



Zur Produktpalette der Hamburger Werft Blohm+Voss gehören insbesondere Marineschiffe und Megayachten

Zehn Jahre Laserschweißen im Schiffbau – Ein Erfahrungsbericht

BLOHM+VOSS Seit einem Jahrzehnt nutzt die auf den Bau von Marineschiffen und Megayachten spezialisierte Hamburger Werft Blohm+Voss die Lasertechnik in der Neubaufertigung und hat damit positive Erfahrungen sammeln können

Jens Keil

Für die stahlschiffbau-liche Vorfertigung der Schiffsinnenstruktur wird auf der Hamburger Werft Blohm+Voss GmbH seit 2001 das Laserstrahlschweißen und -schneiden erfolgreich in einer Fertigungslinie eingesetzt. Die Anfänge gehen zurück bis auf das Jahr 1997, so dass Blohm+Voss mittlerweile auf gut zehn Jahre Erfahrung in der Lasertechnik zurückblickt. Die charakteristischen Vorteile der Lasertechnologie wie hohe Bearbeitungsgeschwindigkeiten, geringer Verzug, präzise Trenn- und Fügeergebnisse infolge hoher Leistungsdichte bei kleinem Strahldurchmesser, leisten einen erheblichen Beitrag zur Produktivitätssteigerung. Alle ebenen ausgesteiften Blechfelder der Schiffsinnenstruktur (auch tragende Teile

der Längsfestigkeit) werden im Laser-Bearbeitungszentrum der Vorfertigung produziert. Im nachfolgenden soll über die Erfahrungen bei der Einführung und Weiterentwicklung der Anlage berichtet werden.

Produktpalette

Die Werft Blohm+Voss GmbH in Hamburg hat sich auf die Herstellung von High-Tech-Schiffen spezialisiert, dazu zählen Fregatten, Korvetten und Mega-Yachten. Neben dem hohen Ausrüstungsgrad dieser Schiffe zeigen sich konstruktive Gemeinsamkeiten in der Innenstruktur des Stahlschiffkörpers. Diese besteht aus zahlreichen Decks, Längswänden und Querelementen (Abb. 1). Um dem gewichtskritischen Anspruch der Produktpalette Rechnung zu tragen, hält der

Trend zur Leichtbauweise auch im Stahlschiffbau vor. So werden vornehmlich Profile und Bleche geringer Materialdicken verwendet, die auf thermische Einflüsse außerordentlich empfindlich reagieren. Typische Blechdicken liegen beispielsweise bei der Korvette K130 für die Aufbauten und Masthäuser im Bereich von 3-4 mm. Konventionelle Schweißverfahren stoßen hier hinsichtlich des Verzuges der Bauteile an ihre technischen und wirtschaftlichen Grenzen.

In der Vorfertigung werden passgenaue orthogonal ausgesteifte Blechfelder innerhalb einer Fertigungslinie hergestellt. Die Aussteifung erfolgt durch aufgesetzte Steifen oder Rahmen, die alle mittels Lasertechnologie verschweißt werden (Abb. 2). Die Maxi-

malgröße eines längs- und querausgesteiften Plattenfeldes beträgt 12 m x 4 m.

Anlagenkonzept [5]

Der Aufbau der Laseranlage (Abb. 3) umfasst eine Verbindung aus fliegender Optik (Portal) und beweglichem Werkstückträger (Palette). Die Laserstrahlquellen stehen ortsfest. Der Rohstrahl wird über Spiegelsysteme zu Manipulatoren gelenkt und an deren Schnittstellen mit speziellen Optiken auf das Bauteil fokussiert. Vorausgerüstete Schneid- und Schweißpaletten durchfahren auf einem eigens hierfür entwickelten Transportsystem die Laserzelle. Durch die Verwendung von zwei CO₂-Laserquellen mit jeweils 12 kW werden die unterschiedlichen Applikationen durch die An-



wendung verschiedener Bearbeitungsoptiken ermöglicht. Im Einzelnen sind das:

- ▶ die Oberflächenbearbeitung, die den Abtrag des Primers mit einem Linienfokus und das Markieren von Aufsetzspuren und -zeichen beinhaltet,
- ▶ das Hochdruck-Laserstrahlschmelzschnitten (oxidfrei) bei allen Blechzuschnitten,
- ▶ das Laserstrahlschweißen von I-Nähten als T-Stoß,
- ▶ das Laser-Hybridschweißen von I-Nähten als Stumpfstoß.

