

CNC-integrierte Doppel-3D-Nahtführung für High-Tech-Laserstrahlschweißen

➤ Zur Technologieentwicklung des Laserstrahlschweißens von sehr großen 3D-Teilen für die Luft- und Raumfahrt investierte das Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS) Dresden in eine neuartige XXL-Laserstrahlschweißanlage.

Diese Anlage erlaubt die Bearbeitung von 3D-Strukturelementen mit den Abmessungen $10 \times 3 \times 1 \text{ m}^3$ und wurde vom IWS Dresden und den Firmen Airbus Deutschland, Schuler Held Lasertechnik Dietzenbach und ibs Automation Chemnitz konzipiert, hergestellt und in Betrieb genommen. ibs Automation entwickelte und lieferte die gesamte Steuerungstechnik einschließlich Software mit CNC-Betriebssystemerweiterungen und Postprozessor zur automatisierten NC-Programmgenerierung.

Da aus Gründen der Nahtausbildung, der Belastbarkeit und des Verzuges beim Schweißen von Aluminiumstrukturen mit T-Naht beidseitig gleichzeitig geschweißt werden muss, sind im Anlagenkonzept zwei mechanisch unabhängige Schweißköpfe vorgesehen. Mit Hilfe von zwei CNC-Steuerungen Sinumerik 840D werden die Bewegungen der beiden Schweißköpfe und einer mitlaufenden Spanntechnik synchronisiert. Die Orientierung des Laserstrahls im Raum wird mit drei Rundachsen A, B und C realisiert. Die dritte Rundachse ist notwendig, weil das qualitätsgerechte Schweißen von Aluminium die Zuführung von Zusatzwerkstoff bedingt und somit eine Positionierung des Schweißkopfes um den Tool Centre Point (TCP) notwendig wird. Der zusätzlich geforderte flache Anstellwinkel des Laserstrahls zur Grundfläche hat eine Umlenkung des fokussierten Laserstrahls mittels HD-Spiegel nahe dem TCP zur Folge. Außerdem ist im Vorlauf zum TCP für jeden Schweißkopf ein optischer Nahtführungssensor montiert. Die prinzipielle Achsanordnung zum sensorgeführten beidseitig gleichzeitigen 3D-Laserstrahlschweißen zeigt Abbildung 2. Die technische Realisierung der synchronen 3D-Nahtführung basiert auf den langjährigen ibs-Erfahrungen zur CNC-integrierten Nahtführung.



ABBILDUNG 1: Die erfolgreiche Inbetriebnahme der flexiblen XXL-Laserstrahlschweißanlage mit CNC-integrierter Doppel-3D-Nahtführung eröffnet dem Fraunhofer IWS Dresden neue Möglichkeiten zur Technologieentwicklung auf dem Gebiet des Laserstrahlschweißens für die Luft- und Raumfahrt. (Quelle: Schuler Held Lasertechnik)

CNC-integrierte Nahtführung

Neben der Softwareentwicklung auf Anwendungsebene nutzt ibs Automation seit 1995 im NC-Kern offene CNC-Steuerungen zur Integration der Funktionalität Nahtführung. Das bedeutet, dass das CNC-Betriebssystem erweitert wird (Compilezyklen-Software) und ein geeignetes Nahtsensormodul die Steuerung mit der Position der Naht im Sensorkoordinatensystem und geometrischen Nahtinformationen wie Nahtwinkel und Spalt online versorgt. Das Grundprinzip der CNC-integrierten Nahtführung beruht auf vektorieller Addition der aktuellen Maschinenposition im Werkstück- oder wahlweise im Maschinenkoordinatensystem (WKS oder MKS) mit der aktuellen Nahtposition im Sensorkoordinatensystem und automatischen Programmierung der berechneten Sollwerte in einem NC-Satz. Diese Grundfunktion ist mit weiteren allgemeinen Nahtführungsfunktionen, Sicherheits- und Überwachungsfunktionen und Funktionen zur Optimierung der Schweißqualität ausgestattet, um eine produktions-sichere Funktionalität zu erreichen.

Allgemeine Nahtführungsfunktionen

- Nahtanfang, Nahtende: Nahtanfang und Nahtende werden automatisch erkannt. Spezielle NC-Kommandos (G-Codes) gestatten die Programmierung verschiedener Nahtanfangs- und Nahtendekriterien.
- Ausblenden von Schweißlücken: Gibt es

Lücken in der Kontur (z. B. Ausstanzungen im Blech), so kann die Nahtführung für diesen Bereich unterbrochen und der Laser aus- und wieder eingeschaltet werden.

