

Laserstrahlschweißen von Thermoplasten

Technische Information



Weitere Informationen zu den jeweiligen Produkten:

www.ultramid.de

www.ultradur-lux.basf.com

www.ultrason.de

www.plasticsportal.eu/ultraform

 **BASF**
We create chemistry

Laserstrahlschweißen von Thermoplasten

Überblick

Das Laserstrahlschweißen von Thermoplasten ist eine Füge-technik mit einer Reihe von Vorteilen, die nicht nur konventionelle Schweißverfahren hervorragend ergänzt, sondern auch eine wirtschaftliche Alternative zu klassischen Verbindungstechniken wie Schrauben oder Kleben bieten kann.

Da nur die Fügezone erwärmt wird und dies ohne mechanische Beanspruchung, ist das Verfahren schonend und eignet sich damit auch für besonders empfindliche Bauteile z. B. in der Elektronik oder Medizintechnik.

In dieser technischen Information werden das Prinzip und die gängigen Verfahrensvarianten des Laserstrahlschweißens und die Anforderungen an die Werkstoffe beschrieben. Die für das Verfahren geeigneten Marken der unterschiedlichen Polymerfamilien sind tabellarisch erfasst.

Vorteile

Das Laserstrahlschweißen von Thermoplasten bietet gegenüber konventionellen Schweißverfahren wie Heizelement-, Vibrations- oder Ultraschallschweißen eine Reihe von verfahrenstechnischen Vorteilen:

- keine mechanische Beanspruchung der Formteile
- geringer, örtlich begrenzter Wärmeeintrag
- Formteile mit extremen Steifigkeitsunterschieden schweißbar
- berührungslos (kein Anhaften von Schmelze, keine Markierungen auf Formteilen)
- Werkstoffe mit unterschiedlichen Viskositäten schweißbar
- nahezu verschleißfreies Verfahren
- Reparaturschweißen möglich

Diesen Vorteilen steht gegenüber, dass Werkstoff, Verarbeitung, Einfärbung und Zusatzstoffe einen größeren Einfluss auf das Schweißergebnis haben als bei konventionellen Verfahren. Zum heutigen Zeitpunkt hat sich das Durchstrahl- bzw. Überlappschweißen eindeutig als geeignetste Verfahrensvariante durchgesetzt.

Prozessbeschreibung

Der Fügeprozess beim Laserstrahlschweißen beruht auf der Umwandlung von Strahlungsenergie in Wärme durch Absorption im Material und dadurch Bildung einer lokal begrenzten Schmelze in der Fügezone (Abb. 1). Eine geeignete Materialkombination ist daher die Grundvoraussetzung für die Anwendung des Durchstrahlverfahrens.

Die kurzwellige IR-Strahlung soll das obere transmittierende Füge teil möglichst ungehindert durchdringen und im unteren Füge teil in einer Tiefe von 0,1 bis 0,5 mm vollständig absorbiert und in Wärme umgewandelt werden (1). Durch den Energieeintrag wird dieses Füge teil im Bereich der Absorption erwärmt und aufgeschmolzen (2). Die Schmelzebildung bewirkt eine Volumenvergrößerung und Überbrückung des Füge spaltes. Durch den Kontakt wird die Wärmeübertragung zwischen den beiden Füge teilen ermöglicht (3). Infolge der Wärmeleitung wird auch das für die Laserstrahlung durchlässige Füge teil aufgeschmolzen (4).

