

Ersetzt Ausgabe August 1991

**Inhalt:**

- 1 Geltungsbereich
- 2 Einführung
- 3 Begriffsbestimmung
- 4 Werkstückbezogene Einflüsse
  - 4.1 Zugänglichkeit
  - 4.2 Positionstoleranzen
  - 4.3 Geometrietoleranzen
  - 4.4 Oberflächenbeschaffenheit
  - 4.5 Fugengeometrien
  - 4.6 Schweißpositionen
  - 4.7 Werkstoffe (Aluminium, CrNi-Stahl)
- 5 Anlagenbezogene Einflüsse
  - 5.1 Integrationsmöglichkeit
  - 5.2 Sensorführung
  - 5.3 Bauart
- 6 Mess- und regelungstechnische Einflüsse
  - 6.1 Genauigkeit
  - 6.2 Reaktionszeit
  - 6.3 Störgrößen
- 7 Prozessbedingte Einflüsse
  - 7.1 Prozessarten
  - 7.2 Blaswirkung
  - 7.3 Fülldrähte
  - 7.4 Pulverschüttung bei UP
  - 7.5 Schweißgeschwindigkeit
  - 7.6 Geschwindigkeit von Umlagerungen
- 8 Schlussbemerkung
- 9 Schrifttum

**1 Geltungsbereich**

Das Merkblatt behandelt ausschließlich Sensoren, die gemäß ihrem Wirkprinzip für das vollmechanische Lichtbogenschweißen eingesetzt werden können (Fugenanfangssuche und/oder Fugenvollverfolgung) und zum Positionieren der Elektrode relativ zur Schweißnaht und gegebenenfalls zur Regelung der Schweißparameter dienen. Teil 1 des Merkblatts beinhaltet eine Darstellung der physikalischen Wirkprinzipien verschiedener Sensoren. Teil 2 betrachtet die Anwendungsgebiete der Sensoren und gibt Hinweise zu den Einsatzpotenzialen sowie den Einschränkungen der Systeme und ist als Hilfestellung zur Auswahl vorgesehen.

Die unmittelbare Qualitätsüberwachung der geschweißten Naht und alle dafür geeigneten Verfahren fallen nicht in den Aufgabenbereich der hier betrachteten Sensoren (Merkblatt DVS 0954 „Schweißdaten als Hilfsmittel zur Qualitätssicherung beim automatischen MSG-Schweißen“ Vorbereitung).

**2 Einführung**

Die Anwendungsgebiete der Sensoren für das vollmechanische Lichtbogenschweißen sind ebenso vielfältig, wie der Einsatzbereich der Lichtbogenschweißprozesse. Dabei dient der Einsatz

von Sensorsystemen in der Regel dem Ziel einer effizienten und wirtschaftlichen Sicherung der Güte der Lichtschweißverbindung.

Der erfolgreiche Einsatz der Sensorsysteme hängt dabei insbesondere von der Analyse der Rahmenbedingung sowie der Anforderungen an die geforderte Funktion des Sensors ab. Systematisch unterteilt werden können die Einflussgrößen in die Kategorien

- Werkstückbezogene Einflüsse
- Anlagenbezogene Einflüsse
- Mess- und regelungstechnische Einflüsse
- Prozessbedingte Einflüsse

In der praktischen Anwendung haben sich drei Sensorprinzipien weit verbreitet.

- Optische Sensoren
- Taktile Sensoren
- Lichtbogensensoren

Die Beschreibung der diesen Systemen zugrunde liegenden Messprinzipien ist im Teil 1 dieses Merkblatts enthalten. Im Folgenden soll nun auf die praktische Anwendbarkeit der einzelnen Systeme unter Berücksichtigung der oben genannten Einflüsse eingegangen werden. Da sich im praktischen Einsatz im Wesentlichen drei Sensorprinzipien, die optischen Sensoren, die taktile Sensoren und der Lichtbogensensor, durchgesetzt haben, behandelt dieses Merkblatt auch vorrangig deren Spezifikationen.

**3 Begriffsbestimmung**

Unter dem Sammelbegriff „Sensoren für das Lichtbogenschweißen“ versteht man Geräte, die als Bestandteil einer vollmechanisierten Schweißanlage Informationen über Lage und möglichst auch Geometrie der zu schweißenden Naht am Werkstück erfassen und in einer Form bereitstellen, die zur Regelung der Position des Schweißbrenners und möglichst der Schweißprozessgrößen entsprechend den von der Schweißaufgabe gestellten Anforderungen geeignet ist.