Oberflächenbearbeitung von beschichteten Platten Dabei brennt ein 20 mm breiter Linienfokus im Bereich von Aufsetzspuren der Versteifungselemente – wie Profile oder Stegelemente – über das Blech hinweg ($v=15$ m/min) und entfernt die Grundierung. Ferner markiert der Laser mit stark reduzierter Leistung Aufsetzlinien und -zeichen.

CO₂-Laserstrahl-Schmelzschnitten Die sensible Sicherung der Nahtqualität erfordert im Vergleich zu konventionellen Schweißverfahren einen erhöhten Aufwand in der Positionier- und Spanngenauigkeit sowie der Vorbereitung der Fügekan-

ten. Aus diesem Grund wurden alle Schweißkanten mittel Laserschmelzschnittes hergestellt.

Das Schneidgas besteht aus Stickstoff, da Reaktionen des Werkstoffes mit Sauerstoff unerwünscht sind. Im Vergleich zu anderen thermischen Schneidverfahren entsteht eine sehr schmale, nahezu parallele, oxidfreie Schnittkante. Die Vorbereitung der Wulstflachprofile geschieht auf einer vorgeschalteten automatisierten Bearbeitungslinie. Bevor die Profile mit einem Plasmaschneidroboter auf Länge konfektioniert werden, durchlaufen sie eine Fräsanlage und eine Strahlstation.

Laserstrahlschweißen von I-Nähten als T-Stoß Für den T-Stoß ($t = 3 - 12$ mm) werden Schweißnahtlängen von bis zu 12 m realisiert. Der Schweißprozess der Verbindungen der I-Naht als T-Stoß geschieht zeitgleich mit zwei Schweißoptiken im Simultanschweißprozess ohne Schweißzusatzwerkstoff. Dabei wird aus Gründen der Prüfbarkeit ein Vollanschluß zwischen Platte und Stegelement angestrebt. Für die Nahtlagekontrolle (Luftspaltmessung) bzw. Positionierung der Bearbeitungsoptik zeichnet zwei Lichtschnittsensoren verantwortlich. Insbesondere die Überwachung der Hö-

hen- und Seitenrichtung hat sich als unbedingt erforderlich herausgestellt.

Laserstrahlschweißen von I-Nähten als Stumpfstoß Zunächst wurden I-Nähte durch Laserschweißen mit Kalt-drahtzufuhr hergestellt. Hierbei wurde ein drahtförmiger Schweißzusatzwerkstoff direkt in das Keyhole zugeführt. Es zeigte sich jedoch, dass das Prozessfenster sehr klein war und extreme Bedingungen an die Werkstoffe selbst, sowie der Vorbereitung bestanden. Konstante Fügepalte von 0,3 mm mussten auf 12 m Schweißnahtlänge eingehalten werden. Porenbildung im Schweißgut, verursacht durch einen hohen Druck in der Dampfkapillare waren unter Kontrolle zu bekommen.

Im Jahre 2004 wurde für das Schweißen von I-Nähten als Stumpfstoß dem Laserschweißen ein MAG-Prozess parallel geschaltet; das sogenannte Laserhybridschweißen. Hierdurch konnte gegenüber dem konventionellen Laserstrahlschweißen mit Zusatzwerkstoff eine erhöhte Prozesssicherheit erlangt werden. Die Überbrückbarkeit von fertigungsbedingten Fügepalten wurde um bis zu 50 Prozent verbessert. Die Ermittlung und Synchronisation der

Prozessparameter erfolgte mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera. Hierbei zeigte sich, dass der Schweißprozess so spritzerarm wie möglich gestaltet werden musste, damit keine Fehlpositionierungen des Nahtfolgesensoren zu Bindefehlern führte.