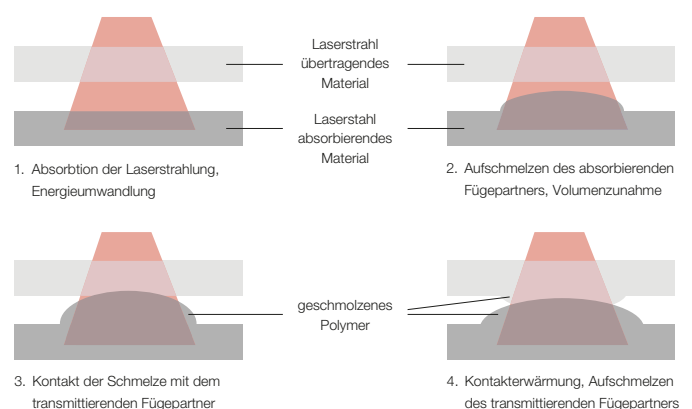


Abb. 1: Schematische Darstellung der Vorgänge beim Durchstrahl-schweißen

Strahlungsquellen (Laser) und optische Eigenschaften von Polymerwerkstoffen

Die Intensität der Absorption wird sowohl vom Werkstoff und seinen Zusätzen als auch von der Wellenlänge der Strahlungsquelle bestimmt. Durch gezielte Modifikation lassen sich die strahlungsoptischen Eigenschaften von Polymerwerkstoffen in bestimmten Grenzen an die jeweiligen Anforderungen anpassen. Absorptionsspektren geben Auskunft über die Umsetzung der eingestrahlten Energie in Abhängigkeit der Wellenlänge. Der Grad der Reflexion und Transmission in Abhängigkeit der Wellenlänge ist in Reflexions- bzw. Transmissionsspektren zu erkennen (Abb. 2).

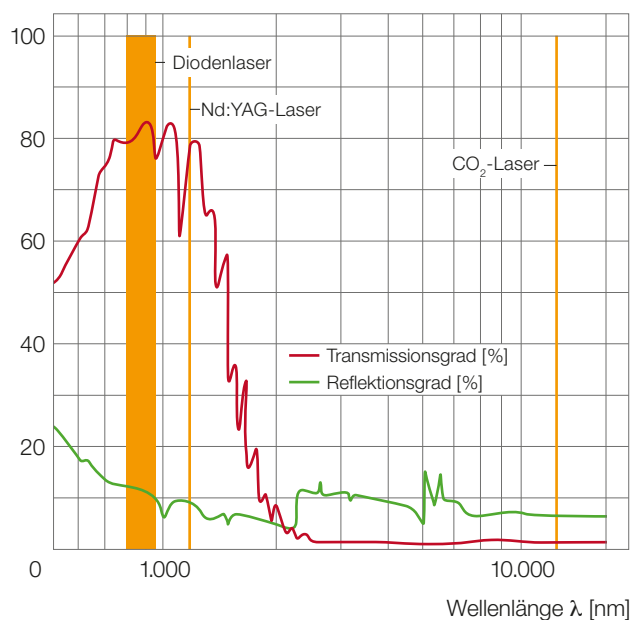


Abb. 2: Reflexions- und Transmissionsspektrum einer 2 mm dicken Ultramid® A-Platte

Als Strahlungsquellen für das Durchstrahlschweißen von Kunststoffen (Abb. 2) kommen aufgrund der erforderlichen Transmission in erster Linie im kurzwelligeren Infrarot-Bereich emittierende

- Festkörperlaser (Nd:YAG-Laser, $\lambda = 1.064 \text{ nm}$) und
- Hochleistungsdiodenlaser ($\lambda = 800\text{-}1.000 \text{ nm}$) in Betracht.

Mittel- und langwellige IR-Strahlung wird von allen Polymeren, unabhängig von deren Gehalt an Füll- und Zusatzstoffen, in oberflächennahen Schichten vollständig absorbiert. Daher beschränkt sich das Einsatzgebiet von CO_2 -Lasern ($\lambda = 10.600 \text{ nm}$) auf das Schweißen von Folien.

Hochleistungsdiodenlaser der neuesten Generation zeichnen sich durch ihre Kompaktheit, Wirtschaftlichkeit und einen hohen Wirkungsgrad aus, sind allerdings in der Fokussierbarkeit eingeschränkt und daher nicht für alle Verfahrensvarianten geeignet.

