

Laserschweiß- prozesse im Fokus

Beim Laserdurchstrahl-
schweißen erfolgt die
Plastifizierung ausschließ-
lich in der Fügezone

(Foto: LPKF)



Qualitätssicherung. Zur Absicherung der Anforder-
ungen an die Nahtqualität beim Laserdurchstrahl-
schweißen stehen eine Reihe von Qualitätssiche-
rungsmethoden zur Verfügung. Deren

Aussagekraft ermög-
licht eine Null-Fehler-
Strategie – bei wirt-
schaftlich attraktiven
Rahmenbedingungen.

In einer dreiteiligen Arti-
kelserie werden unterschied-
liche Ansätze diskutiert.

FRANK BRUNNECKER

Das Laserdurchstrahlenschweißen von thermoplastischen Kunststoffen zählt inzwischen zu den etablierten Füge-technologien (**Titelbild**). Bei dieser Variante des Strahlungsschweißens dringt die Laserstrahlung mit nur geringer Dämpfung durch die überlappende Decklage in die Fügezone und wird dort vom unteren Fügepartner absorbiert. Die durch den Spanndruck begünstigte Wärmeleitung in den transmissiven Fügepartner führt auch dort zum lokalen Plastifizieren des Kunststoffs und damit schließlich zum sicheren Stoffschluss.

Fehlermöglichkeiten und Qualitätssicherung in der Prozesskette

Tritt Strahlung durch einen Kunststoff, so wird diese durch kristalline Bereiche und Glasfasern gestreut. Farbstoffe, Pigmente und andere Zusätze absorbieren die Energie teilweise. Jeder dieser Effekte verringert die Strahlungsintensität in der Fügeebene. Daher beeinflussen die Art und Menge der Kristallite bzw. der Farb-, Füll- und Zuschlagstoffe im Bauteil den Laserschweißprozess mittelbar.

Die Festlegung der Materialbestandteile erfolgt beim Compoundieren (**Bild 1**). Also werden dort auch die optischen Eigenschaften des Materials maßgeblich definiert. Schwankungen der Dosiermengen beeinflussen das Laserstrahl-Kunststoffschweißen in der Praxis nicht. Vor einer Änderung der Materialzusammenset-

zung aus funktionalen Gründen ist jedoch eine Überprüfung der optischen Eigenschaften erforderlich.

Eine praxisrelevantere Fehlerquelle in der Prozesskette stellt das Spritzgießen dar. Er erhält durch die Prozessparameter und Werkzeugform besonders bei gefüllten, verstärkten oder hochkristallinen Kunststoffen einen maßgeblichen Einfluss auf die geometrischen und optischen Merkmale der Füge-teile. Bei faser-
verstärkten Kunststoff-Bauteilen bilden sich z. B. Faser-Agglomerate im Bereich der Anspritzstelle. Liegt der Anguss dann in der Nähe der Fügezone, treten hier stark variierende Transmissionsverhältnisse auf. Auch ungeeignete Abkühlgeschwindigkeiten bei der Verarbeitung teilkristalliner Kunststoffe können die Transmissionswerte deutlich beeinflussen.

Neben den optischen Eigenschaften haben Maßhaltigkeit und Oberflächen-güte der Bauteile Einfluss auf das Laserschweißen. Die Oberflächenbeschaffenheit des transmissiven Fügepartners beeinflusst die Reflexion der Strahlung beim Eintritt in und beim Austritt aus der Decklage. So kann es z. B. an Auswerfermarken zu einem Anstieg der Refle-

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU110886

xion kommen. Auch die Maßhaltigkeit der Bauteile ist ein entscheidendes Kriterium für den thermischen Kontakt der Fügepartner. Wird nach dem Einspannen der Baugruppen kein spaltfreier Kontakt zwischen den Fügepartnern erreicht, findet die Wärmeübertragung an diesen Stellen nicht statt und es kann zur thermischen Schädigung des Kunststoffes kommen.

Einen ähnlichen Effekt bewirken Kerben in einem der Fügepartner. Solche Beschädigungen entstehen z. B. durch unsachgemäße Handhabung in den Transport- und Montageprozessen, die dem Schweißen vorgeschaltet sind. Die Auswirkungen reichen von lokalen Wärmestaus und Materialüberhitzungen im unteren Fügepartner bis hin zu Undichtigkeiten.

Bauteilverschmutzungen auf der Strahleneintrittsseite der Decklage absorbieren einen Teil der Laserstrahlung und können ein oberflächliches Verbrennen des Kunststoffes bewirken. Eine Verringerung der Nahtqualität ist dabei zwar selten nachweisbar, jedoch sind derartige Rückstände auf der Bauteiloberfläche aus ästhetischen oder funktionalen Gründen oftmals nicht tolerabel.