Anforderungen an die Konstruktion

Bei Rahmen und Profilen ersetzt der lasergeschweißte T-Stoß eine Doppelkehlnaht. Die Anforderung diese Stöße voll durchzuschweißen erfolgte aus Gründen der Prüfbarkeit. Umfangreiche Untersuchungen [1], [2] zum Ermüdungsverhalten von lasergeschweißten Stumpfnähten und Quersteifen zeigte, dass die Ermüdungsfestigkeit bei lasergeschweißten Nähten günstiger zu bewerten ist (Abb. 4).

Generell wird eine Beurteilung der Nahtunregelmäßigkeiten gemäß der DIN EN ISO 13919-1 „Elektronen- und Laserstrahlschweißverbindungen Leitfaden für die Bewertung für Unregelmäßigkeiten“ vorgenommen. Die Anforderungen an die erforderlichen Bewertungsgruppen sind abhängig von den Bauteilgruppen auszuwählen. Der Leitfaden enthält eine Vielzahl unterschiedlicher Bewertungsmerkmale für Naht-

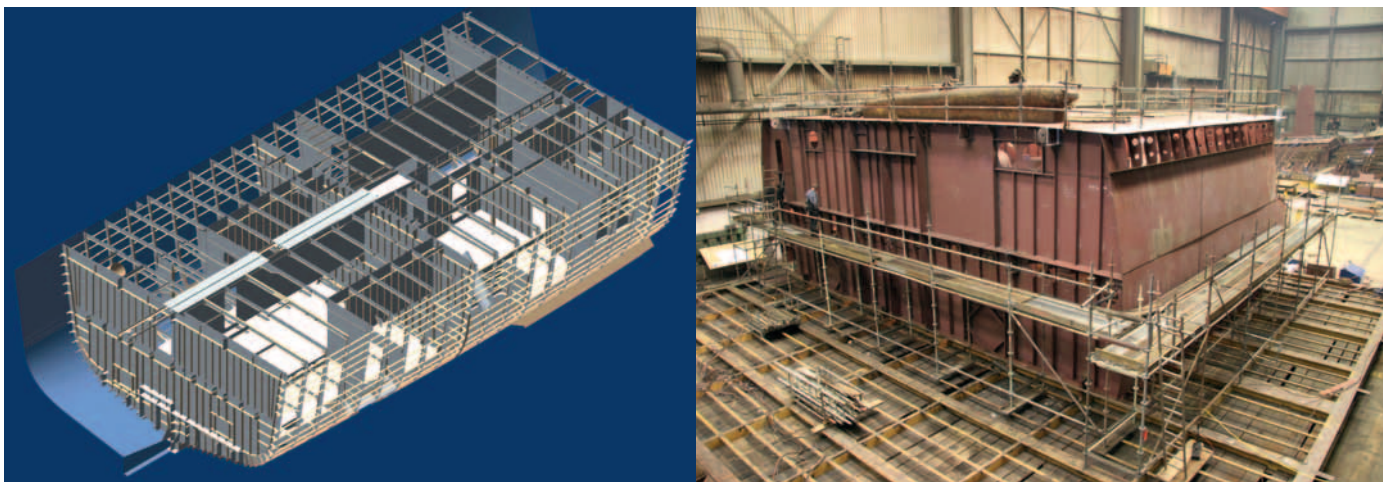


Abb. 1: Stahlschiffsinnenstruktur

ungängen, die jedoch keinen Bezug zur Bauteilbelastung haben. Einzelne Merkmale der DIN sollten mit Bezug auf die schiffbautypischen Baudetails überprüft und konkretisiert werden. Folgende Fragen sollten dabei geklärt sein:

- ▶ Welche Auswirkungen haben Wurzelporen bei Stumpfnähten, die über das Maß der in der Norm genannten Bewertungsgruppen hinausgehen?
- ▶ Muss ein T-Stoß eines lasergeschweißtes Profil HP 220 x 10 voll angeschlossen sein? Hier stehen wohl in Zukunft weitere Bauteilversuche zur Entwicklung entsprechender Wöhlerlinien im Vordergrund.

