

Laserstrahlschweißen als Zulieferer von Automotive-Komponenten: Fertigung in Großserie mit integrierter 100%-Prüfung

Günter Lensch, Axel Rach, Günther Bröker

NUTECH GmbH, Neumünster

Die NUTECH berät und beliefert ihre Kunden aus Handwerk und Industrie mit allen Verfahren der Lasermaterialbearbeitung. Arbeitsschwerpunkte sind das Präzisionsschneiden, das Schweißen von Präzisionskomponenten und die Oberflächenbearbeitung. Kundenbranchen sind insbesondere die Medizintechnik, der Apparatebau und die Automobilindustrie. Im Vortrag werden Beispiele zum Laserstrahlschweißen mit 100%-Prüfung von Komponenten für den Einsatz im Automobilbau vorgestellt. Hierbei handelt es sich um Bauteile, die besonderen Sicherheitsanforderungen unterliegen. Schwerpunkte der Präsentation sind die Darstellung der Anforderungen und die fertigungstechnischen Lösungen mittels automatisierter Fertigung in Großserie mit integrierter Prozesskontrolle bzw. Schweißnahtprüfung.

1 Einleitung

Beim Laserstrahlschweißen eines aus Einzelteilen gefügten Bauteils steht dessen spätere Funktion im Vordergrund; die Konstruktion, die Nahtvorbereitung und schließlich seine Fertigung müssen die Funktionsfähigkeit gemäß Kundenanforderung sicherstellen. Damit fällt der Schweißnaht zumeist eine Schlüsselrolle zu, jedoch ist diese am fertigen Produkt oft nicht zerstörungsfrei oder nicht online prüfbar. Da das Laserschweißen ein relativ junges Verfahren ist, gilt bauteil- wie werkstoffbezogen, dass bis heute nur begrenzte Erfahrungen vorliegen, auf die zurückgegriffen werden kann und sich damit jeder Fall als neues Problem darstellt.

In dem vorliegenden Beitrag werden folgende drei Beispiele aus unserer Großserienfertigung mit integrierter Prüftechnik betrachtet:

1. Stumpfstoßschweißung von Gurtstraffer-Ritzeln mit integrierter Prozessüberwachung mittels Plasmasensorik
2. Überlappschweißung von Bremsbelag-Trägern mit online Überwachung mittels Plasma- und Temperatursensor
3. I-Nahtschweißung in Blechrandlage von Torsions-Schwingungsdämpfern und Prüfen der Dichtigkeit des Bauteils mit Lecktestgerät

In allen Beispielen gab es die Chance, in der Entwicklungsphase des Kunden von Anfang an mit dabei zu sein, um die komplexen Anforderungen an das Produkt zu erfüllen. Somit handelt es sich um den optimalen Weg, bei dem vermieden wird, schwierige oder falsche, insbesondere konstruktive Vorgaben im Nachhinein kompensieren zu müssen.

2 Zur NUTECH

Die NUTECH GmbH Neumünster wurde 1985 nach einem Konzept von Dr. Günter Lensch als wirtschaftsnahes Forschungsinstitut gegründet. Nach dem Management-Buy-Out durch die Geschäftsführer Dr. Günter Lensch und Theodor Fleitmann im Jahre 1995 wurde die Gesellschaft zu einem modernen Dienstleister mit den folgenden drei Geschäftsbereichen ausgebaut:

NUTECH *Lasertechnik* bearbeitet im Lohnauftrag Werkstücke und Baugruppen vom Musterteil bis zur Großserie im 3-Schicht Betrieb. Wir sind nach DIN EN ISO 9001:2000 sowie DIN 6700 zertifiziert und als Laserschweißfachbetrieb nach EN 729-2 anerkannt.

NUTECH *Lasersystemtechnik* entwickelt und liefert Sonderanfertigungen von Strahlführungssystemen und Anlagen für die Laserbearbeitung, insbesondere für die Innenrohrbearbeitung.

NUTECH *Analytik & Prüfzentrum* prüft und analysiert Materialien, Werkstoffe und Bauteile auf ihre Zusammensetzung, mechanisch technologischen Eigenschaften, beurteilt Schadensfälle und betreibt ein DKD Kalibrierlabor für Werkstoffprüfmaschinen. Wir sind akkreditiert nach DIN EN ISO 17025.