Qualitätsabsicherung vor dem Schweißprozess

Für das Laserstrahl-Kunststoffschweißen kommen hauptsächlich Diodenlaser im nahen Infrarotbereich zum Einsatz. Diese Wellenlänge wird vom menschlichen Auge nicht mehr wahrgenommen. Daher ist

Die Streuung der Strahlung im Kunststoff erfolgt nahezu wellenlängenunabhängig. Um auch diese Einflussgröße sinnvoll überwachen zu können, muss ein entsprechendes Messgerät die räumliche Strahlausbreitung des Schweißlasers so weit wie möglich nachempfinden. Das LQ-TMG 2 und LQ-TMG 3 der LPKF

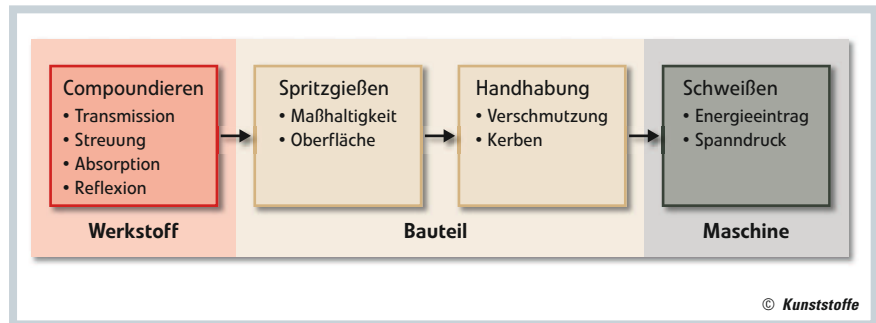


Bild 1. Potenzielle Beeinträchtigung der Qualität der Fügeverbindung beim Laserdurchstrahl-schweißen, aufgeteilt nach Wertschöpfungsstufen

eine rein visuelle Beurteilung eines Bauteils nach dem Spritzgießen nicht aussagefähig. Im Rahmen einer präventiven Qualitätssicherung ist die Kontrolle des Absorptions- bzw. Transmissionsverhalten nur mit einer Messfrequenz nahe der eingesetzten Schweißlaserwellenlänge sinnvoll.

Laser & Electronics AG, Erlangen, sendet einen Messlaserstrahl durch das Probebauteil, der nahe der Bauteilunterseite von einem Detektor aufgefangen wird. Stichprobenmessungen innerhalb einer Charge an Probenplatten oder Bauteilen liefern die prozentual transmittierte In-



intensität und bieten somit eine direkte Kontrollmöglichkeit von Transmission, oberflächlicher Reflexion und Streuung im Material. Besondere Vorteile ergeben sich bei dieser Messmethode vor allem durch die lokale Auflösung von Fehlerzonen im Bauteil.

Methoden der Online-Prozessüberwachung

Ein wesentlicher Vorteil des Laser-Durchstrahlschweißens gegenüber herkömmlichen Verfahren sind die ausgezeichneten Möglichkeiten zur Online-Prozessüberwachung unter Ausnutzung mehrerer physikalischer Grundprinzipien. Je nach Verfahrensvariante können unterschiedliche Methoden zum Einsatz kommen, auch eine Kombination mehrerer Prozessüberwachungen ist denkbar.

teile Hinweise zur Fehlererkennung. Dazu kann die Online-Überwachung des Fügewegs verwendet werden. Mit der Fügwegüberwachung lassen sich direkte und indirekte Fehler erkennen. Das Prinzip basiert darauf, so viel Material abzuschmelzen, dass die Fertigungstoleranzen der Einzelbauteile ausgeglichen werden. Es entstehen zuverlässig dichte Schweißnähte, die den Schutzklassen IP67 bzw. IP69K entsprechen. Abhängig von der Verfahrensvariante stoppt der Schweißprozess nach Zeit, Weg oder bei Erreichen eines Festanschlags. Die Fügwegüberwachung ist das robusteste Überwachungsmittel bei Laserschweißprozessen.

Unabhängig von der eingesetzten Prozessstrategie beginnt die Fügwegüberwachung immer mit der sogenannten Nullpunktfindung. Die für den Prozess erforderliche Spanntechnik fährt auf das

den Abschmelzweg erreicht wurde. Anschließend wird die benötigte Zeit für den Abschmelzvorgang mit vorgegebenen Grenzen verglichen und das Bauteil bei Einhaltung der Grenzen als Gutteil bewertet. Werden die Grenzen über- oder unterschritten, deutet dies häufig auf Abweichungen bei der Bauteiltransmission oder Absorption hin. Ist die benötigte Zeit beispielsweise zu lang, kann die Ursache dafür eine schlechtere Transmission durch veränderte Spritzparameter sein.

Eine Alternative zur zuvor genannten Variante ist das Schweißen mit fest vorgegebener Schweißzeit. Hier wird bei Erreichen der entsprechenden Zeit der Abschmelzweg mit vorgegebenen Grenzen verglichen und damit eine qualitative Bewertung der Schweißung durchgeführt. Diese Variante kommt in der Praxis weniger zum Einsatz, da die meisten Fertigungszeichnungen einen definierten Abschmelzweg als Zeichnungswert vorgeben.