Auswahl geeigneter Grundwerkstoffe auf Basis vorhandener Schiffbaustähle

Die eingesetzten Werkstoffe sind bei den genannten

Schiffstypen Schiffbaustähle A bis D36, die vergleichbar sind mit einem S235JR bzw. S 355 J2G3. Lediglich bei der chemischen Zusammensetzung mussten einige Einschränkungen vorgenommen werden. So stellte sich abweichend von [3] ein C Gehalt von max. 0,16 als unkritisch in Bezug auf die zulässigen Härtewerte dar. Auch der eingeschränkte Gehalt von P (max. 0,015) und S (max. 0,01) erlauben heißrissicheres Schweißen und stellen die Stahlhersteller vor keine großen Lieferprobleme.

Als problematisch stellte sich allerdings heraus, dass bei sehr dünnen Blechen von ca. 3 mm Dicke frei werdende Spannungen (unabhängig vom Walzzustand) schon während des Schneidprozesses zu erheblichen Verwerfungen führen. Dieses führt zu größeren

Toleranzen beim Besäumen der Kanten und erschwert die Einhaltung des notwendigen Luftspaltes beim Schweißen.

Qualitätsüberwachung und Prüfung

Absicht der Werft war es, mit Einführung eines im Schiffbau neuen Schweißverfahrens wirtschaftlich Qualität zu produzieren. Das hohe Sicherheitsbedürfnis, sowohl auf Seiten der Werft als auch der Klassen, erhöht den Stellenwert der Qualitätssicherung. Konzeptionell wurden bei der Prozessplanung folgende Verfahren vorgesehen:

- ▶ 1. Überwachung von Position und Anpressdruck der Spannvorrichtung zur Gewährleistung eines definierten Luftspaltes bei exakter Lage der Bauelemente,
- ▶ 2. Videoüberwachung des Schweißprozesses,

- ▶ 3. Nahtlagekontrolle und Luftspaltemessung mittels lichtoptischem Sensor für die Strahlführung beim Schweißen im Stumpf- oder T-Stoß,
- ▶ 4. Teil-(automatisierte) Ultraschallprüfung, mit der unmittelbar nach dem Schweißen die Nahtgüte geprüft werden soll,
- ▶ 5. On-line Plasmaintensitätsmessung anhand eines optischen Sensors, der koaxial zum Laserstrahl geschaltet ist.

Im Rahmen der Ertüchtigung der Laseranlage und der Kontrolle der erzielten Ergebnisse wurden zerstörungsfreie Prüfverfahren in den Qualitätssicherungsprozess eingebunden. Als mögliche zerstörungsfreie Prüfverfahren boten sich zur damaligen Zeit für I-Naht Stumpfstöße nur die Durchstrahlungsprüfung und

Abb. 2: Lasergeschweißte Bauteile



für T-Stöße die manuelle Ultraschallprüfung an. So wurden zu Beginn 100 Prozent der I-Stöße durchstrahlt bzw. der T-Stöße mittels manueller Ultraschallprüfung geprüft. Im Laufe der Zeit konnte auf Basis der Ergebnisse der Prüfungen der Prüfumfang erheblich reduziert werden. Nachteilig wirken sich diese Prüfungen allerdings immer noch auf den weiteren Fertigungsfortschritt aus, da die Ergebnisse nicht zeitgleich vorliegen.

Auch der Sichtprüfung kommt ein hoher Stellenwert zu, da häufig aufgrund des Erscheinungsbildes gute Rückschlüsse auf mögliche Nahtinnenfehler gemacht werden können. Hier sind insbesondere Bindefehler, Kerben und Nahtdurchhang etc. gute Anzeichen für nicht optimal eingerichtete Schweißparameter. Die visuelle Beurteilung stellt hohe Anforderungen an das Prüfpersonal hinsichtlich der Verfahrens- und Beurteilungskriterien. Auch hier liegen die Ergebnisse nicht online vor, so dass es zu Verzögerungen im Prozessablauf kommen kann.

Die Online Plasma-Intensitätsmessung mittels Fotodiode, die ursprünglich erfolgreich in der Automobilindustrie eingesetzt wurde, zeigte sich als zu anfällig in Bezug auf die Pseudofehlerrate und wurde nach kurzer Zeit abgeschaltet.

Im Rahmen weiterer Verbesserungen ist das Ziel, eine integrierte modulare Online-Prozessüberwachung einzuführen. Diese sollte in der Lage sein, die wichtigsten notwendigen Beurteilungskriterien zur Nahtqualität zu überwachen.

