schallausgabebereich zu schützen, Ohrenschmalzverschmutzung und Feuchtigkeit zu vermeiden, und hat keine wesentlichen nachteiligen Auswirkungen auf die akustischen Eigenschaften. Die Membran ist auf einer thermoplastischen Dichtung montiert. Trotz der kleinen Verbindungsfläche mit der Dichtung ist die Verbindungsstärke sehr hoch. Auf dem Diaphragma abgelagertes Ohrenschmalz kann mit einem weichen Tuch abgewischt werden. Das Abwischen mit einem weichen Tuch führt zu keiner Beschädigung der Membran- oder Dichtungsverbindung, sodass Sie sicherstellen können, dass der Ohrenschmalzschutz eine lange Lebensdauer hat.

Die Größe des gesamten Ohrenschmalzschutzes beträgt nur wenige Millimeter. Eine 15 µm-Kunststoffolie muss mit einer Unterlegscheibe von etwa 3 mm verschweißt werden. Die Unterlegscheibe besteht aus thermoplastischem Material. Der Schweißeffekt ist unten dargestellt.



Abbildung 8.1. Schweißeffekt von Ohrenschalzschutz

[Quelle: https://www.sohu.com/a/334248811_167954]

8.2. Einsetzbare Anlagentechnik

Da dieses Produkt aus einer Kunststoffdichtung und einer Kunststofffolie besteht, müssen die beiden Teile durch Schweißen verbunden werden, und das Schweißen kann in herkömmliches Schweißen und Laserstrahlschweißen unterteilt werden.

Unter diesen kann das herkömmliche Schweißen das Impuls-Heißpressschweißen verwenden.

Wenn das Laserstrahlschweißen verwendet wird, um die Produktverbindung herzustellen, können folgende Anlagentechnik verwendet werden: Maskenschweißen, Konturschweißen und Simultanschweißen.

8.2.1. Variante 1

Maskenschweißen

Das Maskenschweißverfahren ist ein Schweißverfahren, das das vom Schweizer Lasersystemhersteller Swiss Leister Group entwickelte und patentierte Prinzip des Lasertransmissionsschweißens verwendet. Es wird zum Schweißen der Folie an die Dichtung verwendet.

Der Prozess besteht darin, einen für Laserstrahlung transparenten Verbinder an einen Verbinder zu schweißen, der Laserstrahlung absorbiert. Bei Ohrenschalmschutz ist der Folie für Laserstrahlung transparent, und die Dichtung besteht aus thermoplastischem Material und hat eine feste Form. Die Farbe der Dichtung ist schwarz, sodass sie Laserstrahlung absorbieren kann.

Beim Maskenschweißprozess wird die Maske zwischen der Laserquelle (Diodenlaser) und dem Bauteil platziert. Ein linearer, kollimierter (dh paralleler) Laserstrahl wird auf die zu verbindenden Teile emittiert. Aufgrund der Maskierung erreicht die Laserstrahlung nur die zu verbindenden Teile, die nicht von der Maske blockiert werden.

Die Verwendung des Maskenschweißens ermöglicht die Herstellung der genauesten Struktur, was bedeutet, dass das Maskenschweißen eine hohe Präzision erzielen kann. Das Schweißprinzip des Maskenschweißens kann höhere Anforderungen erfüllen und die Schweißfläche auf ein Minimum reduzieren.

Dies bedeutet, dass die Nutzfläche der akustisch aktiven Oberfläche der Membran größer ist. Es kann gesagt werden, dass nur der Maskenschweißprozess die erforderliche Festigkeit unter der minimalen Schweißfläche erreichen kann. Ein weiterer großer Vorteil des Maskenschweißprozesses besteht darin, dass die Tiefe des Schweißbades minimiert wird und somit Schweißraupen vermieden werden. Dies hat auch dreidimensionale Reproduzierbarkeit und akustische Vorteile.