Eine Sonderform des Schweißens mit Fügwegmessung ist das Schweißen bis ein konstruktiv an der Baugruppe vorgehener Festanschlag („Schweißen auf Anschlag“) erreicht ist. Ausgehend von der obligatorischen Nullpunktsdefinition betrachtet das Laser-System die Steigung des gezeigten Kurvenverlaufs stetig. Sobald der Festanschlag erreicht wird, findet eine rapide Änderung der Steigung statt, das Abschaltkriterium für den Schweißprozess. Auf diese Weise geschweißte Baugruppen können Funktionsmaße mit hoher Präzision einhalten. Allerdings ist darauf zu achten, dass sich durch den Abkühlprozess Eigenspannungen im Bauteil ausbilden.

Auf jede der genannten Varianten folgt ein zeitgesteuerter Abkühlvorgang unter Beibehaltung des Spanndrucks. Die bei der Abkühlung auftretende Materialschumpfung kann ebenfalls erfasst und mit Sollwerten abgeglichen werden. So lässt sich beispielsweise sicherstellen, dass eine absolute Bauteilhöhe eingehalten wird.

Die Erfassung und Auswertung von Fügewegen ist eine einfache und wirkungsvolle Form der Qualitätssicherung. In einer der nächsten Ausgabe der Kunststoffe rücken andere Verfahren in den Fokus: Dieser Beitrag befasst sich dann mit der Parameterüberwachung und zeigt Verfahren zur Verbrennungsdetektion. ■

DER AUTOR

DIPL.-ING. FRANK BRUNNECKER, geb. 1977, ist Vice President LaserWelding bei der LPKF Laser & Electronics AG, Erlangen, frank.brunnecker@lpkf.com

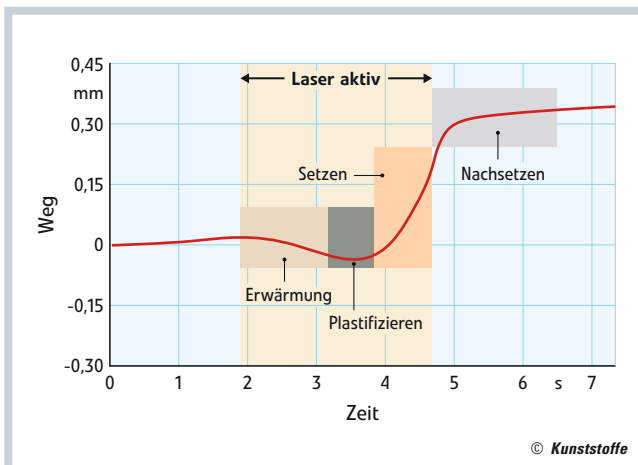


Bild 2. Kurvenverlauf des Setzwegs bei Simultan- oder Quasisimultan-Schweißungen

Online-Prozessüberwachung beim Quasisimultan- oder Simultanschweißen

Eine der gängigsten Verfahrensvarianten für kleine und mittlere Bauteile ist das Quasisimultanschweißen. Dabei überstreicht der Laserstrahl die Schweißkontur so lange, bis sie komplett plastifiziert ist. Ein Galvanometer-Scanner steuert den Laserstrahl in X- und Y-Richtung und führt ihn entlang der Schweißnaht. Aufgrund der hohen Abtastgeschwindigkeit schmilzt das Material entlang der gesamten Schweißnaht auf. Ein ähnlicher Prozessverlauf ist beim sogenannten Simultanschweißen erkennbar. Hier wird die gesamte Kontur gleichzeitig durch Laserstrahlen aufgeschmolzen. Dies setzt eine Batterie von Lasern entlang der Schweißkontur voraus und ist nur bei höchsten Stückzahlen wirtschaftlich.

Bei diesen beiden Prozessvarianten liefert das Plastifizierungsverhalten der Bau-

Bauteil zu und kommt auf dem Bauteil zum Stehen. Über die Überwachung der relativen Änderung des Wegmesssystems kann der Aufsetzpunkt der Spanntechnik auf das Bauteil exakt ermittelt werden. Mit dem absoluten Wert des Wegmesssystems kann zu diesem Zeitpunkt bereits festgestellt werden, ob die zu schweißenden Bauteile vorhanden sind, ob die Baugruppe bereits geschweißt worden ist oder ob es sonstige mechanische Abweichungen gibt. An diesem Punkt wird das Messsystem auf null zurückgesetzt, um eine relative Messung während des eigentlichen Schweißvorgangs vorzunehmen. Für die Prozessstrategie gibt es die im Folgenden genannten Varianten.

Die am häufigsten eingesetzte Variante der Fügwegüberwachung ist die Ermittlung eines Setzwegs (Bild 2). Ausgehend vom vorher festgelegten Nullpunkt startet das Schweißsystem den Energieeintrag in das Bauteil. Dieser wird erst gestoppt, sobald ein vorgegebener Wert für