Fazit und Ausblick

Das gewählte Anlagenkonzept stellte sich im Hinblick auf das zu fertigende Produktspektrum als voller Erfolg heraus. Die Analge arbeitet zur Zeit in drei Schichten um den Bedarf an Schiffsbaupaneelen in der Fertigung zu decken.

Es hat sich aber auch gezeigt, dass es durch annähernd senkrechte Terminleisten in den Projekten zu Fertigungsengpässen insbesondere bei Fertigungsbeginn eines Schiffes kommen kann. Als Beispiel

seien hier Schneidarbeiten genannt, die zeitlich parallel laufen müssen, um den Bedarf an Teilen für den Schiffbau zu decken. Blohm+Voss plant aus diesem Grunde eine weitere hochflexible Hybridschweiß- und Schneidanlage. Ein weiterer Focus liegt auf der Weiterentwicklung von Nahtverfolgungs- und integrierten Qualitätskontrollsystemen mit dem Ziel einer weiteren Verringerung des Prüfumfanges.

Die Anforderungen an die Werkstoffe hinsichtlich chemischer Zusammensetzung und Schweißbarkeit hat sich als unkritischer als angenommen erwiesen. In Zukunft sollen auch die im Yachtbau üblichen Edelstahl- und Schwarz-Weiß-Verbindungen auf der Anlage hergestellt werden.

Vielleicht können wir ja in den nächsten zehn Jahren berichten, dass das Laserschweißen im 3-D Bereich ein Standardverfahren geworden ist.

Literatur

- [1] „Ermüdungsverhalten lasergeschweißter Stumpfnähte, Quersteifen und Kreuzstöße“, FuE Vorhaben B&V, TLT Untersuchungen TUHH April 99 (Prof. Paetzold)
- [2] „Einfluss der Nahtgeometrie der mit Zusatzdraht geschweißten Lasernaht und Einfluss des Werkstoffes auf die Schwingfestigkeit der Laserschweißverbindung“, TUHH April 2000 (Prof. Paetzold)
- [3] „Unified Guidelines for the approval of CO₂-Laser welding“, Final draft 1996
- [4] „DIN EN ISO 13919-1 Elektronen- und Laserstrahl-Schweißverbindungen, Leitfaden für die Bewertung von Unregelmäßigkeiten“
- [5] „Laserstrahlbearbeitung im Schiffbau“, Dipl.-Ing. Thomas Minks

Der Autor:

Dipl.-Ing. Jens Keil,
leitender Schweißfachingenieur Lasertechnologie,
Blohm+Voss GmbH,
Hamburg

Der Inhalt des Artikels entspricht dem des auf der 8. Schweißfach-Sondertagung am 26. April 2007 in Hamburg gehaltenen Vortrages „Zehn Jahre Laserschweißen im Schiffbau – Ein Erfahrungsbericht“ von Jens Keil



Abb. 3: Laseranlage

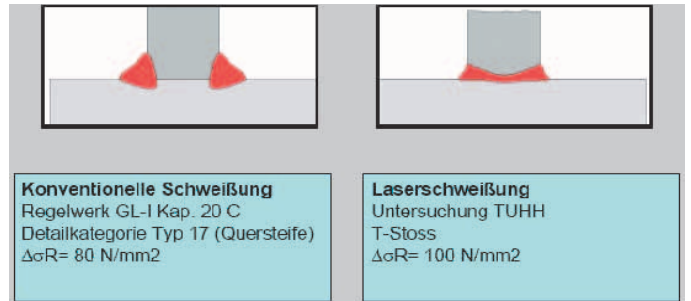


Abb. 4: Ermüdungsfestigkeit

LEUTERT™

Digital Pressure Indicator Type DPI 2
to carry out inspections of the combustion process and fuel system of diesel engines.
Technical service and support are available world-wide.

GLC
CERTIFIED
ISO 9001

Welcome to our booth 1G21 at Marintec/Shanghai!

Friedrich Leutert GmbH & Co. KG Phone: +49-4131 959-0
 Schillerstrasse 14 Fax: +49-4131 959-111
 21365 Adendorf E-Mail: sales.maritime@leutert.com
 Germany Internet: www.leutert.com