**4 Werkstückbezogene Einflüsse**

In der Liste der werkstückbezogenen Einflüsse beschreibt die Zugänglichkeit einerseits die Möglichkeit des Sensors eine Position zu erreichen, die zur Vermessung des Bauteils nötig ist, andererseits aber auch die Eigenschaft des Sensors, den Zugang des Schweißbrenners zur Schweißstelle nicht zu beeinträchtigen. Bei den Positionstoleranzen sollte zwischen Abweichungen der Bauteillage und Abweichungen der Brennerführung unterschieden werden. Beide Größen überlagern sich und ergeben sowohl translatorische als auch rotatorische Abweichungen zwischen Schweißbrenner und Fuge. In den meisten Fällen ist die Bestimmung und Kompensation der translatorischen Abweichungen ausreichend. Die Geometrietoleranzen beziehen sich auf die Variation der Fugengeometrie. Im einfachsten Fall kann dies eine Spaltbildung zwischen den Fugenkanten sein, jedoch auch

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe „Lichtbogenschweißen“

Kantenversatz, Winkelverkipfung und fehlende oder ungenaue Fugenvorbereitung führen zu einer unzulässigen Veränderung der Fugengeometrie. Die Oberflächenbeschaffenheit hat als wesentliches Kriterium für die Sensorzuverlässigkeit und Sensorgenauigkeit einen Einfluss. Die Sensoren werden bei unterschiedlichen Fugengeometrien und Schweißpositionen sowie der Anwendung bei unterschiedlichen Werkstoffen hinsichtlich ihrer Eignung bewertet.

#### 4.1 Zugänglichkeit

Mit zunehmender Komplexität des Schweißnahtverlaufs sinkt meist auch die Zugänglichkeit des Schweißkopfes zum Bauteil. Im einfachsten Fall ist eine geradlinige Verbindung zwischen zwei Bauteilen nur durch Spannelemente beeinträchtigt. Bei dreidimensionalem Fugenverlauf mit kleinen Radien und Ecken ist die Positionierung des Schweißkopfes vielfach eingeschränkt. Spannelemente behindern die Zugänglichkeit zusätzlich. Dementsprechend ist die Positionierung eines Sensors ebenfalls beschränkt.

Grundsätzlich resultiert hieraus die Anforderung, Sensoren mit möglichst geringer Baugröße einzusetzen.

Optische und taktile Sensoren können Innenecken nur bedingt vermessen, da sie entweder selbst die Ecke nicht erreichen, oder die Erreichbarkeit für den Schweißbrenner behindern.

Bei Außenecken oder Außenradien muss der Sensor derart geführt werden, dass eine Sichtbarkeit der Fuge durchgängig erhalten bleibt.

Bei einer ungewollten Kollision zwischen Werkstück und Sensor können Sensorkomponenten zerstört werden.

#### 4.2 Positionstoleranzen

Die Positionstoleranzen, die durch einen Sensor kompensiert werden sollen, stellen eine Überlagerung der Lagetoleranzen des Werkstücks und der Führungstoleranzen der Anlage dar.

Die Lagetoleranzen des Werkstücks ergeben sich aus der Toleranz der Geometrie und den Ungenauigkeiten der Einspannung. Bei komplexen Bauteilen ergeben sich hieraus

- Abweichungen der Fugenmitte
- Abweichungen des Anfangs und des Endes der Fuge
- Kantenversatz
- Winkelabweichungen und
- Spaltweitentoleranzen

Während der schweißtechnischen Verarbeitung komplexer Bauteile kommt ein möglicher Wärmeverzug hinzu.

Die überlagert wirkenden Abweichungen in der Führungsgenauigkeit der Anlage sind von der Achsstellung abhängig. Weit auskragende Brennerhaltungen haben höhere Abweichungen als steife, kurze Achspositionen.

Die Summe dieser Abweichungen soll mit dem Sensor erfasst und kompensiert werden. Da Mess- und Fugestelle für optische und taktile Sensoren nicht übereinstimmen ist eine weitere Kalibrierung notwendig. Dies ist der Abgleich zwischen der Messstelle des Sensors und des TCP (Tool Center Point) des Schweißkopfes.

#### 4.3 Geometrietoleranzen

Wie bereits beschrieben, führen Toleranzen der Bauteilgeometrie und der Bauteillage auch zu einer Variation der Fugengeometrie.

Eine Kompensation der Toleranzen der Fugengeometrie geht über die einfache Nachführung der Schweißposition hinaus. Hierzu ist eine adaptive Prozessführung erforderlich.

