



Die Atemgasbefeuchterkammer von Gründler medical muss gas- und wasserdicht sein. Für einen Leckagetest werden die Kammern im Rahmen einer 100 %-Prüfung mit Überdruck beaufschlagt. Das Verfahren liefert zuverlässige Aussagen zur Dichtigkeit der einzelnen Kammern. Die Atemgasbefeuchterkammer dient zur Erwärmung und Befeuchtung von Atemgasen im klinischen Bereich

(Bilder außer Bild 6: LPKF)

Prüfen nach dem Fügen

Laserschweißen. Das Laser-Durchstrahlschweißen hat sich als besonders präzises und hygienisches Verfahren neben anderen Fügeverfahren etabliert und bietet bereits während des Prozesses mehrere Methoden zur Qualitätsüberwachung. Der vorliegende Beitrag befasst sich mit Prüfmöglichkeiten nach dem Schweißen.

FRANK BRUNNECKER

Das Laserschweißen ist ein Fügeverfahren, das bereits während des Prozesses mehrere Methoden zur Qualitätsüberwachung anbietet. In einer Serie von drei Artikeln sind die unterschiedlichen Aspekte der Qualitätssicherung dargestellt. Der erste Teil dieser Serie betrachtete die verfügbaren Schweißverfahren und Fehlermöglichkeiten in der Prozesskette (Laserschweißen im Fokus, **Kunststoffe** 10/2011, Dokumenten-Nummer KU110886). Wesentliche Elemente dieser Betrachtung sind schwankende Materialeigenschaften oder Probleme in der Herstellung der Fügepartner. Die für das Laser-Durchstrahlschweißen relevanten Absorptionsraten lassen sich z. B. zuverlässig mit Transmissionsgeräten bestätigen.

Im zweiten Teil lag der Fokus auf Prüfverfahren im Prozess (Schweißprozesse unter Kontrolle, **Kunststoffe** 5/2012, Do-

kumenten-Nummer KU111022). Dort wurden die Fügewegüberwachung, die Pyrometerkontrolle und -regelung, die Verbrennungsdetektion und die neue Reflektionsdiagnostik dargestellt. All diese Verfahren liefern zuverlässige Aussagen über Qualität und Erfolg der Schweißung und stellen diese für ein lückenloses Tracking & Tracing zur Verfügung.

Der vorliegende dritte Teil befasst sich mit Prüfungen nach der Schweißung. Durch sporadische Prüfungen von geschweißten Bauteilen werden Fehler aufgedeckt, die mit den einzelnen vorgestellten Online-Methoden teilweise nicht erkannt werden können. Beispielsweise ist eine Blasenbildung (Überhitzung oder zu hoher Wassergehalt im absorbierenden Material) mit einer Fügewegüberwachung nicht erkennbar.

Die Anzahl und Häufigkeit der Post-Process-Prüfungen hängt dabei vom Einsatzgebiet und den Erfahrungen mit der zu bearbeitenden Baugruppe ab. Der Prüfbedarf lässt sich durch eine Kombination der Inline-Verfahren senken. Bei unkritischen Bauteilen und einer siche-

ren Materialqualität reichen erfahrungsgemäß sporadische, nachgeschaltete Prüfungen aus.

Den ersten Eindruck vom geschweißten Produkt hat der Maschinenführer. Bei vielen Bauteilen zeichnen sich die Schweißnähte durch das lasertransparente Bauteil gut ab, sodass bei einer schnellen Sichtprüfung bei der Entnahme schon Fehlstellen auffallen.

Mikroskopie und Materialographie

Wesentlich detailliertere Aussagen lassen sich treffen, wenn Bauteile per Mikroskop oder Materialographie detailliert optisch untersucht werden.

Bei der Auflichtmikroskopie wird ein vorhandenes Bauteil an der Schweißnaht aufgebrochen und die Bruchstelle der aufgebrochenen Schweißnaht im Mikroskop betrachtet und ausgewertet. Mit dieser Methode lassen sich sehr einfach und wirtschaftlich folgende Fehler erkennen:

- Anbindungsfehler: Haften an einem oder jedem der beiden Fügepartner →

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU111269



Bild 1. Die Materialanhaftungen zeigen, dass es sich hier um den gewünschten kohäsiven Bruch handelt