3 Laserstrahl-Schweißbarkeit

Die Schweißbarkeit eines Bauteils beinhaltet bekanntlich die Aspekte Werkstoff, Konstruktion sowie Fertigung. Nur die Betrachtung des Zusammenwirkens aller drei Faktoren macht eine Aussage auch zur Laserstrahl-Schweißbarkeit eines Bauteils möglich.

Die Schweißneigung eines bestimmten Werkstoffs ergibt sich zunächst aus den allgemeinen Regeln der Schweißtechnik; dieses Wissen muss jedoch ergänzt werden um die Besonderheiten, die beim Laserstrahlschweißen gelten. Das aktuelle Wissen ist jung und vergleichsweise immer noch sehr lückenhaft; aber die Laserstrahl-Schweißfachbetriebe haben in den letzten ca. 10 Jahren jeweils ein spezielles Wissen mit ihren Applikationen erarbeitet und die Forschungsarbeiten der Institute einiges geklärt. Anwendungsbezogen liegen zum Schweißen von Stahl gemäß seiner Marktbedeutung die meisten Kenntnisse vor.

Als Schweißdienstleister hat man nur selten Einfluss auf die gewählten Werkstoffe und auch nicht auf die Konstruktion, obwohl gerade hier ein großes Potential für die Schweißbarkeit eines Bauteils liegt. Im Rahmen der Fertigungsentwicklung sind jedoch diese Aspekte intensiv zu beleuchten – in der zu wählenden Schweißmöglichkeit schließlich liegt die Verantwortung und Freiheit des Laserschweißers, wobei sein Ziel die Ablieferung reproduzierbarer Gutergebnisse zu geringsten Kosten ist.

Bei Serienteilen kommt hinzu, dass die Qualität unabhängig vom Bediener, tags wie nachts, unabhängig von Jahreszeiten, Vormaterialschwankungen usw. stimmen muss. Dies ist nur sicherzustellen mit einem ordnungsgemäßen, gelebten QS-System.

Auf die konkreten Anforderungen an Werkstoff, Konstruktion und Fertigung wird bei den Beispielen im Vortrag eingegangen.

4 Die Komponenten der Qualitätssicherung bei der NUTECH

Vor der Durchführung einer Laserstrahl-Schweißaufgabe müssen die allgemeinen Elemente der Qualitätssicherung konkret beleuchtet werden:

- Personalqualifizierung
- Schweißanweisungen
- Werkstoff
- Laseranlage
- Prüfung und Bewertung der Schweißnaht
- Konstruktive Anforderungen

Für Serienteile – insbesondere für die Automobilindustrie wie auch für die Medizinaltechnik mit ihren jeweiligen sehr hohen Qualitätsanforderungen kommt sowohl der allgemeinen Qualitätssicherung wie der apparativ gestützten Prüftechnik größte – lebenswichtige – Bedeutung zu. Bei den hier vorgestellten Großserien geht es nach unserer Einschätzung nur mit integrierter online Prüftechnik bzw. Prozessüberwachung.

4.1 Personalqualifizierung

Für das Schweißpersonal, d.h. Bediener und Einrichter automatischer Prozesse beim Schweißen metallischer Werkstoffe gilt das Regelwerk der DIN EN 1418, es legt Anforderungen an das Bedienpersonal fest. Jedoch besteht seitens des Gesetzgebers keine zwingende Notwendigkeit der Ausbildung für dieses Bedienpersonal. Erst mit der Durchsetzung betrieblicher Qualitätssicherungssysteme nach DIN EN ISO 9000, DIN EN 729 oder DIN 6700 entsteht eine Verpflichtung zum Nachweis der Qualifizierung der Maschinenbediener.

Für Ingenieure im schweißtechnischen Bereich des Personals gilt DIN EN 719 (Schweißaufsicht – Aufgaben und Verantwortung), in der die allgemeinen Aufgaben von Schweißaufsichtspersonen definiert sind.