- Anwahl der Sensorparameter von extern: Die im Sensor hinterlegten Parametersätze können vom NC-Programm aus aktiviert werden. So können für jeden Nahttyp oder für jedes Bauteil optimierte Parametersätze hinterlegt und automatisch ausgewählt werden.
- Externer Takt für Sensor: Zum Erreichen höchster Genauigkeit erfolgt die Taktung des Sensors von der CNC. Somit ist eine exakte Verrechnung zwischen Maschinenpositionen und Sensorpositionen gewährleistet.
- Mehrere Nähte hintereinander: Sollen mehrere Teilnähte hintereinander geschweißt werden, so kann für jede Teilnaht – ohne Achsstop – die Nahtführung mit neuen Parametern neu gestartet werden.

Sicherheits- und Überwachungsfunktionen

- Überwachung Nahtanfang: Es wird überwacht, ob der berechnete Nahtanfangspunkt innerhalb einstellbarer Grenzen zum programmierten Nahtanfangspunkt liegt
- Überwachung Konturtoleranz: Es wird für jeden durch die Nahtführung programmierten Punkt überwacht, ob er innerhalb einstellbarer Grenzen zur vorgegebenen Bahn liegt.
- Überwachung der Satz-längen: Für jede Komponente des Raumvektors (X, Y, Z) kann

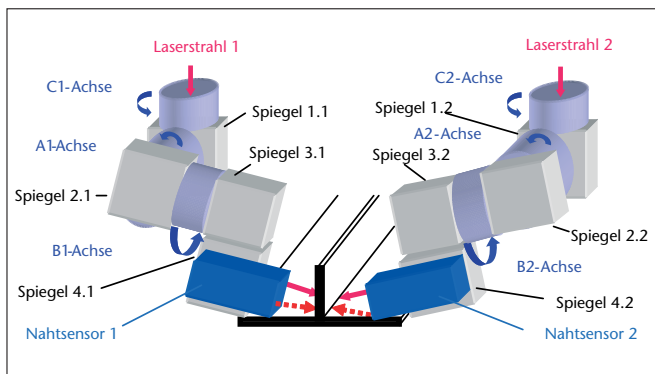


ABBILDUNG 2: Achsanordnung zum sensorgeführten beidseitig gleichzeitigen 3D-Laserstrahlschweißen



ABBILDUNG 3: Synchroner Doppel-3D-Nahtführung für beidseitig gleichzeitiges Laserstrahlschweißen. (Quelle: Fraunhofer IWS Dresden)

ein maximaler Weg je programmierten NC-Satz eingestellt werden.

- vorgegebenen Merkmale zur Geometrie der zu schweißenden Kontur (z. B. Spalt, Höhenversatz, Winkel) werden für jeden Messwert überwacht. Abweichende Sensordaten führen nur zu Fehlermeldungen ohne Abbruch der Nahtführung oder werden unterdrückt (Fehlermeldung mit Abbruch der Nahtführung)
- Überwachung von Sensordaten: Es wird für alle Sensordaten überprüft, ob sie innerhalb einstellbarer Grenzwerte liegen. Somit lassen sich Fehlmessungen aufgrund optischer Störungen weitestgehend eliminieren.
- Überwachung der Sensorschnittstelle: Die Sensorschnittstelle (Profibus) wird auf Gültigkeit (z.B. Lebenszeichen) überwacht.

Funktionen zur Optimierung des Schweißprozesses

- Einteilung der Schweißkontur in Nahtabschnitte: Zur Einstellung und Optimierung von Schweißparametern entlang der zu schweißenden Kontur besteht die Möglichkeit, die Schweißkontur in mehrere Nahtabschnitte zu unterteilen.
- Offsets zum Einstellen der Fokusposition: Es kann jeweils ein Offset quer zur Schweißrichtung und in Fokusrichtung eingegeben werden. Diese Offsets können in den einzelnen Nahtabschnitten umprogrammiert werden.
- Variable Schweißgeschwindigkeit: Zwischen Nahtabschnitten kann die Vorschubgeschwindigkeit umprogrammiert werden. Um Geschwindigkeitssprünge zu vermeiden wird diese linear interpoliert. Unter Verwendung der geschwindigkeitsabhängigen Laserleistungsfunktion lässt sich der Schweißprozess optimal programmieren.
- Filterfunktionen: Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit der Nahtführung können Filter programmiert werden. Es stehen Filter für Geraden und Radien zur Verfügung. Diese lassen sich für die einzelnen Nahtabschnitte getrennt parametrieren.
- Optimierte Programmierung von Zu-