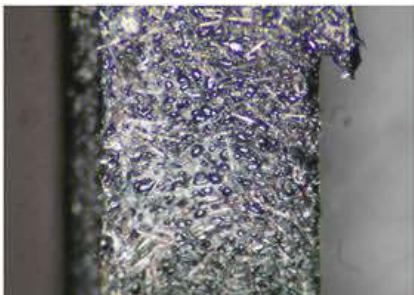


Bild 2. Unter dem Mikroskop zeigen sich Blasen in der Schweißnaht, die bei einem zu hohen Wassergehalt im geschweißten Kunststoff auftreten

Reste des anderen Fügepartners spricht man von einem kohäsiven Bruch. Diese Art von Bruchverhalten ist erwünscht und optimal, weil sie auf eine zuverlässige Materialmischung der beiden Fügepartner hinweist. Haftet dagegen kein Material des jeweils anderen Partners an, so spricht man von adhesivem Bruchverhalten, d. h. die Materialien kleben quasi nur aneinander. Die Schlussfolgerung besteht darin, dass die Festigkeit der Schweißnaht geringer als die des umgebenden Materials ist. Ein solches Bruchverhalten kann erwünscht sein, ist es aber in den überwiegenden Fällen nicht, da die Festigkeit deutlich geringer ist (**Bild 1**).

- **Materialüberhitzung, zu hoher Wassergehalt:** Treten im Bereich des Bruches kleine Gasbläschen auf, lässt dies Rückschlüsse auf zwei unterschiedliche Ursachen zu. Entweder wird der Prozess mit zu viel Energie betrieben, d. h. das Material beginnt sich zu zersetzen und bildet Gasblasen. Alternativ kann ein zu hoher Wassergehalt vorliegen, insbesondere bei hydrophilen Kunststoffen wie beispielsweise den Polyamiden. Da Wasser bereits bei deutlich geringeren Temperaturen in den gasförmigen Zustand übergeht als der Kunststoff, bilden sich Blasen.

Beide Fehlerursachen lassen sich mit einer reinen Fügewegüberwachung im

Schweißprozess nicht detektieren, sehr wohl aber mit einer zusätzlichen Pyrometerkontrolle (**Bild 2**).

Ergänzend oder anstelle der Auflichtmikroskopie liefert die Materialographie weitere Aussagen. Eine genauere Analyse lässt sich nach Herstellung eines Dünnschnitts (Mikrotomschnitt) durchführen. Dabei wird senkrecht zur Schweißnaht ein so dünner Materialabschnitt hergestellt, dass er lichtdurchlässig wird und mit Durchlicht- und Auflichtmikroskopie untersucht werden kann.

Wie in den Bildern erkennbar ist, lassen sich mit dieser Methode durch eine geeignete Wahl von Ätzmitteln und optischen Filtern sowohl die Bindaht als auch Fehlstellen erkennen (**Bilder 3 bis 5**).

Berstdruckprüfung

Eine einfache und beliebte Methode ist die Berstdruckprüfung. Sie eignet sich zum Testen von Bauteilen und deren Schweißnähten, die ein eingeschlossenes, dichtes Volumen bieten. Anwendungen sind z. B. Elektronikgehäuse für unterschiedliche Anwendungsgebiete.

Die fertig geschweißten Gehäuse werden mit einem Druckluftanschluss versehen und so lange mit steigendem Druck beaufschlagt, bis entweder Gehäuse oder Schweißnaht versagen. Der maximal er-

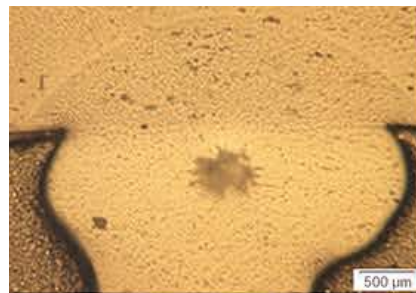


Bild 3. Im Schnittbild werden Fehler sichtbar: Zwar ist die pilzförmige Schmelzzone sehr gut ausgebildet, das Material im Zentrum ist jedoch bereits überhitzt und beginnt sich zu zersetzen. Der sich ausbildende Gaskanal reduziert die Nahtfestigkeit

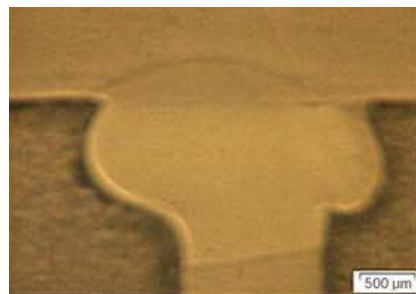


Bild 4. Zum Vergleich: eine gut ausgebildete Schweißnaht mit erfolgreicher Prozessführung

reichte Druck lässt Rückschlüsse über die Schweißnahtgüte zu. Durch diese Methode lässt sich ein klar definierbarer Wert für den Berstdruck und die akzeptierten Toleranzen direkt in Bauteilzeichnungen übernehmen. Dieses Verfahren ist insbesondere in der Automobilindustrie verbreitet.

Der Berstdruck ist als alleiniges Kriterium nicht geeignet, um eine Aussage über den Schweißprozess oder gar die Nahtgüte zu liefern. Dieser Test muss immer mit anderen Prüfungen wie z. B. der Mikroskopie kombiniert werden.

Laufende Untersuchungen zeigen, dass Schweißnähte, die bereits im Bereich der thermischen Zersetzung des Kunststoffs erzeugt wurden, zu höheren Kurzzeitfestigkeiten neigen als Schweißnähte aus niedrigeren Temperaturverläufen. Dieses Verhalten invertiert sich bei den meist wichtigeren Langzeiteigenschaften. Somit kann es unter Umständen sogar kontraproduktiv sein, nur auf einen möglichst hohen Berstdruck hin zu optimieren.

Leckage- oder Bubbletest

Ein weiterer Test arbeitet zerstörungsfrei, ist aber ebenfalls nur mit geschlossenen oder zumindest verschließbaren Gehäusen möglich. Der Leckage- oder Bubbletest erfolgt meist vorgelagert vor einer Berstdruckprüfung, da die Bauteilvorbereitung gleich ist. In beiden Fällen ist ein Druckluftanschluss erforderlich.

Das zu testende Bauteil wird mit einem vorgegebenen Druck beaufschlagt. Dieser variiert je nach Größe des Bauteils und den Anforderungen. Ein Durchflussmessgerät erfasst die nachströmende Luftmenge, sie sinkt im Idealfall auf null ab. In der Praxis müssen meist Minimalwerte für die Leckage unterschritten werden.

Mit einem einfachen Test lassen sich selbst kleinste Leckagestellen erkennen. Wird das Bauteil in ein Wasserbad getaucht, zeigt die Blasenbildung die Position der Fehlstellen (**Titelbild**). Dies kann zum Nachjustieren des Schweißprozesses von Bedeutung sein, z. B. auch bei der Prozessoptimierung.

Zerstörungsfreie Bauteilprüfung

Bei den vorhergehenden Prüfmethoden wurden einzelne Bauteile aus der Produktion genommen und zur Prüfung zerstört oder zumindest benutzt. Bei Applikationen mit höchsten Produktanforderungen ist dies nicht möglich: Wenn jedes einzelne Bauteil qualifiziert werden muss,



Bild 5. Mikrofluidische Bauteile sind zum einen auf besonders feine, zum anderen auf absolut sichere Schweißungen angewiesen

kommen nur zerstörungsfreie Prüfverfahren zum Einsatz. Solche weitergehenden Forderungen sind insbesondere in höheren Risikoklassen der Medizintechnik üblich.

Als zerstörungsfreie Testmethoden stehen z. B. Ultraschall- oder Röntgenuntersuchungen zur Verfügung. Beide Metho-

Ergebnis entsteht ein Schnittbild des durchstrahlten Körpers. Je nach technischer Auslegung werden 2D- oder 3D-Abbildungen erfasst.

Industrielle Lösungen erfassen zunächst ein Gutteil und beurteilen nachfolgende Messungen auf dieser Basis. Das Ergebnis können Messprotokolle, aber

Das Laser-Durchstrahlschweißen steht ziemlich am Ende der Produktionskette. Durch die Flexibilität des Lasereinsatzes lassen sich Toleranzen der Vorprodukte ausgleichen. Beim Schweißen auf Anschlag bleibt der Laser so lange aktiv, bis ein definierter Fügweg erreicht ist – das gleicht Geometrieschwankungen in gewissem Umfang aus. Eine geeignete Kombination aus Inline-Prüfverfahren verspricht eine hohe Sicherheit auch bei kritischen Bauteilen. Eine Kombination aus Fügwegüberwachung und Pyrometerkontrolle kann fast alle hier beschriebenen Fehlerbilder bereits im Schweißprozess erkennen und weist den Bediener auf die Abweichungen hin. Bei einer sinnvollen Integration der Prüfverfahren in das Laser-Schweißsystem verlängert sich die Zykluszeit nicht nennenswert.

Damit gilt für den letzten Schritt: Eine sinnvoll konzipierte Inline-Überwachung reduziert den Aufwand für die nachfolgenden Stichprobenprüfungen deutlich –

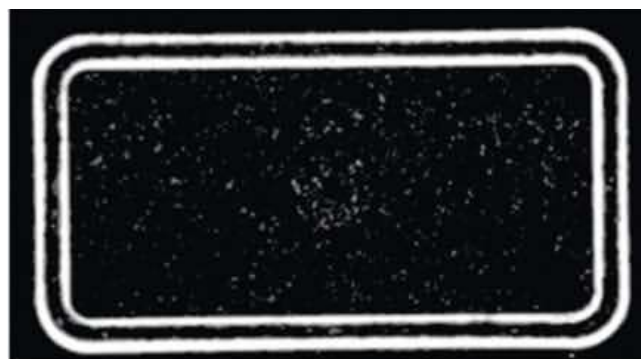
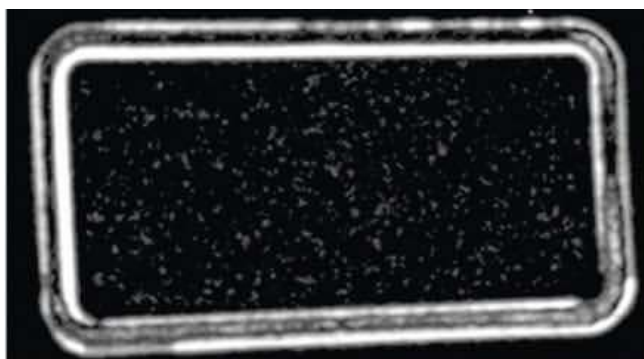


Bild 6. Das linke Bild zeigt deutlich Anbindungsfehler und Blasenbildung in der Schweißnaht. Das rechte Bild stellt ein fehlerfrei geschweißtes Bauteil dar (Bild: Continental Teves AG)

den sind allerdings deutlich kostenintensiver als die bisher beschriebenen Verfahren.

Bei der Ultraschalluntersuchung kommt ein akustisches Mikroskop zum Einsatz. Ihm liegt das gleiche Funktionsprinzip wie den aus der Medizin bekannten Ultraschalluntersuchungen zugrunde: Ein Prüfkopf überträgt ein Ultraschallsignal durch ein Koppelmedium (i. d. R. Wasser) in die zu untersuchende Fläche ein. Die vom Material reflektierten Schallwellen werden nach Stärke, Phasenlage und Laufzeit erfasst und zu einem Bild der inneren Strukturen rekombiniert. Mit einer Ultraschalluntersuchung lassen sich sowohl Fehlstellen in der Schweißnaht als auch Blasen im Schweißbereich zuverlässig erkennen (**Bild 6**).

Auch die Röntgenanalyse bzw. die Röntgen-Computertomographie (RCT) arbeitet zerstörungsfrei. Das Bauteil wird von Röntgenstrahlen durchleuchtet, als

auch schematische Darstellungen mit einer farblichen Hervorhebung der Unterschiede sein. Die RCT prüft je nach technischer Auslegung nicht nur die Schweißnaht, sondern erkennt auch Inhomogenitäten im Basismaterial, Abweichungen der Bauteilgeometrie oder auch geänderte Materialeigenschaften.

Fazit

Das Laser-Durchstrahlschweißen hat sich als besonders präzises und hygienisches Verfahren neben anderen Fügeverfahren etabliert. Diese dreiteilige Serie zum Thema Qualität zeigt, dass der Laser auch bei der Sicherheit auf deutliche Vorteile verweisen kann. Insbesondere die im zweiten Teil dargestellten Inline-Verfahren machen nachfolgende aufwendige Testverfahren überflüssig oder können zumindest die Zahl der zu prüfenden Muster auf ein Minimum begrenzen.

in vielen Fällen kann ganz darauf verzichtet werden. Hier beweist das Laser-Durchstrahlschweißen seine technologischen Vorteile und reduziert die Gesamtkosten für das Bauteil. ■

DER AUTOR

DIPL.-ING. FRANK BRUNNECKER, geb. 1977, leitet den Bereich Laser Welding bei der LPKF Laser & Electronic AG, Erlangen; frank.brunnecker@lpkf.com

SUMMARY

JOIN FIRST, TEST LATER

QUALITY ASSURANCE. Transmission laser welding has become established alongside other joining processes as being an especially precise and hygienic process that is open to several methods of simultaneous quality monitoring. The following article deals with possibilities for testing subsequent to welding.

Read the complete article in our magazine

Kunststoffe international and on

www.kunststoffe-international.com