Bei der NUTECH wird das Fachpersonal intern in Anlehnung an DVS 1187 geschult; aktuell werden, erstmalig in Deutschland, Industriemechaniker der Fachrichtung Geräte- und Feinwerktechnik mit dem Schwerpunkt Lasertechnik ausgebildet; ein Teil der Mitarbeiter sind TÜV-geprüfte, regelmäßig extern überwachte Maschinenschweißer und die Schweißaufsicht ist ein EWE gemäß EN 719. Ein QS-System nach DIN EN ISO 9001:2000 ist implementiert und der Betrieb ist als Schweißbetrieb nach DIN EN 729-2 sowie DIN 6700 (Bahnnorm) anerkannt und darf darüber hinaus luftfahrttechnische Bauteile fertigen.

4.2 Schweißanweisungen

Sowohl für das Handschweißen als auch für maschinelle Prozesse ist eine Schweißanweisung (WPS) eine wichtige Voraussetzung für das reproduzierbare Arbeiten, denn in ihr werden alle den Prozess beeinflussenden Parameter aufgeführt. Der Schweißer oder der Maschinenbediener arbeitet nach dieser Handlungsanweisung in dem von einer Schweißaufsichtsperson fachlich abgesteckten Bereich. Bei der NUTECH werden die Aufträge nach Vorgaben des implementierten QM-Systems abgearbeitet.

4.3 Werkstoffe

Verschweißt werden können heute mit dem Laser praktisch alle vorkommenden metallischen Werkstoffe, im Regelfall artgleich und ohne Zusatzwerkstoff. Gemäß den Anforderungen aus dem Markt sind Stahlanwendungen am häufigsten und über solche wird weiter unten berichtet.

Das gesamte Erfahrungsspektrum der NUTECH GmbH überstreicht darüber hinaus das Bearbeiten von Leichtmetallen, Edelmetallen und Buntmetallen, darunter auch von solchen Kombinationen, die gemeinhin als nicht miteinander verschweisbar gelten. Hier wird mit Kunden viel produktbezogene Entwicklungsarbeit geleistet; „Alles ist möglich“ könnte das Motto sein.

Bei den vorgestellten Beispielen kommen keine „besonderen“ Werkstoffe zum Einsatz, sondern die Anforderungen an die Sauberkeit und an die Maßtoleranzen stehen im Vordergrund.

4.4 Laseranlagen

Die bei der NUTECH zum Einsatz kommenden Laseranlagen sind mit CO₂- bzw.- Nd:YAG-Lasern ausgestattet und arbeiten auf Universal- oder Einzweck-Führungsmaschinen mit bis zu 5 unabhängigen Achsen. Die Anlagen erfüllen die fertigungs- wie sicherheitstechnischen Anforderungen, d.h. wenn möglich sind es Klasse 1 Anlagen, ansonsten sind sie in abgetrennten, überwachten Räumen aufgestellt. Die installierten Laserleistungen liegen zwischen 50 Watt und 4,4 kW. Die bewegten Achsen werden jährlich bezüglich ihrer Genauigkeit/Reproduzierbarkeit nach VDI/DGQ Vorgabe kontrolliert.

Bei den vorgestellten Beispielen kommen speziell konzipierte Anlagen als Fertigungsinseln, ausgerüstet mit CO₂- und Nd:YAG-Laser als Strahlquellen zum Einsatz.

4.5 Prüfung und Bewertung der Schweißnaht

Typische, beim Laserstrahlschweißen auftretende Unregelmäßigkeiten sind Poren, Bindefehler, Risse, Wurzelüberhöhung, Nahtunterwölbung usw. Erste Schweißfehlerkataloge entstanden unter Mitwirkung der NUTECH im Rahmen des europäischen Verbundprojektes ASPOW und fanden Eingang in die Prüfnormen.

Die heute anzuwendende DIN EN ISO 13919 unterscheidet dabei verschiedene Nahtgüten, dabei werden die zulässigen Unregelmäßigkeiten in den Nahtgüteklassen B bis D beschrieben; die Nahtgüteklasse B verkörpert die höherwertigen Bauteilforderungen. Die Nahtgüte A wurde aus der geometrischen Beschreibung genommen und beinhaltet spezielle Anforderungen, die zwischen den Vertragspartnern zu definieren sind.

Für die Beurteilung von Schweißverbindungen ist es erforderlich, qualifiziertes Prüfpersonal nach DIN EN 473 (Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung) einzusetzen. Bei der NUTECH liegt als Alleinstellungsmerkmal der besondere Fall vor, dass ein unabhängiges, akkreditiertes Prüflabor im selben Unternehmen auf kurzem Wege erreichbar ist. Bei den hier infrage kommenden Produkten sind mit dem Kunden abgestimmte, bauteilbezogene Fehlerkataloge maßgebend.