satzachsen: Werden während der Nahtführung weitere Achsen (z.B. zur Laser- oder Sensororientierung) programmiert, kann es zur Reduzierung der Bahngeschwindigkeit kommen, wenn diese Achsen nicht über die notwendige Dynamik verfügen. Um diese Geschwindigkeitssprünge zu vermeiden lassen sich Parameter vorgeben, die die Beschleunigungsvorgänge automatisch harmonisieren.

Nahtsensormesssystem

Die Genauigkeit und die Dynamik einer Nahtführung können nur so gut sein, wie es die Daten aus dem Nahtsensormesssystem ermöglichen. Um den Forderungen des beidseitig gleichzeitigen 3D-Laserschweißens zu genügen, werden vom Sensormesssystem bei einer Schweißgeschwindigkeit von 12 m/min mindestens alle 5 ms ein gültiger Messwert zu einem T-Stoß mit einer Genauigkeit von rund + 25 µm erwartet. Entscheidend ist dabei, dass Sensorwerte ohne größere Verzögerung im Sensorrechner in der Profibuschnittstelle zur Verfügung stehen. Diese Forderungen erfüllen die Sensormesssysteme mit optischem Sensorkopf der Fa. Falldorf Sensor GmbH aus Bremen. Eine besondere Herausforderung für das optische Prinzip stellt das Aluminiummaterial dar. Durch Optimierung der Soft- und Hardware wurde dieses Problem gelöst.

Synchrone 3D-Nahtführung

Eine wesentliche Forderung zur Programmierung der CNC-Steuerung besteht darin, dass auf Grundlage eines CAD-Datenfiles die Soll-Schweißbahn mit Hilfe eines Postprozessors zu berechnen ist. Die Geometriedaten im berechneten NC-Programm sollen dabei im Werkstückkoordinatensystem der Maschine vorliegen (TCP-Programmierung). Der spezielle Postprozessor wurde im Rahmen des Projektes durch ibs geschrieben. Aus der in Abbildung 2 dargestellten Anordnung der Rundachsen ist ersichtlich, dass für die TCP-Programmierung eine kinematische 6-Achs-Transformation erforderlich ist.

Da diese Transformation für die Sinumerik 840D nicht zur Verfügung steht, wurde diese durch ibs Automation entwickelt, getestet und erprobt. Als zweites wurde die für die 5-Achs-Transformation vorhandene CNC-integrierte 3D-Nahtführung für die 6-Achs-Transformation weiterentwickelt. Mit diesen Voraussetzungen ist es möglich, mit Hilfe des genannten Grundprinzips der vektoriellen Addition von Maschinenpositionen und Nahtkoordinaten für beide Systeme gleichzeitig die Schweißbahn zu berechnen und somit wahlweise unter Regie des linken oder des rechten Nahtführungssystems zu schweißen. Das gleichzeitige Berechnen der linken und der rechten Schweißbahn gestattet sowohl die Ermittlung der Stringerdicke als auch eine zusätzliche Bewertung der sensorisch gemessenen Bahnpunkte. Bei Fehlerhäufungen auf einer Nahtseite werden automatisch die Messwerte der zweiten Seite zur Generierung der Schweißbahn genutzt.

Zur Ausführung des beidseitig gleichzeitigen 3D-Laserstrahlschweißens führen beide Schweißköpfe ein automatisch generiertes NC-Programm mit gleichen Bahnpunkten aus. Neu entwickelte Strukturen im CNC-Betriebssystem sorgen dafür, dass die NC-Programme für beide Köpfe synchron abgearbeitet werden und generieren bei Überschreitung einer vorgegebenen Abweichung eine Fehlermeldung bzw. stoppen die Laserschweißanlage.

KONTAKT

ibs Automation GmbH
 Dr.-Ing. Walter Schwabe
 Tel.: 0371 - 5347 130
 Fax: 0371 - 5347 129
 E-Mail: w.schwabe@ibs-automation.de
 Internet: www.ibs-automation.de