Einflussgrößen und wichtige Prozessparameter

Thermoplaste mit geringer Absorption eignen sich gut für Laserstrahlschweißung, wenn sie mit einem chemisch gut verträglichen, absorbierenden Material kombiniert werden. Daher sind beim Durchstrahlschweißen die Laserleistung und der laserdurchlässige Werkstoff so einzustellen, dass nach der Transmission der Laserstrahlung eine für das Aufschmelzen des absorbierenden Werkstoffs ausreichende Energiedichte vorhanden ist.

Die optische Eindringtiefe der Laserstrahlung in den Kunststoff hängt von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab (Abb. 3), z. B.

- der Wellenlänge der Laserstrahlung
- der chemischen Zusammensetzung
- der Morphologie und
- der Art und Menge der Zusatzstoffe (Fasern, Farbstoffe, Weichmacher und Füllstoffe).



Abb. 3: Einflussfaktoren auf die Eindringtiefe der Laserstrahlung in den Kunststoff und die Schweißnahtqualität

Morphologie

Amorphe Thermoplaste absorbieren nur einen geringen Anteil der einfallenden Laserstrahlung, sodass theoretisch optische Eindringtiefen von 100 mm und mehr erreicht werden können. Teilkristalline Thermoplaste zeigen dagegen deutlich andere optische Eigenschaften. Die dort vorhandenen kristallinen Überstrukturen (z. B. Sphärolithe) bewirken eine Streuung der Laserstrahlung.

Füll- und Verstärkungsstoffe

In der Regel beinhalten technische Kunststoffe Füll- und Verstärkungsstoffe, die eine Streuung oder auch Absorption der einfallenden IR-Strahlung bewirken können. Obwohl Glasfasern als solche für IR-Strahlung durchlässig sind, führt die Streuung der Strahlung an den vielen Grenzschichten zwischen den Fasern und der Matrix zu einer Verlängerung des optischen Weges und damit zu einer reduzierten Transmission.

Bei farbigen Kunststoffen spielt der Pigment- bzw. Farbstoffgehalt eine wichtige Rolle. Je kleiner die Eindringtiefe der Strahlung ist, um so größer ist die Gefahr von Materialschädigungen. Bei einem geringeren Pigmentanteil kann davon ausgegangen werden, dass das absorbierende Fügeglied ohne thermische Materialschädigung tiefer aufgeschmolzen werden kann. Die hieraus resultierende größere Volumenausdehnung führt zu einer Verlängerung des Schmelzkontaktes und damit zu einer Erhöhung der Schweißnahtfestigkeit. Somit kann durch die Einarbeitung von Füllstoffen und/oder Pigmenten das Absorptions- bzw. Transmissionsverhalten angepasst werden – bis hin zu dem Extrem einer Oberflächenabsorption in Schichten von wenigen Mikrometern.

Durch gezielte Einarbeitung von speziellen Zusätzen ist es möglich, farbige Kunststoffe herzustellen, die für das menschliche Auge gleich aussehen, aber dennoch das für das Durchstrahlschweißen notwendige unterschiedliche Absorptionsverhalten aufweisen.

Prozessparameter

Bezüglich der Vorschubgeschwindigkeit und der Laserleistung kann von physikalischen Grenzen ausgegangen werden, ab der keine qualitativ hochwertige Schweißnaht mehr möglich ist. Eine zu hohe Vorschubgeschwindigkeit bzw. zu geringe Laserleistung ist nachteilig, da die zum Schweißen erforderlichen Diffusionsvorgänge eine bestimmte Temperatureinwirkzeit erfordern. Eine zu geringe Vorschubgeschwindigkeit bzw. eine zu große Laserleistung kann dagegen zu einer Zersetzung bzw. Zerfall des Materials führen.

Geeignete Werkstoffe

Amorphe Thermoplaste wie PSU weisen oft ideale Transmissionseigenschaften im üblicherweise verwendeten Wellenlängenbereich auf. Dagegen können teilkristalline Thermoplaste wie PA, PBT oder POM, bereits im Naturzustand einen nicht unerheblichen Anteil der Laserenergie absorbieren bzw. reflektieren (Tabelle 1).