Weit verbreitet ist die einfache Vorgehensweise, die natürliche Kompensationsfähigkeit des Schweißprozesses zu nutzen. D. h. der Schweißprozess wird innerhalb eines robusten Prozessfensters betrieben, das die erwarteten Fugentoleranzen abdeckt. Eine Anpassung der Schweißparameter erfolgt nicht.

In einzelnen Fällen ist jedoch bei großen Toleranzen der Fugengeometrie eine Anpassung der Schweißparameter sinnvoll. Zur

adaptiven Regelung der Schweißparameter sind Sensoren nötig, die eine eindeutige Auskunft über die geometrische Abweichung liefern und eine Steuerung der Anlage hinsichtlich der Anpassung der Schweißparameter ermöglichen. Hier sind insbesondere die optischen Sensoren zu nennen, die bei einer Veränderung des Fugenquerschnitts eine mögliche Anpassung des Schweißnahtvolumens erlauben.

#### 4.4 Oberflächenbeschaffenheit

Die Oberflächenbeschaffenheit der Bauteile ist für alle Sensoren relevant.

Optische Sensorsysteme benötigen möglichst gleichmäßige Oberflächen, die nur geringe Veränderungen der Reflexionsverhaltens verursachen. Verschmutzungen, Rost und Beschädigungen der Oberfläche beeinträchtigen die Messgenauigkeit ebenso wie ein Spiegeln der Oberfläche.

Taktile Sensoren werden in ihrer Funktionsfähigkeit ebenfalls von Verschmutzungen aber auch von tiefen, Schneidgraten oder Schweißspritzern beeinträchtigt.

Oberflächenbeläge, die eine Auswirkung auf die Stabilität des Lichtbogens haben, beispielsweise Verschmutzungen unregelmäßige Beschichtungen oder auch korrodierten Oberflächen, haben eine Beeinträchtigung der Signalqualität für Lichtbogensensoren zur Folge.

Technische Oberflächen, die in der industriellen Fertigung zum Schweißen geeignet sind, genügen in der Regel auch den Anforderungen der Sensoren. Im Einzelfall ist der Einfluss auf die Sensorfunktionalität zu überprüfen.

#### 4.5 Fugengeometrien

Bei den bei vorrangig eingesetzten Sensorprinzipien (optische, taktile und Prozesskenngrößen auswertende Sensoren) müssen die Fugengeometrien bestimmte Merkmale aufweisen. Bei den **Lichtbogensensoren** (Prozesskenngrößen auswertende Systeme) muss eine eindeutige Korrelation zwischen einer Änderung des Zustandes und der zugehörigen Position gegeben sein. Wesentlich ist hierbei, dass typischerweise nicht die Fugengeometrie durch den Lichtbogen vermessen wird, sondern die Schmelzbadoberfläche unter dem Lichtbogen. Näherungsweise kann gesagt werden, dass es sich bei den Messwerten um eine Beurteilung der Veränderung des Einbrandprofils handelt, das von einer Schmelzschicht geringer Dicke überdeckt wird.

Bei den **optischen Systemen** ist die kleinstmögliche Auflösung zu beachten. Die Fuge muss eindeutige geometrische Merkmale aufweisen, die innerhalb der Auflösung des Systems präzise zugeordnet werden können. Der Stumpfstoß mit geringster Spaltweite und ohne Kantenversatz ist nach wie vor der problematischste Fall.

Bei den **taktile Sensoren** ist ebenfalls eine eindeutige Referenz einer abzutastenden Bauteilkante zur Fugenposition notwendig. Diese abzutastende Bauteilkante muss nicht zwangsläufig die Fuge selbst sein. Auch hier ist der Stumpfstoß mit Nullspalt oft der schwierigste Fall.

#### 4.6 Schweißpositionen

Insbesondere beim Schweißen in Zwangslage ist das zur Verfügung stehende Prozessfenster zur Kompensation von Bauteiltoleranzen für das Lichtbogenschweißen kleiner. In diesen Fällen wird meist ausschließlich eine Korrektur der Brennerpositionierung durchgeführt. Eine gependelte Schweißbrennerführung wird noch nicht von allen optischen Sensoren unterstützt.

#### 4.7 Werkstoffe (Aluminium, CrNi-Stahl)

Die Lichtbogensensorik beim MIG-Schweißen von Aluminium kann derzeit noch nicht als Stand der Technik betrachtet werden. Für das WIG-Schweißen ist eine Anwendung der Lichtbogensensorik auch bei Aluminiumwerkstoffen möglich. Bei optischen Systemen ist der werkstoffbedingte Reflexionsgrad der Oberfläche zu berücksichtigen. Taktile System sind weitestgehend unabhängig von der Auswahl des Werkstoffes.