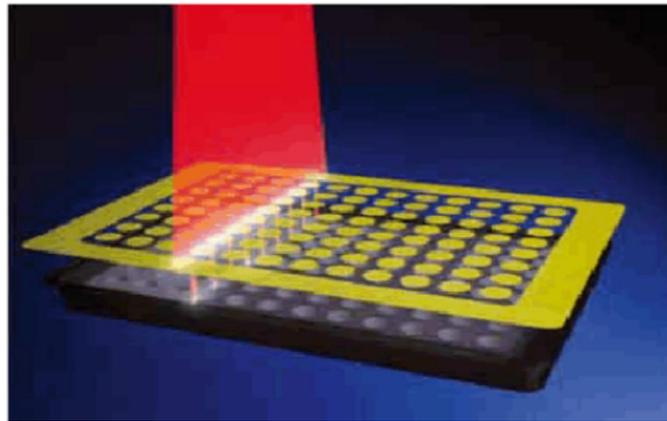


Abbildung 8.2.1.1. Variante 1- Maskenschweißen

[Quelle: <https://wenku.baidu.com/view/9a77543743323968011c928d.html>]

In diese Variante werden NOVOLAS WS Workstation verwendet.



Abbildung 8.2.1.2. NOVOLAS WS Workstation

[Quelle: <https://wenku.baidu.com/view/9a77543743323968011c928d.html>]

Der Prozess der Variante ist wie folgt: Die Kunststoffolie und die zu schweißende Kunststoffdichtung werden auf die NOVOLAS WS Workstation übertragen. Die Workstation schweißt die beiden Komponenten mit Maskenschweißen. Gleichzeitig läuft die Schweißnahtstaterkennungsvorrichtung in der NOVOLAS WS Workstation immer. Nach Abschluss des endgültigen Schweißens Das fertige Produkt muss beurteilt werden, ob das Produkt durch die Schweißqualitätsprüfung qualifiziert ist, und schließlich wird das Produkt verpackt.

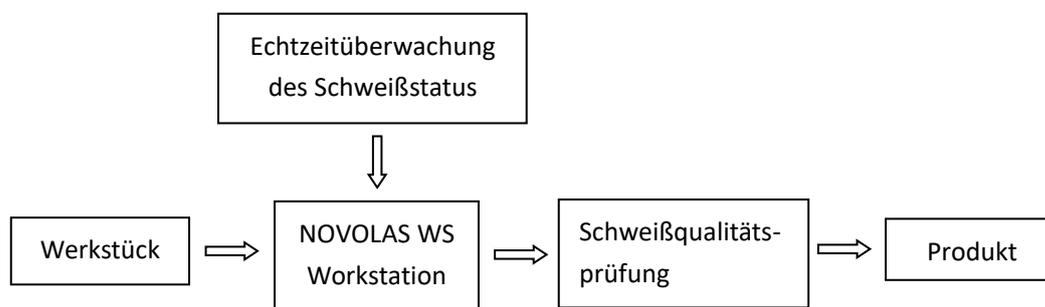


Abbildung 8.2.1.2. Prozess der Variante 1

8.2.2. Variante 2

Konturschweißen

Konturschweißen ist das einfachste und am weitesten verbreitete Schweißverfahren. Während des Schweißens wird der Laserstrahl durch das optische System und das Galvanometer auf das zu schweißende Objekt bewegt oder der Laserstrahl steht und das zu schweißende Objekt wird bewegt. Die Wechselwirkungszeit zwischen dem Laser und dem zu schweißenden Objekt hängt von der Strahlfokusgröße und der Bewegungsgeschwindigkeit ab, die die Schweißzeit und den Schweißeffekt beeinflussen.

In diese Variante werden NOVOLAS WS Workstation verwendet.

Bei dieser Variante muss sich das in der Workstation ausgestattete Lasermodul entlang der Kontur der Dichtung bewegen, um die beiden Komponenten zu schweißen.

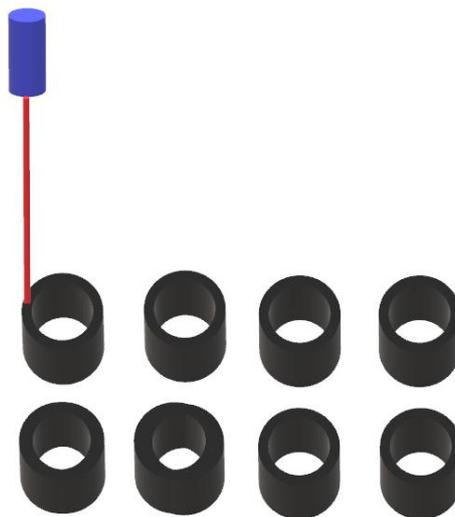


Abbildung 8.2.2. Variante 2- Konturschweißen

Der Gesamtprozess dieser Variante ist der gleiche wie in Variante 1, der Unterschied besteht darin, dass die Prozessstruktur in der NOVOLAS WS Workstation unterschiedlich ist.