	Optische Eigenschaften	Schweißverhalten
Ultramid® (PA)	+	++
Ultradur® (PBT)	o	+
Ultraform® (POM)	+	++
Ultradur® LUX (transmissions-optimiertes PBT)	+	++
Ultrason® S (PSU)	++	++

++ = sehr gut, + = gut, o = befriedigend

Tab. 1: Eignung verschiedener Thermoplaste für das Laserstrahlschweißen

Verfahrensvarianten

Heute stehen dem Anwender mehrere Verfahrensvarianten zur Verfügung, die alle auf dem Durchstrahlprinzip beruhen. Welche Variante am vorteilhaftesten ist, hängt von den jeweiligen Anforderungen ab (Tabelle 2). Nachfolgend werden die Verfahren mit ihren typischen Merkmalen beschrieben.

Konturschweißen

Das Konturschweißen stellt einen sequenziellen Schweißprozess dar, bei dem entweder der Laserstrahl entlang einer frei programmierbaren Nahtkontur geführt oder das Bauteil relativ zum fest installierten Laser bewegt wird (Abb. 4).

Für diese Verfahrensvariante bieten sich fasergekoppelte Lasersysteme mit einem runden Strahlquerschnitt an. Die Schweißnahtbreite lässt sich je nach Lasertyp und Optik zwischen wenigen Zehntel Millimetern und einigen Millimetern variieren.

Das Verfahren ermöglicht das Verschweißen von Bauteilen mit komplexen, dreidimensionalen Fügenahtkonturen ohne Austrieb von Schmelze. Außerdem ist ein schneller Wechsel zwischen verschiedenen Bauteilgeometrien möglich.

Diese Variante erlaubt nur einen geringen Fügespalt, weil die Naht nur sequenziell als Schmelze vorliegt und kein Fügweg realisiert werden kann.

Simultanschweißen

Beim Simultanschweißen wird die linienförmig emittierte Strahlung einzelner Hochleistungsdioden entlang der zu schweißenden Nahtkontur angeordnet (Abb. 5). Das Aufschmelzen und Verschweißen der gesamten Kontur erfolgt somit zeitgleich. Die Anzahl der erforderlichen Dioden richtet sich nach der Bauteildimension und der zum Verschweißen notwendigen Leistung.

Das Verfahren erfordert keine Relativbewegung zwischen Bauteil und Laserstrahl. Ein Handhabungssystem zur Strahlführung entfällt. Dafür erfordert eine Änderung der Fügenahmkontur bzw. des Designs eine Neuordnung der Laserdioden bzw. ein neues Schweißwerkzeug. Die Schweißnahtgeometrie ist zur Zeit noch auf Konturen beschränkt, die aus geraden Linien aufgebaut sind.

Das Aufbringen eines Anpressdrucks auf die Fügenahmkontur während des Schweißprozesses ermöglicht die Erzeugung eines Fügeweges. Hierdurch lassen sich Verformung, Toleranzen oder Einfallstellen im Bereich der Schweißnaht ausgleichen.

Das Simultanschweißen zeichnet sich durch kurze Prozesszeiten aus. Damit eignet es sich besonders für die Bearbeitung großer Serien.

Quasi-Simultanschweißen oder Scan-(Abtast-)Schweißen

Das Quasi-Simultanschweißen stellt eine Kombination aus dem Kontur- und dem Simultanschweißen dar (Abb. 6). Der Laserstrahl wird mit Hilfe von galvanometrischen Spiegeln (Scannern) mit einer sehr hohen Geschwindigkeit von 10 m/s und mehr entlang der Schweißnahtkontur geführt. Durch die hohe Verfahrgeschwindigkeit wird der Fügebereich nach und nach erwärmt und aufgeschmolzen. Gegenüber dem Simultanschweißen besteht eine hohe Flexibilität bei Veränderungen der Schweißnahtkontur.

Der Einsatzbereich von Quasi-Simultanschweißen ist auf Bauteile mit Abmessungen von maximal 200 mm x 200 mm und nahezu ebenen Schweißnahtkonturen beschränkt. Wie beim Simultanschweißen können durch das Aufbringen eines Anpressdrucks während des Schweißprozesses Formteiltonanzen ausgeglichen werden. Die Prozesszeiten sind länger als beim Simultanschweißen, aber kürzer als beim Konturschweißen.