Generell gilt, um eine sichere Schweißnaht zu erzeugen, dass der Stoß bzw. die Bauteilkonstruktion, die Vorbereitung der Naht, die Positionierung des Laserstrahls im Prozess und die Einhaltung der Schweißparameter in geeigneter Form sicherzustellen sind. Insbesondere bei der Serienfertigung von Bauteilen gibt es im Wesentlichen folgende Fehlermöglichkeiten:

- Maßtoleranzen der Halbzeuge
- Zusammensetzung des Materials
- Ungereinigte Teile
- Spannfehler der Aufnahmen
- Schwankungen der Laserleistung
- Störungen im Gasfluss
- Dejustagen an der Optik
- Dejustagen an Düsen und Vorrichtungen
- Unaufmerksamkeit des Personals

Diese Aufzählung ist nicht vollständig und getreu Murphy's Law wird auch jeder Fehler einmal passieren, dies wird aber keine Befürchtungen auslösen, wenn eine sorgfältige Fertigungsentwicklung mit FMEA durchgeführt wurde, die in der Regel zu Stichprobenprüfungen führt. Trotzdem halten wir bei sicherheitsrelevanten Großserienteilen eine integrierte 100%-Prüfung für notwendig.

Eine zerstörungsfreie Schweißnahtüberprüfung ist grundsätzlich eine schwierige Aufgabe, insbesondere wenn die Anforderung „schnell bzw. online“ lautet. In solchen Fällen sollte nach Möglichkeit das Produkt nicht extra angefasst, sondern in der Schweiß-Maschine bzw. in der gegebenen Aufspannung überprüft werden.

Wir haben bei unserer Großserienfertigung Erfahrungen mit optischen Verfahren (mittels Triangulation), mit Wirbelstrom- und Plasmasensorik gemacht; geeignete Ultraschall- und Röntgenverfahren sowie elektromagnetische Verfahren sind uns aktuell für die infrage kommende Fertigungsart nicht bekannt.

Optische Verfahren registrieren bzw. prüfen die Oberfläche nach der Verschweißung bzw. den Stoss vor dem Verschweißen. Die Wirbelstromverfahren greifen grundsätzlich durch ihre elektromagnetische Wirkung in den Werkstoff und damit in die Schweißnaht hinein und registrieren den hohen magnetischen Widerstand von Poren, Spalten etc. Wir haben nach Testung die optischen Verfahren wie auch die Wirbelstromprüfung verworfen wegen der sehr geringen Abstände zwischen Sensor und Schweißnaht und weil die Schweißnaht a priori keine gleichmäßige Oberfläche hat.

Die Plasmasensorik nutzt als indirektes Verfahren die Leucht-Erscheinungen im Prozess des Schweißens und ist geeignet, um folgende Fehlermerkmale zu detektieren:

- ▶ Porenbildung
- ▶ Bindefehler
- ▶ Einschweißtiefe (bedingt)
- ▶ Reinheit der Teile/des Stoßes
- ▶ Laserleistung
- ▶ Gasströmung

Jedoch bleibt die Positionierung des Laserstrahls relativ zum Stoß ein Problem; kombinierte optische Verfahren aus Plasma- und Thermo-Sensoren mit Kamera gehen dieses Problem an, sie sind aber gekennzeichnet durch höhere Komplexität und höheren Preis.

4.6 Konstruktive Anforderungen

Den Anforderungen an lasergerechtes Konstruieren wird sehr oft leider nicht früh genug die notwendige Beachtung geschenkt – hier können für eine sichere Schweißbarkeit eines Bauteils sowohl viele Fehler gemacht werden als auch große technische wie wirtschaftliche Vorteile herausgearbeitet werden. Der mit den Problemen vertraute Laserfertiger muss auf seine Erfahrungen zurückgreifen, oder er muss Hinweise in der Literatur suchen. Entscheidend ist, dass er die Gelegenheit bekommt, vor der Auftragsbearbeitung in die Bauteilkonstruktion mit eingebunden zu werden.