8.2.3. Variante 3

Simultanschweißen

Beim Simultanschweißen wird mit mehreren, ggf. nahtangepasst geformten Strahlen gearbeitet, um die gesamte Nahtkontur gleichzeitig zu bestrahlen. Dies sorgt für eine extreme Verkürzung der Prozesszeiten (auf < 1 s) und ermöglicht das Überbrücken der Spaltmaße durch Abschmelzen. Zusätzlich ist die Schweißnaht fester als beispielsweise beim Konturschweißen, da das Simultanschweißen eine höhere Wechselwirkungszeit hat. Je aufwändiger die Nahtkontur, desto aufwändiger fällt das Erstellen der passenden Strahlgeometrie aus und insbesondere das Einstellen einer homogenen Leistungsdichteverteilung. [sim]

In diese Variante werden NOVOLAS WS Workstation verwendet.

In Variante 3 schweißen alle zwei Lasermodule in der Workstation gleichzeitig ein Werkstück, und jedes Lasermodul ist für das Schweißen eines Halbkreises verantwortlich, wodurch die Schweißeffizienz erheblich verbessert wird.

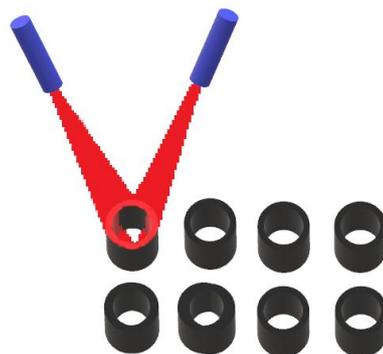


Abbildung 8.2.3. Variante 3- Simultanschweißen

Der Gesamt Ablauf dieser Variante ist der gleiche wie in Variante 1, der Unterschied besteht darin, dass die Prozessstruktur in der NOVOLAS WS Workstation unterschiedlich ist.

8.3. Bewertungskriterien

Die Produktion muss die Kosten, Effizienz und Qualität der Produktion berücksichtigen. Die Kosten umfassen Zeitkosten, Material- und Ausrüstungskosten. Effizienz ist auch die Produktionsgeschwindigkeit. Qualität ist auch ein Schlüssel zur medizinischen Versorgung. Das Schweißen von Produkten muss zuverlässig und frei von Rissen oder Verunreinigungen sein.

* Punkte 0-9 d.h. schlecht-gut

Punkte Merkmale	Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Ausrüstungskosten		7	8	6
Rohstoffkosten		8	6	6
Schweißgeschwindigkeit		8	4	6
Produktionsgeschwindigkeit		8	4	5
Schweißqualität		9	6	6
Zeitaufwändig für ein einzelnes Produkt		9	5	6

Tabelle 8.3.1. Punkte von Variante

- * Wichtig von Ausrüstungskosten= 2
- Wichtig von Rohstoffkosten= 3
- Wichtig von Schweißgeschwindigkeit= 4
- Wichtig von Produktionsgeschwindigkeit= 4
- Wichtig von Schweißqualität= 5
- Wichtig von Zeitaufwändig für ein einzelnes Produkt=3
- * Wichtig 0-5 d.h. nicht wichtig-sehr wichtig
- Wichtig= (Punkt 1)x(Wichtig 1)+(Punkt 2)x(Wichtig 2)....(Punkt n)x(Wichtig n)

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Wichtig	174	111	122

Tabelle 8.3.1. Wichtig von Variante

Aus den beiden Tabellen oben rechts geht hervor, dass die beste Lösung Variante 1 ist.

8.4. Begründung der ausgewählte Lösung

Es ist erwiesen, dass die hohe Reproduzierbarkeit des Maskenschweißens ein großer Vorteil gegenüber Verbindungsprozessen ist, bei denen andere Materialien verwendet werden müssen.