Die langen Ablenkwege und die Verwendung von Scanner- spiegeln erfordern Laserquellen mit einer hohen Strahlqualität. Aus diesem Grund werden Nd:YAG-Laser verwendet.

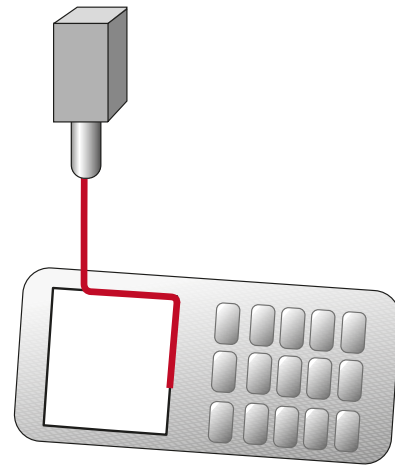


Abb. 4: Schematische Darstellung des Konturschweißens

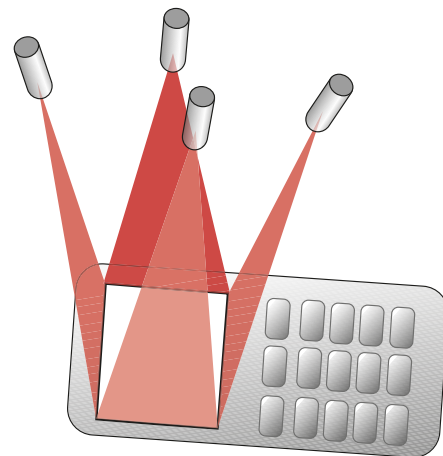


Abb. 5: Schematische Darstellung des Simultanschweißens

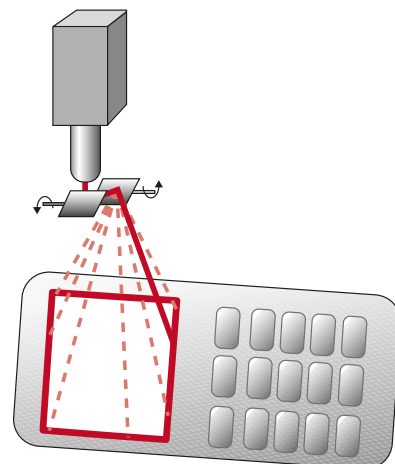


Abb. 6: Schematische Darstellung des Quasi-Simultanschweißens

Maskenschweißen

Das Maskenschweißen ist das neueste Verfahren, bei dem ein linienförmiger Laserstrahl quer über die zu fügenden Teile bewegt wird (Abb. 7). Durch eine Maske wird die Strahlung gezielt abgeschattet und trifft nur dort, wo geschweißt werden soll, auf die Fügefläche. Das Verfahren erlaubt die Herstellung sehr exakt positionierter Schweißnähte.

Durch feinste Strukturen in der Maske wird eine sehr hohe Auflösung erzielt, die Schweißnähte von 10 µm Breite ermöglicht. In einem Arbeitsgang lassen sich gerade und gekrümmte Linien unterschiedlicher Breite erzeugen sowie flächige Partien verschweißen. Das Einsatzgebiet dieser Verfahrensvariante liegt daher bevorzugt im Bereich von Sensoren, Chips und elektronischen Bauelementen sowie der Mikrosystemtechnik. Änderungen in der Schweißnahtgeometrie erfordern jedoch die Herstellung einer neuen Maske.