5 Aktuelle Beispiele aus der laufenden Fertigung

5.1 Stumpfstoßschweißung von Gurtstraffer-Ritzeln

5.1.1 Aufgabenstellung

Es werden zwei identische Kaltfließpressteile an der mittigen Fuge vollautomatisch mit einem CO₂- oder Nd:YAG-Laser mit einem Stumpfstoß zum Produkt zusammengeschweißt. Es handelt sich um einen vergüteten SW 24. Die zu schweißenden Teile haben ca. 43 mm Außendurchmesser und eine Breite von 6 mm. Die Schweißlänge beträgt ca. 82 mm. Es soll eine Einschweißtiefe von 0,7 mm erreicht werden. Die Toleranzen des Bauteils sind: Planparallelität 0,2 mm, Rundlauffehler 0,1 mm.

5.1.2 Fertigung

Die Besonderheit dieser Fertigung besteht darin, dass jeweils 2 Schweißautomaten von einem Laser alternierend mit dem Strahl versorgt werden und die Fertigung vollautomatisch abläuft. Eingesetzt werden ein DY 022 und ein DC 020 der Firma Rofin-Sinar.

Die Fertigungsvollautomaten wurden in Zusammenarbeit mit Automatisierungsfirmen entwickelt; mehrere Anlagen sind verkettet, Strahlteiler schalten die Laser auf die Maschinen im Sekundentakt um. Pro Jahr werden mehr als 1000 km Schweißnaht produziert.

5.1.3 Qualitätssicherung

Bei diesem Produkt erfolgt die Qualitätssicherung u. a. direkt während des Prozesses. Jeder einzelne Schweißvorgang wird mit Hilfe eines Plasmasensors überprüft. Weichen die Daten von ermittelten Sollwerten ab, so wird das geschweißte Ritzel in die Ausschusskiste aussortiert. Des Weiteren erfolgt an Stichproben eine visuelle Prüfung der Schweißnaht, eine maßliche Prüfung an Stichmaßen, und es werden pro Fertigungslos eine Anzahl von Ritzeln einem Zugversuch unterworfen.

5.2 Überlappschweißung von Bremsbelagträgern

5.2.1 Aufgabenstellung

Durch eine Überlappschweißung wird ein ca. 0,7 mm dünnes, sog. „Rauhgrundblech“, z. B. aus besintertem ZSTW 420, mit einem bis zu 6 mm dicken Trägerblech, z. B. aus QSTE 420 vollautomatisch mit einem CO₂-Laser zu einem Bremsbelagträger, siehe **Bild 1**, verschweißt. Die Schweißnahtlänge beträgt je nach Typ bis zu ca. 600 mm bei einer Einschweißtiefe von minimal 1,2 mm; die fertigen Bauteile unterliegen sehr engen Ebenheitstoleranzen.

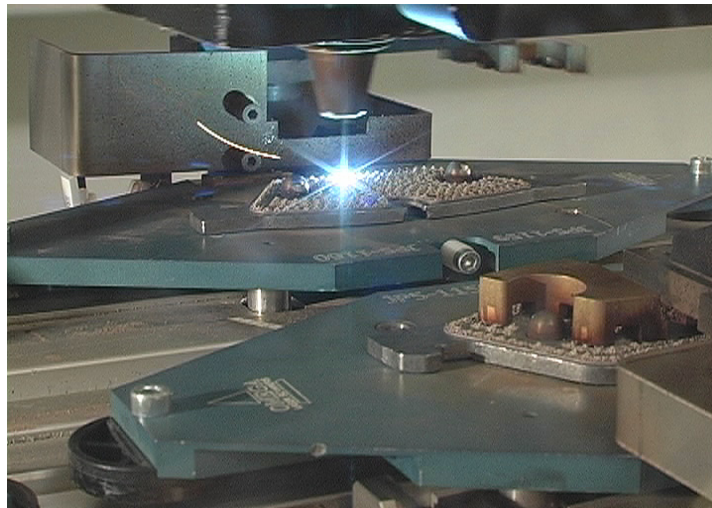


Bild 1: Beim Schweißen von Bremsbelagträgern

5.2.2 Fertigung

Die Einzelteile werden, aus verschiedenen Vorfertigungsketten kommend, vom Kunden beigestellt. Der Fertigungsvollautomat wurde nach unseren Vorgaben - nach einer von uns durchgeführten umfangreichen Fertigungsoptimierung - gebaut. Es erfolgt eine Durchschweißung durch das Rauhgrundblech. Jährlich werden auf diesem Automaten ca. 1000 km Schweißnaht produziert.

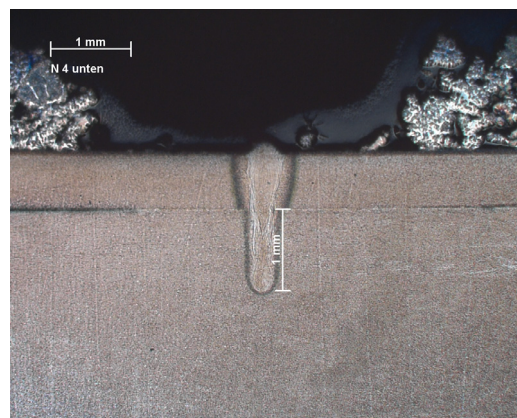


Bild 2: Typisches Schliffbild

5.2.3 Qualitätssicherung

Es handelt sich bei diesem Bauteil um eine bestehende Konstruktion, die schon millionenfach eingesetzt wurde. Die Teile unterliegen als Sicherheitsbauteil hohen Anforderungen und werden deshalb 100%-ig geprüft.

Der Schweißprozess wird online mit einem kombinierten Plasma- plus Temperatursensor überwacht; zusätzlich wird stichprobenartig zerstörend die Einschweißtiefen durch Makroschliff überprüft und des weiteren erfolgt eine visuelle Kontrolle der Schweißnahtoberfläche wie des kompletten Bauteils.

5.3 Schweißen von Torsions-Schwingungsdämpfern

5.3.1 Aufgabenstellung

Montage der Baugruppe und Anbringung von zwei Schweißnähten am Quasi-Stumpfstoß, eine davon in der besonders kritischen Blechrandlage.



Bild 3: Torsionsschwingungsdämpfer-Schweißung auf dem Rundtakter

Bei dieser Schweißung werden ein ca. 2 mm dickes Abdeckblech aus z. B. DD 13 mit einem Umformteil z. B. aus S 235 vollautomatisch mit einem Nd:YAG-Laser zu einem Torsions-Schwingungsdämpfer, siehe **Bild 3**, montiert und mit zwei Rundnähten verschweißt. Im Bauteil befindet sich eine in Kunststoff gelagerte Schwungmasse. Das Umformteil ist im Anlieferungszustand verölt und muss schweißgerecht gereinigt werden. Die Schweißnahtlänge beträgt je nach Typ bis zu ca. 800 mm bei einer Einschweißtiefe von 2 mm. Aufgrund der Konstruktion kommt der Fertigung/Spanntechnik besondere Bedeutung zu, um die Funktionsfähigkeit des Bauteils zu gewährleisten.

5.3.2 Fertigung

Die Fertigung erfolgt in der Serie mit Rundtaktautomaten und einem 4,4 kW diodengepumpten Nd:YAG-Laser der Firma Rofin-Sinar. Da die montierte Baugruppe in Nähe der Schweißnähte über innen liegende Kunststoffteile verfügt, gilt der Temperaturführung ein besonderes Augenmerk. Zur

Funktion ist sowohl ein Verzug zu vermeiden als auch eine absolut druckdichte Schweißnaht sicherzustellen.



Bild 3: Schliff der Schweißnaht bei Schweißung in Blechrandlage

5.3.3 Qualitätssicherung

Die hier sehr kritische Schweißposition wird über Kamera eingerichtet und über Arbeits-/Einrichtproben abgesichert. Nach der Schweißung der Einrichtteile wird dieses geschnitten und die Lage und Einschweißtiefe bestimmt. Diese Schliffbilder werden für jeden Auftrag archiviert. In einer weiteren Station des Rundtasters wird in teilweise verdeckter Nebenzeit durch einen Lecktester die Dichtigkeit jedes Bauteils mittels Druckabfalltester geprüft. Parallel zum Schweißen erfolgen in Stichproben eine visuelle Prüfung der Naht und eine maßliche Prüfung der Schweißnaht auf Lage und Tiefe per Schliff.