Neben technischen Gründen hat das Maskenschweißen wirtschaftliche Vorteile. Im Vergleich zu anderen Verfahren ist der Rohstoffverbrauch beim Maskenschweißen geringer.

Die halbautomatische Stapelverarbeitungstechnologie kann in einer Workstation wie NOVOLAS WS ausgeführt werden. Auf diese Weise können in einem Jahr Millionen von Produkten hergestellt werden. Insbesondere ohne den Verbrauch anderer Materialien ist dieser Verbindungsprozess wirtschaftlicher.

Da das Maskenschweißen verwendet werden kann, um eine große Anzahl von Werkstücken gleichzeitig durch die Größe der Maske zu schweißen, wird außerdem die Produktionseffizienz erheblich verbessert.

9. Entwicklungsstand von Geräten in Europa, Amerika und China

9.1. Entwicklungsstand von Geräten in Europa und Amerika

Beim Kunststoff-Laserschweißgeräten hat Europa früher begonnen: Einige Verarbeitungsunternehmen wie Leister, Rofin, Bielomatik und andere haben nacheinander Lasergeräte speziell für das Kunststoffschweißen eingeführt und entwickeln ständig neue Produkte.

Das Schweizer Unternehmen Leister nimmt die Produktionslinie von Novolas in Betrieb. Diese Linie verwendet Hochleistungsdiodenlaser mit einer Leistung von jeweils 25 W oder mehr. Das Schweißgerät Novolas Typ C erzeugt kreisförmige Laserpunkte und verwendet beim Schweißen die periphere Schweißtechnologie.

Das Schweißgerät Novolas S formt den Laserpunkt in eine gerade Linie oder Kurve, die gleichzeitig die gesamte Fuge bestrahlen kann, dh simulanschweißen. Das Novolas M-System verwendet Maskenabdeckungstechnologie mit dünnen Schweißnähten und hoher Genauigkeit und eignet sich besonders für Mikroverbindungen in medizinischen Geräten.

Das neueste NOVOLAS WS-AT-System des Unternehmens mit einem Drehtisch ist in Abbildung 9.1 dargestellt. Der optionale Drehtisch (RTT) kann die Leistung des NOVOLAS WS-AT-Kunststoff-Laserschweißsystems erhöhen. Das Drehtisch-Design von WS-AT ist für Kunden sehr benutzerfreundlich und erfüllt gleichzeitig die Anforderungen der Maschinenrichtlinie. Das neu entwickelte Human Machine Interface (HMI) ermöglicht Benutzern das einfache Einstellen von Schweißparametern, und Anlagenbediener können Schweißparameter problemlos auf verschiedene Schweißprozesse anwenden. Je nach Kundenwunsch kann auch eine Online-Qualitätsüberwachung einfach in das System integriert werden.[ws-at]



Abbildung 9.1. NOVOLAS WS-AT-System

[Quelle: DOI: 10. 3969 /j. issn. 1001-5078. 2012. 11. 003]

Rofin ist auch eines von mehreren Unternehmen in Europa, die sich derzeit mit der Entwicklung von Laserschweißsystemen zum Schweißen von Kunststoffen befassen. Rofin bietet Halbleiterlaser , Festkörperlaser und CO₂-Laser sowie verschiedene Lasersysteme an. Rofin bietet Anwendern auch Support-Services, mit denen sie ihre Verarbeitungsfähigkeiten verbessern und Produkte für das Laserschweißen entwickeln können.[rofin]

American Coherent Company ist eines der wenigen Unternehmen in den USA, das Laser zum Schweißen von Kunststoffen herstellen kann, und diese Technologie wurde bereits in Europa eingesetzt. Der Hauptgrund dafür ist, dass die europäische Automobilindustrie Laser häufiger in der Verarbeitung und Produktion einsetzt als ihre amerikanischen Kollegen. Es gibt also mehr Möglichkeiten zum Laserschweißen von Kunststoffen. In Zusammenarbeit mit Gluco forschen kohärente US-Unternehmen in ihren Labors auch an Kunststoff-LaserschweißanwendungenEnt-

wickelte ein Zwischenschichtmaterial für Laser Bond, das zwei Matrixmaterialien mit unterschiedlichen Strukturen oder geringer Oberflächenenergie und thermoplastische Materialien verbinden kann.[laser]

Derzeit ist das Kunststoff-Laserschweißen vor allem in Europa beliebt. Unternehmen wie die Schweiz und Deutschland haben einen hohen Entwicklungsstand für Kunststoff-Laserschweißgeräte erreicht. Mit der kontinuierlichen Reduzierung der Laserkosten und der kontinuierlichen Entwicklung von Verbundwerkstoffen wird das Kunststoff-Laserschweißen die traditionelle Kunststoffverbindungsmethode mit ihren offensichtlichen Kosten- und Qualitätsvorteilen schrittweise ersetzen.

9.2. Entwicklungsstand von Geräten in China

Gegenwärtig befindet sich der größte Teil der theoretischen Forschung zum Kunststoff-Laserschweißen in China noch an Universitäten, und die Forschung und Entwicklung von Geräten steckt noch in den Kinderschuhen. Nur wenige verarbeitende Unternehmen haben spezielle Abteilungen, die sich auf die Entwicklung von Kunststoffschweißgeräten spezialisiert haben, und die meisten von ihnen befinden sich in der Erkundungsphase. Beispielsweise stellte Wuhan Huagong Laser Engineering Co., Ltd. Je nach Werkstückform des Kunden gibt es: Spiegelbewegung Kunststoff-Laserschweißgerät. Hauptsächlich für das Hobelschweißen verwendet, Kunststoff-Laserschweißmaschine basierend auf der dreidimensionalen Bewegung des elektrischen Arbeitstisches, hauptsächlich zum Schweißen dreidimensionaler Kurven. Gleichzeitig können je nach den Merkmalen der Kundenprodukte verschiedene Werkzeugvorrichtungen angepasst werden, um die geeignete Laseradditivformel auszuwählen.

10. Zusammenfassung

Die Absicht dieses Artikels ist Konzept für ein Fertigungssystem zum laserstrahlunterstützten Schweißen von Folien aus Kunststoffen inklusive der Möglichkeiten zur automatisierten Qualitätsüberwachung zu erstellen. Durch die Erläuterung des Konzepts und des Prinzips des Kunststoff-Laserschweißens zeigt es, dass das Kunststoff-Laserschweißen große Vorteile gegenüber dem herkömmlichen Kunststoffschweißen hat.

Die Kunststoff-Laserschweißtechnologie ist ein transformativer, kurzer Prozess, Digitalisierung, Umweltschutz, fortschrittliche, netznahe Technologie, die sich zu einem Hotspot im Bereich des Laserschweißens entwickelt, mit niedrigen Kosten, hoher Geschwindigkeit, bequemer Verarbeitung und Rohstoffen Es hat viele Vorteile, wie z. B. ein breites Anwendungsspektrum, eine einfache numerische Präzisionssteuerung, eine gute Kombination und Bearbeitbarkeit usw. Einzigartige technische und wirtschaftliche Vorteile gleichen die Mängel herkömmlicher Kunststoffverbindungsverfahren aus.

Die Laserschweißtechnik hat im Bereich der hochwertigen Verarbeitung von Kunststoffen einen festen Platz erlangt. Die enormen wirtschaftlichen und sozialen Vorteile der Kunststoff-Laserschweißtechnik stehen außer Zweifel.

In diesem Artikel werden einige Parameter der Kunststofflasertechnologie vorgestellt, z. B. die verwendbaren Materialien, die Laserwellenlänge, der Absorber usw. Es zeigt, dass das Laserschweißen von Kunststoffen durch Hinzufügen der entsprechenden Absorber und Auswahl der richtigen Kunststoff- und Laserparameter möglich ist. Dann erklärten die vier verschiedenen Schweißmethoden die vier verschiedenen Anwendungen des Kunststoff-Laserschweißens.

Der Artikel stellt die Anwendung dieser Technologie auf verschiedenen Gebieten vor und zeigt, dass das Kunststoff-Laserschweißen im Vergleich zu anderen Kunststoffschweißverfahren eine starke Anpassungsfähigkeit, einen hohen Wirkungsgrad, eine gute Schweißqualität, keinen Grat und keine Rückstände aufweist. Und viele andere Vorteile, es ist eine bessere Kunststoffschweißmethode.

Mit der rasanten Entwicklung der Lasertechnologie (wie Diodenlaser) und dem ständigen Aufkommen von Hochleistungsabsorbern wird das Kunststoff-Laserschweißen sicherlich in immer mehr Branchen weitere Anwendungen finden.

In diesem Artikel werden auch verschiedene Automatisierungslösungen für die Prozessüberwachung und Qualitätskontrolle vorgestellt: In der tatsächlichen Produktion kann das Unternehmen den Produktionsprozess mit diesen Methoden überwachen und prüfen, ob die Produktqualität qualifiziert ist.

Am Ende des Artikels erläuterte die Anwendung des Kunststoff-Laserschweißens auf Autolampen die Bedeutung und Anwendbarkeit dieser Technologie. Die Entwicklung des Kunststoff-Laserschweißens wird sicherlich langwierig und leistungsfähig sein. Diese Technologie hat den Kunststoff stark optimiert Die Qualität des Schweißens verbessert somit die Qualität des Produkts und letztendlich das Benutzererlebnis.

11. Literaturverzeichnis

- [wiki 0] <https://de.wikipedia.org/wiki/Kunststofffolie>
- [wiki 1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Laserdurchstrahlschweißen>
- [yag] <https://www.laserschneiden-marktplatz.de/lasertypen/ndyag-laser>
- [kon] <https://www.leister.com/de/laser-plastic-welding/know-how/schweisskonzepte/konturschweissen>
- [quasi] <https://de.wikipedia.org/wiki/Laserdurchstrahlschweißen>
- [sim] <https://de.wikipedia.org/wiki/Laserdurchstrahlschweißen>
- [ws-at] <http://leister.com/cn/highlight-lasersystems.html>.
- [rofin] <http://www.Rofin.com/index-e.htm82>.
- [laser] Yu Fei. Laser welding technology into the plastic processing market [J]
Optics Mechanics & Electronics Information, 2005

12. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Laserstrahlschweißen.....	4
Abbildung 2.1. Laserschweißen von Kunststoffen.....	8
Abbildung 2.2. Grundprinzip des Laserschweißens von Kunststoffen.....	9
Abbildung 3.2.1. Grundprinzip von CO2-Laser.....	12
Abbildung 3.2.1. Grundprinzip von Nd: YAG-Laser.....	13
Abbildung 3.2.1. Grundprinzip von Halbleiterlaser.....	14
Abbildung 3.3. Ruß.....	15
Abbildung 3.4. Schwierigkeitsgrad von Schweißen.....	17
Abbildung 3.5. Vorrichtung von Nd:YAG-Laser.....	20
Abbildung 4. verschiedene Laserstrahlschweißmethoden.....	21
Abbildung 4.1. Konturschweißen (contour welding).....	22
Abbildung 4.2. Maskenschweißen (Mask welding).....	23
Abbildung 4.3. Quasi-Simultanschweißen (Quasi-simultaneous welding).....	24
Abbildung 4.4. Simultanschweißen (simultaneous welding).....	25
Abbildung 5.1.1. Autolampen.....	27
Abbildung 5.1.2. Werkstück des Autos.....	27
Abbildung 5.1.3. Gehäuse des Autos.....	27
Abbildung 5.2.1. Analytische Instrumente.....	29
Abbildung 5.2.2. Ausgabesystem.....	30
Abbildung 5.2.4. Mikrofluidische Bauteile.....	31
Abbildung 8.1. Schweißeffekt von Ohrenschmalzschutz.....	39
Abbildung 8.2.1.1. Variante 1- Maskenschweißen.....	41
Abbildung 8.2.1.2. NOVOLAS WS Workstation.....	41
Abbildung 8.2.1.2. Prozess der Variante 1.....	42
Abbildung 8.2.2. Variante 2- Konturschweißen.....	43
Abbildung 8.2.3. Variante 3- Simultanschweißen.....	44

Abbildung 9.1. NOVOLAS WS-AT-System.....48