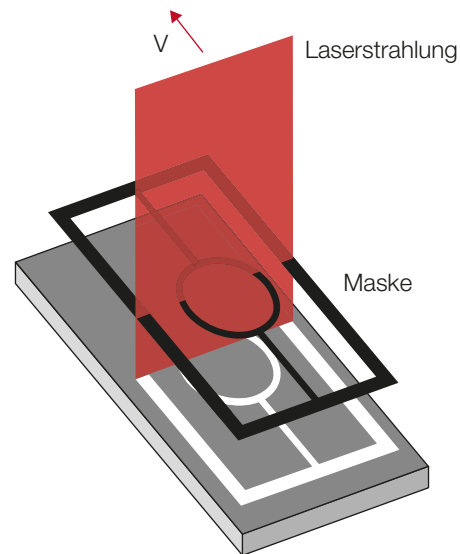


Abb. 7: Schematische Darstellung des Maskenschweißens

	Konturschweißen	Simultanschweißen	Quasi-Simultanschweißen	Maskenschweißen
Flexibilität	sehr hoch	gering	hoch	gering
Schweißzeit	lang	kurz	mittel	mittel-lang
Komplexität der Nahtkontur	sehr hoch	mittel	hoch	mittel
Toleranzausgleich	keiner	möglich	möglich	keiner
Anlagekosten	mittel	sehr hoch	hoch	mittel-hoch
Einsetzbarer Lasertyp	Nd:YAG; Dioden	Dioden	Nd:YAG	Dioden

Tab. 2: Vergleich der Verfahrensvarianten für Laserschweißen

Sicherheit und Umwelt

In der Regel entstehen während eines sachgemäß durchgeführten Schweißvorgangs polymerer Werkstoffe nur sehr geringe Mengen an gasförmigen Emissionen. Trotzdem wird empfohlen, eine ausreichend dimensionierte Absaug- und Filtertechnik zu installieren, da die Abgase außer den unschädlichen Hauptbestandteilen CO₂ und H₂O auch toxische Bestandteile in geringer Konzentration enthalten können.

Grundsätzlich sind beim Umgang mit Lasern die entsprechenden Vorschriften, z. B. die Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften, einzuhalten, da bereits die Streustrahlung des Lasers Augen und Haut gefährden kann.

Ausgewählte Produktliteratur:

- Ultramid® – Hauptbroschüre
- Ultramid® – Sortimentsübersicht
- Ultradur® – Hauptbroschüre
- Ultradur® – Sortimentsübersicht
- Ultraform® – Hauptbroschüre
- Ultraform® – Sortimentsübersicht
- Ultrason® E, S und P – Hauptbroschüre
- Ultrason® E, S und P – Sortimentsübersicht
- Ultramid®, Ultradur® und Ultraform® – Verhalten gegenüber Chemikalien
- Ultrason® – Verhalten gegenüber Chemikalien
- Ultradur® LUX – PBT für das Laserschweißen

Zur Beachtung

Die Angaben in dieser Druckschrift basieren auf unseren derzeitigen Kenntnissen und Erfahrungen. Sie befreien den Verarbeiter wegen der Fülle möglicher Einflüsse bei Verarbeitung und Anwendung unseres Produktes nicht von eigenen Prüfungen und Versuchen. Eine Garantie bestimmter Eigenschaften oder die Eignung des Produktes für einen konkreten Einsatzzweck kann aus unseren Angaben nicht abgeleitet werden. Alle hierin vorliegenden Beschreibungen, Zeichnungen, Fotografien, Daten, Verhältnisse, Gewichte u. Ä. können sich ohne Vorankündigung ändern und stellen nicht die vertraglich vereinbarte Beschaffenheit des Produktes dar. Etwaige Schutzrechte sowie bestehende Gesetze und Bestimmungen sind vom Empfänger unseres Produktes in eigener Verantwortung zu beachten. (April 2016)

Besuchen Sie auch unsere Internetseiten:

www.plasticsportal.com (Welt)
www.plasticsportal.eu (Europa)

Die einzelnen Produktauftritte finden Sie unter:

www.plasticsportal.eu/Produktname
z. B. www.plasticsportal.eu/ultradur

Broschürenanforderung:

PM/K, F 204
Fax: +49 621 60-49497

Bei technischen Fragen zu den Produkten
wenden Sie sich bitte an den Ultra-Infopoint:

