

Das Magazin für Schweißtechnik und mehr

Jetzt wird es smart und energiesparend:

Direkt vorlaufende Vorwärmung beim MAG-Schweißen



Tiefeninduktion:

- Leistungsstark
- Energieeffizient
- Kaum Lärm
- Keine Blendung
- Reproduzierbar und risikoarm wärmen
- Keine unkontrollierbar davonlaufenden Oberflächentemperaturen
- Durch die Erzeugungswirktiefe effizient DIREKT VORLAUFEND einsetzbar!



Auf die optimale Kombination kommt es an:

Schneidoptiken für das Laserstrahlschneiden

Seite 16

Fit für die Umnutzung:

Schweißtechnische Sanierung eines Fördergerüsts aus dem Jahr 1956

Seite 33

Vorteile durch sorgfältige Planung:

Kopfbolzenschweißen durch verzinkte Profilbleche

Seite 40

DIREKT VORLAUFENDE VORWÄRMUNG BEIM SCHWEISSEN VON GROSSEN TRÄGERSTRUKTUREN

Kosten und Zeit sparen

Thomas Vauderwange, Offenburg

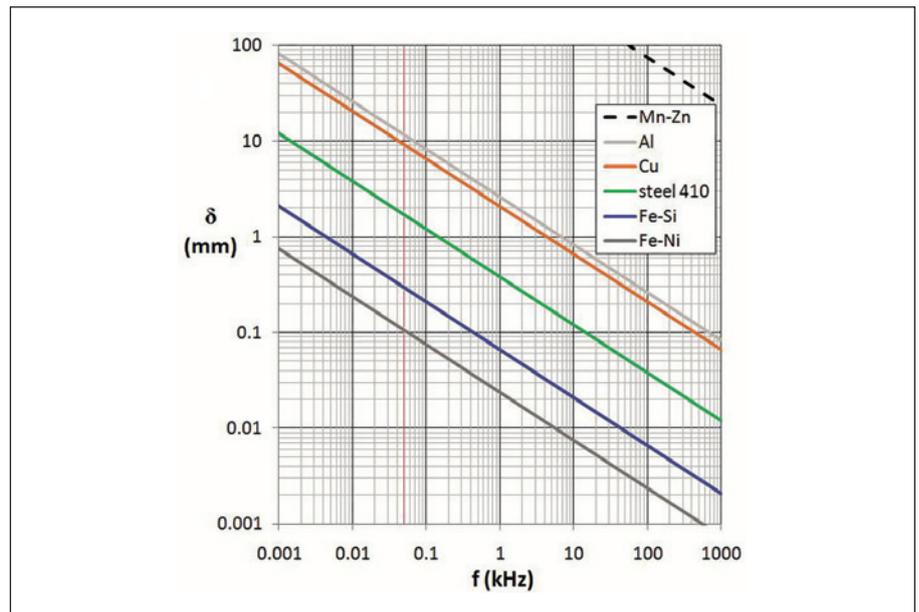
Vorwärmen? Das böse Wort mit „V“? Normalerweise versucht man irgendwie drum herum zu kommen, da es einen deutlichen Mehraufwand an Kosten und Zeit erfordert, aber hier wird gezeigt, dass es so schlimm gar nicht sein muss, da durch eine direkt vorlaufende Vorwärmung mit Tiefeninduktion der zeitliche Zusatzaufwand für die Vorwärmung fast komplett entfällt. Am Fall der Vorndran Metallbau GmbH & Co KG, Kleinwenkheim, wird die Anwendung beschrieben.

Wenn es so weit ist, dass einschlägige Regelungen wie die DIN EN 1011, das SEW 088 oder ähnliche Dokumente für die anliegende Schweißaufgabe eine Vorwärmung auf eine gewisse Temperatur fordern (zum Beispiel 120°C), so kann man sich an die Umsetzung machen. Zunächst einmal ist eine geeignete Wärmequelle zu finden und festzulegen – diese muss in erträglicher Zeit die notwendige Temperatur in einer hinreichend großen Zone so erreichen, dass zum Schweißzeitpunkt kein Risiko mehr besteht, dass durch zu hohen Wärmeabfluss eine zu schnelle Abkühlung erfolgt. Denn derlei – festzumachen an der Abkühlzeit von 800°C auf 500°C (die sogenannte $t_{9/5}$ -Zeit) – würde zu Aufhärtung und damit einhergehender Zähigkeitsverminderung führen, was der Gebrauchstauglichkeit des Produkts im Regelfall abträglich ist.

Brenner als Wärmequellen sehr verbreitet

Als Wärmequellen sind Brenner sehr verbreitet, die entweder nur mit einem Brenngas (Erdgas, Propan, ...) oder aber mit einem sauerstoffverstärkten Brenngas als Autogenflamme (Acetylen-Sauerstoff, Propan-Sauerstoff, Erdgas-Sauerstoff, ...) das Werkstück auf Temperatur bringen sollen. Beim Einsatz eines Brenners lohnt sich übrigens der Blick auf die folgenden Details:

1. Wie viel Wasser entsteht beim Verbrennungsprozess pro erzeugter Wärmeenergie? Bei einem Schmelzschweißprozess gibt es kaum etwas Schlimmeres als selbst minimale Spuren von Wasser im Bereich des Lichtbogens, denn die zwangsläufige, „versehentliche“ Aufspaltung des Wassermoleküls resultiert in Wasserstoffkernen, die so klein sind, dass sie nicht einmal bemerken, dass sie aus der Atmosphäre (Gas-moleküle Stickstoff, Sauerstoff, eventuell



▲ Bild 1. Abhängig von der Arbeitsfrequenz der Induktion entwickelt sich gemäß der Literatur die Stromtiefe. Mit einem Stahl (grüne Linie) ist bei 15,8 kHz nur eine Stromtiefe im Zehntelmillimeterbereich zu erwarten.

Schutzgas) auf einmal in das Kristallgitter des Metalls geraten sind. Die Folge ist erst längere Zeit nach dem Abkühlen die Rekombination von aufeinander treffenden Wasserstoffkernen zu molekularem Wasserstoff H_2 – mit erheblicher Sprengwirkung. Je nach Werkstoff sind vor allem bei Feinkornstählen die gefürchteten Kaltrisse die Folge, möglicherweise erst nach Tagen. Wenn also mit der Flamme gearbeitet wird, dann ist zu beachten, dass bei einer Acetylen-Sauerstoff-Flamme die Menge an Wasser pro erzeugter Wärmemenge relativ gering, mit erdgasbetriebenen Flammen schon mehr und mit Propan oder Propan-Sauerstoff am höchsten ist.

2. Was ist mit der Maximaltemperatur während des Wärmeprozesses, und wie lange dauert dieser? Handelt es sich „nur“ um

einen Baustahl S235, so hält dieser thermisch viel aus, ohne dass allzu viel passiert, das mag sein. Ein Blick in die typische Wärmeinflusszone einer zu heiß gewordenen Schweißung mit dem betreffenden Werkstoff zeigt, was schlimmstenfalls passieren wird, sofern man den Werkstoff nicht gar anschmelzt, was bei Flammentemperaturen deutlich über der Schmelztemperatur des Werkstoffs passieren könnte. Generell hilft als Faustregel, dass man mit Vermeidung optischen Glühens beim manuellen Vorwärmen mit der Flamme eine gewisse Sicherheit gegen Schädigungen gewinnt – wenn es sich nicht gerade um einen vergüteten Werkstoff handelt, bei dem das Überschreiten seiner Anlass-temperatur (und die kann auch nur 180°C betragen) bereits zu Einbußen bei der



▲ Bild 2. Feldstärkemessung zur Überprüfung der Grenzwerte der DGUV V15



▲ Bild 3. Die hier beschriebene direkt vorlaufende Vorwärmung wurde mit dem Tiefeninduktionsgerät „VauQuadrat V4“ mit bis zu 18 kW Induktionsleistung der Firma Vorndran ausgeführt (Stromanschluss: 3 × 400 V/32 A inklusive Wasserkühlung).

Festigkeit führen wird; oder aber, wenn es nicht wie im Fall von Duplexstählen wie dem 1.4462 Temperaturen unterhalb des sichtbaren Glühens gibt, bei denen nach gewisser Einwirkzeit eine Versprödung eintritt. Dies ist eine ganz reale Gefahr in Form beispielsweise der „475°C-Versprödung“. In Summe ist fachgerechtes Vorwärmen mit dem Brenner sicher möglich, nur ist im Sinne werkstoffschonenden Vorgehens die Oberflächentemperatur (die natürlich die Wärmeleitung in die Tiefe beschleunigen könnte) unter Kontrolle zu halten.

- Wie sieht es mit den Gesamtkosten im Vergleich verschiedener Gassorten aus? Hier nur der Hinweis, dass der reine Blick auf die Kosten einer gewissen Menge des Brenngases im Vergleich zu einem andern Brenngas durchaus irreführend sein kann. So ist beispielsweise Propan für relativ wenig Geld zu haben. Da dort allerdings erheblich mehr Sauerstoff zur Erzeugung einer gewissen Wärmeenergie gebraucht wird, wird hier der Sauerstoff zum Kostentreiber – davon wiederum braucht man beim teureren Brenngas Acetylen deutlich weniger. Wenn man dann sieht, dass gleichzeitig weniger Wasser aus der Verbrennung entsteht, sieht der scheinbar so eindeutige Kostenvergleich zu Gunsten des Propan schon gar nicht mehr so eindeutig aus.

Von der Vorwärmung des gesamten Bauteils in einem Ofen einmal abgesehen, die energetisch in Summe nicht gut wegkommt, aber in Einzelfällen notwendig ist, bleiben beispielsweise Heizdecken, in denen Wärme über ohmsche Verluste an einem Heizelement entsteht und bei deren Anwendung die Wärme erst über einen Wärmeübergang in den Werkstoff und dann über Wärmeleitung in die Tiefe muss. Der Vorteil: ein quasi komplett risikofreier Wärmeprozess, bei dem sich die Maximaltemperatur gut unter Kontrolle halten lässt. Der Nachteil: das dauert. Und wie beim Ofen sind die nur schwer vermeidbaren Verluste sehr hoch.

Induktion – eine Frage der Wirtiefe

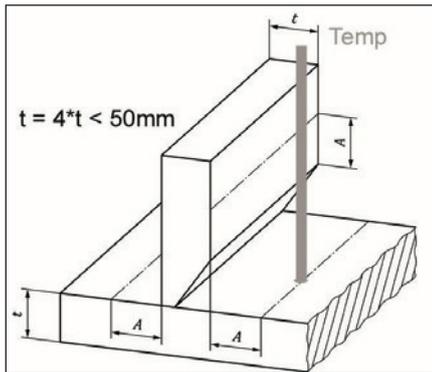
Bleibt das Thema Induktion. Hier hat man üblicherweise die Wahl, ob man mit niedriger Frequenz und damit großen Streu- und Gefahrenbereichen eine gewisse Erzeugungswirtiefe hat oder aber mit höherer Frequenz oder der sich selbst anpassenden Resonanzfrequenz die Wärme quasi nur im oberen halben Millimeter entstehen lässt (Bild 1).

Generell zum Thema Arbeitsschutz empfiehlt sich da ein Blick in die Unfallverhütungsvorschrift 15 „Elektromagnetische Felder“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (<https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/1058>), die kostenfrei im Internet heruntergeladen werden kann, der QR-Code am Ende des Beitrags erleichtert den

Aufruf via Smartphone. Speziell bei Anordnungen, bei denen es eine getrennte Stromzu- und -ableitung gibt oder bei denen ein Bauteil ganz umwickelt wird, ergeben sich teilweise metergroße Gefahrenbereiche. Da nicht jeder ein Feldstärkemessgerät (Bild 2) hat, wäre es an dieser Stelle eine gute Idee, sich an die Spezialisten der jeweiligen Berufsgenossenschaften zu wenden.

Mit Hochfrequenz- und Resonanzinduktion ist das Problem der Gefahrenbereiche typischerweise geringer – obwohl bei entsprechenden Billiggeräten auch da schon erstaunliche Grenzwertüberschreitungen feststellbar waren. Im Gegenzug wirkt die Leistung aber quasi rein oberflächlich, was zwar eindrucksvoll aussieht, aber gerade beim Thema Vorwärmen dazu führt, dass bei fachgerechter Leistungsbegrenzung ohne davonlaufende Oberflächentemperaturen der Prozess ähnlich langsam wie mit dem Brenner wird. Das Problem der mangelnden Erzeugungswirtiefe ist nicht durch eine Temperaturregelung irgendeiner Art zu lösen.

Nun hat der Autor dieses Beitrags in der Zeitschrift „Der Praktiker“ schon häufiger von der Technologie der „Tiefeninduktion“ geschrieben, die für sich in Anspruch nimmt, bei geringen Streufeldern und richtiger Anwendung des Induktors deutlich mehr Erzeugungswirtiefe zu haben, als das die Nomogramme zur Stromeindringtiefe in der Literatur bei der verwendeten Arbeitsfrequenz von



▲ Bild 4. Auf Basis der Abbildung in der DIN EN ISO 13916:2018 ist hier in grau die Position eines Temperaturfühlers gezeigt.

15,8 kHz vermuten lassen. **Bild 3** zeigt ein entsprechendes Gerät. Mit dieser Technologie eröffnen sich zum Thema Vorwärmen neue Perspektiven, die mit rein oberflächlich wirksamen Wärmemethoden wie dem Brenner oder Resonanzinduktion nicht oder nur mit enormem apparativem Aufwand realisierbar wären.

Vorwärmen in den Fügeprozess integrieren

Um Zeit und Kosten zu sparen, geht es darum, das Vorwärmen nicht mehr als separaten Prozess zu haben, sondern in den eigentlichen Fügeprozess zu integrieren. Um die Größe dieser Aufgabe erfassen zu können, erfolgt hier ein Blick in vorhandene Regularien zum Thema. Die DIN EN ISO 13916 ist die Norm, die sich mit der Messung der Vorwärmtemperatur befasst. Die Norm fordert, die Vorwärmtemperatur auf der dem Werker zugewandten Seite in einer Entfernung von dem Vierfachen der Blechdicke, jedoch höchstens 50 mm, festzustellen (**Bild 4**). Wichtig: Der in diesem Zusammenhang sinnvollerweise hinzuzufügende Teil „...die Temperatur auf der erwärmten Seite zu dem Zeitpunkt festzustellen, wenn nach Entfernen der Wärmequelle, unter Berücksichtigung der Dicke des Grundwerkstoffes, ein Temperaturausgleich stattgefunden hat.“ (DIN EN ISO 13916, Abschnitt 4.1) steht in der Norm nur in dem Abschnitt, der sich mit Werkstoffen von mehr als 50 mm Dicke befasst. Eine früher geforderte, generelle Wartezeit von 30 s nach Wärmeende ist zwar noch in vielen Köpfen, aber wird so explizit nicht mehr gefordert.

Warum kann das problematisch sein? Weil bei Blechdicken jenseits von etwa 20 mm auf jeden Fall das Risiko besteht, dass eine rein oberflächlich wirkende Wärmequelle einen



◀ Bild 5. Petrus Dallmer-Zerbe (rechts), Schweißaufsicht bei Vorn dran, und Detlef Zimmermann, Schweißer und Schweißfachmann, der bei der Doppelschweißung mit vorlaufender Vorwärmung einen der MAG-Schweißbrenner geführt hat



▲ Bild 6. Der hier beschriebene Träger ist Teil der neuen Dachkonstruktion der Schwimmbadsanierung.

in 50 mm Entfernung platzierten Temperatursensor in kürzester Zeit auf die gewünschte Zieltemperatur bringt, obwohl in der Tiefe des Bauteils noch eine viel niedrigere Temperatur herrscht. Und das wiederum wäre genau die „Kältetasche“ unter der zu erstellen Schweißnaht, die zu beschleunigter Abkühlung und damit zu erhöhten Härtewerten führt. Ebenfalls wünschenswert wäre in der Norm der praxisorientierte Rat, bei Verbindungen mit unterschiedlichen Blechdicken die vorgegebene Regel immer am dickeren Blech anzuwenden, im Beispiel von **Bild 4** also am Grundblech und nicht an dem durch die Anarbeitung geschwächten Stegblech.

In jedem Fall gilt es zu erkennen, dass sich diese Norm zu keinem Zeitpunkt mit den Temperaturen und sonstigen Verhältnissen während des Wärmens befasst. Dort liegt also alles entweder in Verantwortung eines

gegebenenfalls vorhandenen, branchenspezifischen Regelwerks – oder aber in Verantwortung des jeweiligen Ausführungsbetriebs. Der weitest verbreitete Ansatz in der Praxis ist es aber, dass ein separater Vorwärmprozess abläuft, bis zufriedenstellende Temperaturen erreicht sind. Danach würde dann erst der Schweißvorgang beginnen. Das ist zwar organisatorisch der einfachere Weg, wie man sich aber vorstellen kann, ist es auch der energetisch aufwendigste, von der erheblichen Arbeitszeit abgesehen.

Praxisbeispiel Dachstruktur Erlebnisbad

Hier setzt nun die Besonderheit an, von der es in dieser Reportage zu berichten gilt. Dazu begeben wir uns vor Ort zur Firma Vorn dran Metallbau GmbH & Co KG ins unterfränkische Kleinwenkheim, gut 30 km nördlich von Schweinfurt neben der Autobahn A71 gelegen.

I - Abteilung		II - Ausführungsklasse		III - Werkstoff	
X	STAHLBAU		EXC - 1	X	S235JR - DIN EN 10025-2
	METALLBAU	X	EXC - 2	X	S355J2+N - DIN EN 10025-2
	ANLAGENBAU		EXC - 3		1.4301 - DIN EN 10088
	ALUBAU		keine		1.4571 - DIN EN 10088
IV - Schweißnähte		Bewertungsgruppe: ISO 5817		C	Formblatt - FB3.8-01
WPS-Nr.:			Schweißtechnisch geprüft		
Schweißprozess	Schweißzusatz	Schutzgas			
X	135 (MAG)	G42 4 M21 G35i1-ISO 14341	M21 (Igu mix 18, Igu mix C8) - ISO 14175		
	135 (MAG)	G 19 12 3 Nb - ISO 14343	M12 (Igu mix C2) - ISO 14175		
	141 (WIG)	W 19 12 3 Nb - ISO 14343	1 1 (Ar 4 6) - ISO 14175		
	141 (WIG)	W AlMg5 - ISO 18273	1 1 (Ar 4 6) - ISO 14175		
	111 (E-Hand)	E 38 2 RB 12 (Citorex)			
Soweit nicht angegeben: Kehlnähte a=4 mm uml. / Stumpfnähte: L< 5mm ->V-Naht; L> 6mm ->HY-Naht s=5 mm					
V - Korrosionsschutz / Oberfläche		Formblatt - FB3.4.10-01			
	Vorbereitung - EN 1090	Schleuderstrahlen SA 2,5			
X	Feuerverzinkung - ISO 1461	DAST 022 - Vertrauenszone: 1			
X	Grundbeschichtung - ISO 12944	80my			
X	Zwischenbeschichtung	80my			
X	Deckbeschichtung	80my RAL7016 sm			
	Pulverbeschichtung / Eloxal				
	VA geschliffen Korn 240				
	VA glasperlengestrahlt				
		 VORNDRAN Metallbau GmbH & Co KG Vordranweg 8 97702 Mümmerstadt EN 1090-1 Zertifikat 0036 CPR 1090-1 0008b Zertifikat 0036 CPR 1090-1 00087			

▲ Bild 7. Das Zeichnungsfeld gibt für den herzustellenden Träger den Herstellungsweg inklusive Korrosionsschutz an.

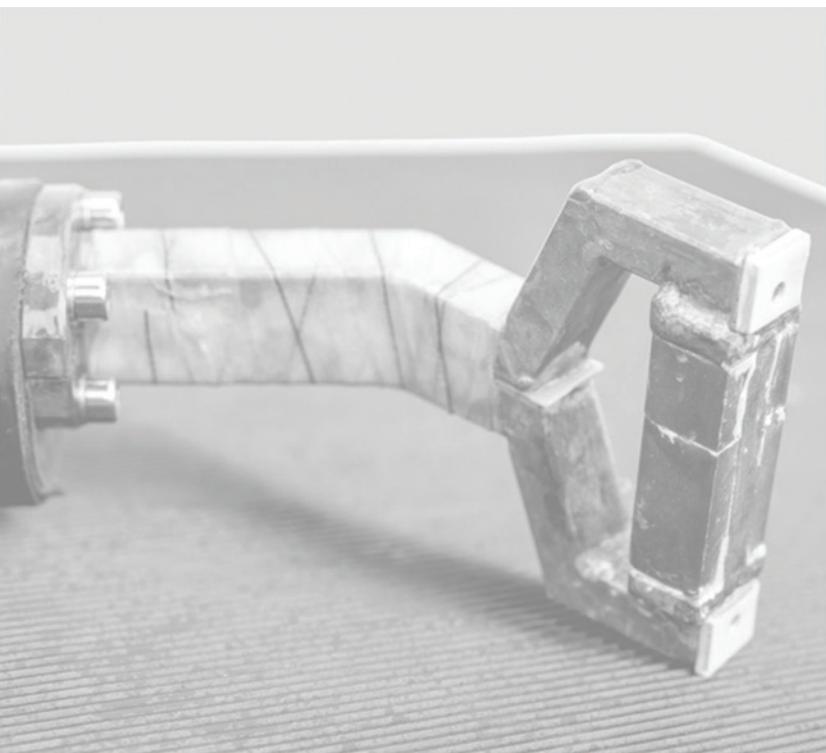
Dort stellt uns Petrus Dallmer-Zerbe (Bild 5), Bauingenieur und Schweißfachingenieur, ein spannendes Projekt vor. Im Wesentlichen geht es um die Grundsanierung eines Erlebnisbads (Bild 6). Die neue Dachstruktur besteht aus großen Trägern, die aus Blechzuschnitten zusammengeschweißt werden.

Der hier näher betrachtete Träger besteht aus S355J2+N der Dicke 40 mm in Ober- und Untergurt sowie der Dicke 20 mm im Steg. Auf der Zeichnung ist der Träger eingruppiert im Ausführungsregelwerk DIN EN 1090, Ausführungsklasse 2 (EXC 2). Für die Schweißnähte wird die Bewertungsgruppe C der DIN EN ISO

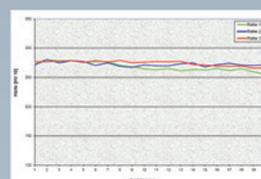
5817 gefordert. Bild 7 zeigt das Zeichnungsfeld, in dem richtigerweise für den Träger die Angaben nicht nur zum Schweißen, sondern auch für den Korrosionsschutz stehen – die DIN EN 1090 betrachtet die Herstellung dahingehend gesamtheitlich.

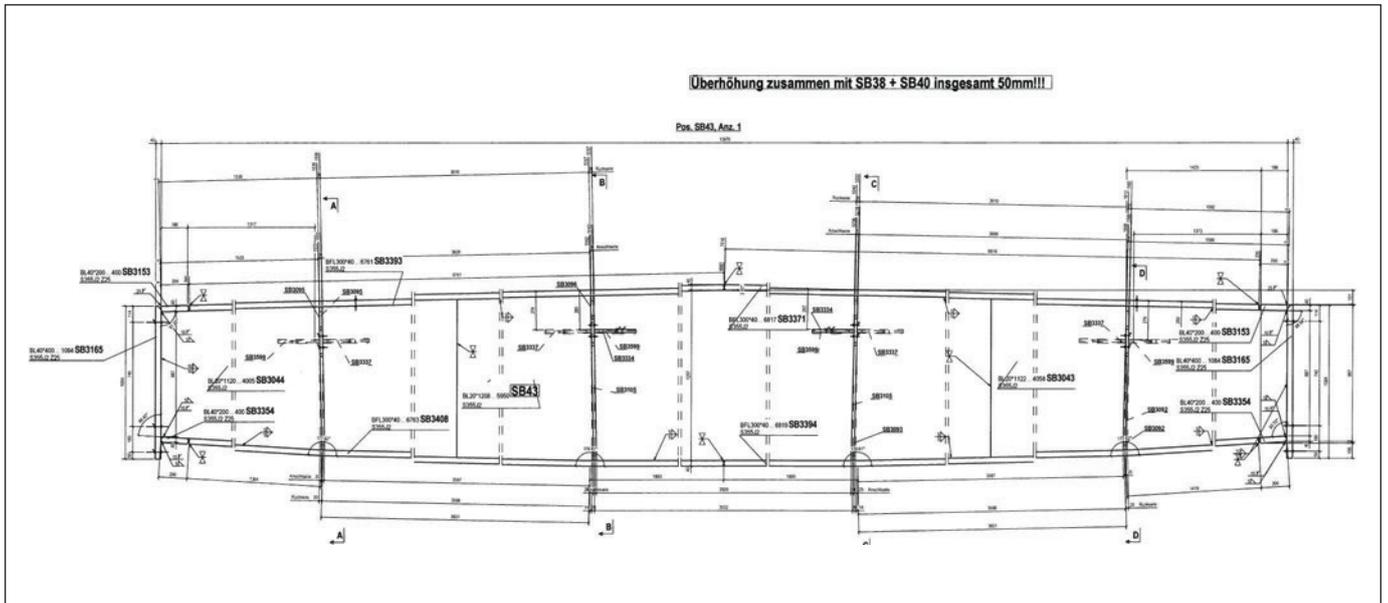
Die Besonderheit besteht darin, dass über die komplette Länge eine Überhöhung von 50 mm entsteht, wie in Bild 8 erkennbar ist. Dies wird dadurch erreicht, dass der Steg keinen Rechteck-Zuschnitt bildet, sondern mit seinen Ober- und Unterkanten genau die gekrümmte Linie hat, die danach dazu führt, dass die Ober- und Untergurtbleche nicht mehr gerade liegen, sondern leicht durchgebogen sind. 50 mm auf 14 m sind aber andererseits eine so geringe Durchbiegung des Gurtblechs, dass es sich lokal betrachtet für den Schweißprozess jeweils so ausnimmt, als sei es ein normaler, gerader T-Stoß. Die Tatsache, dass die Überhöhung des Obergurts vom Untergurt symmetrisch nach unten mitgemacht wird, dürfte an dieser Stelle gestalterische Gründe haben.

Von Interesse ist hauptsächlich der T-Stoß zwischen Steg und Gurt auf der Gesamtlänge des Trägers von 14 m, bestehend aus zwei einlagig geschweißten Kehlnähten mit einem a-Maß von jeweils 5 mm. Die beiden Kehlnähte sollen von zwei Schweißern manuell simultan rechts und links geschweißt werden. Geschweißt wird mit Prozess 135 nach DIN



Von Hand, mechanisiert oder gar automatisiert. Zum thermischen Richten, Vorwärmen, Enthärten von Schnittkanten, Entzinken. Mit etwas Anwendungs-knowhow auch an Feinkornstählen fachgerecht ohne Materialschädigung! Sonst wär's ja normale Induktion.





▲ Bild 8. Ausschnitt aus der Übersichtszeichnung des Trägers

EN ISO 4063 „Metall-Aktivgasschweißen mit Massivdrahtelektrode.“ Zum Einsatz kommen Schweißgeräte der Lorch-„S-Serie“.

Die zugrunde liegende Schweißanweisung LWPSA007S2, in diesem Fall bereitgestellt vom Schweißgerätehersteller, schreibt bei dem Zusatzwerkstoff G3Si1 (nach DIN EN ISO 14341-A) mit einem Drahtdurchmesser von 1,2 mm und einer Drahtfördergeschwindigkeit von 8,8...10,4 m/min einen Strombereich

von 274...290 A, einen Spannungsbereich von 30,8...31,8 V und eine Verfahrgeschwindigkeit von 29...34 cm/min vor. Entsprechend kommt es zu einer Streckenenergie im Bereich von 14,9...19,1 kJ/cm, und der Werkstoffübergang findet im Sprühlichtbogen statt. Ebenfalls vorgegeben ist eine um 10° stechende Brennerführung. Als Schutzgas kommt die übliche Mischung aus 82% Argon und 18% CO₂ zum Einsatz, bekannt als M21 entsprechend der

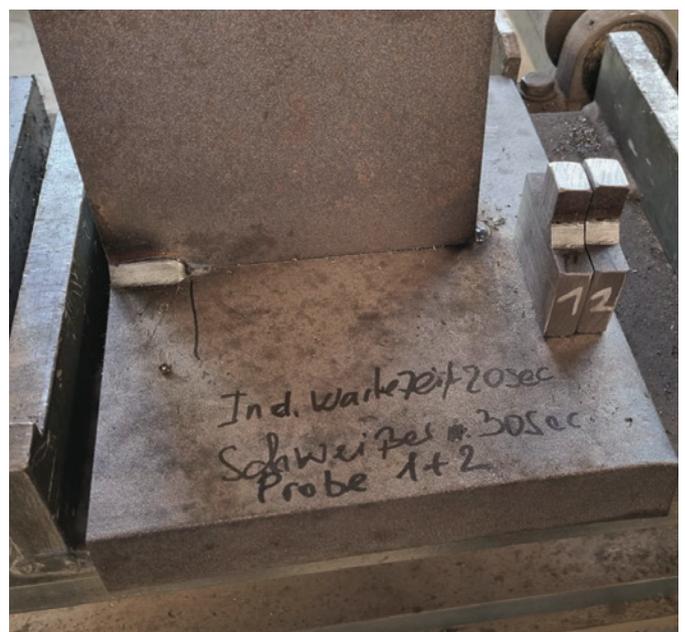
Nomenklatur der DIN EN ISO 15175. Davon soll ein Fluss im Bereich von 13...14 l/min vorherrschen.

Induktor an Schweißtraktor angekoppelt

Schweißaufsicht Petrus Dallmer-Zerbe berichtet: „So weit, so gut – bis hierhin kam man ohne allzu viel eigenes Zutun. Nun aber war die Frage der Vorwärmung bei den großen Blechstärken zu klären. Mit den Angaben zu



▲ Bild 9. Der Gesamtaufbau: Unten und etwa 15 cm der ersten Schweißposition vorlaufend befindet sich der Magnettraktor mit dem 60-mm-Induktor des Tiefeninduktionsgeräts. Ebenfalls gut zu sehen sind die zwei Führungsstangen des Traktors, mit denen dieser um die Kante des Untergurts greift und damit die Richtung hält.



▲ Bild 10. Zur Qualifizierung der Schweißung mit vorlaufender Vorwärmung wurde mit solchen Probestücken eine fertigungsnahe Arbeitsprobe hergestellt und extern untersucht.



▲ Bild 11. So sieht die fertige Doppelnaht im Schliffbild der Arbeitsprobe aus.

Material aus dem Zeugnis 3.1, der Blechstärke und Schweißparametern sind wir in Diagramme der DIN EN 1011-2 gegangen und haben für das 40-mm-Blech eine Vorwärmtemperatur von 113°C ermittelt. Für das Stegblech mit 20 mm wurde gar keine Vorwärmung gefordert. Da wir uns ein paar Monate zuvor ein Tiefeninduktionsgerät angeschafft hatten, war die Überlegung, mit diesem der Schweißung vorlaufend von unten vorzuwärmen – gleichzeitig bequem von oben zu schweißen. Nach Rücksprache mit dem Hersteller und dem Tipp, den Induktor an einen vorhandenen Magnet-Schweißtraktor anzukoppeln, war nur noch etwas Verkabelung nötig, damit die Leistungsabgabe nicht vom Triggertaster aus, sondern vom Traktor aus passiert, solange dieser fährt.“

Bild 9 zeigt den Gesamtaufbau. Unter dem Untergurt hängt der Magnettraktor mit dem Induktor, der in einem konstanten Abstand von etwa 2 mm über dem Untergurt „schwebt“. In der Startposition wird zunächst für etwa 20 s Grundwärme eingebracht, dann fährt der Traktor los. Von oben her ist der Schweißer auf der einen Seite gut sichtbar, der dem Induktor etwa 15 cm „Vorsprung“ lässt. Direkt gegenüber und auf dem Bild nicht zu sehen ist sein Kollege leicht nach hinten versetzt mit dem Schweißen der identischen Raupe von der Gegenseite beschäftigt.

Detlef Zimmermann (**Bild 5**), Schweißfachmann bei Vorndran und einer der beiden Ausführenden, berichtet: „Ich habe schon viele Schweißungen in dieser Art gemacht. Neu war die Vorwärmung vom Traktor auf der Unterseite mit der Induktion. Das hatte für uns

Schweißer den Vorteil, dass es keinen Lärm und keine Abgase gab. Außerdem strahlt so ein Träger bei Vorwärmung mit der Flamme viel mehr Hitze ab. Das war so schon wesentlich angenehmer.“

„Wir haben unser Verfahren gefunden“

Die entscheidende Frage ist: Woher weiß man denn nun, ob mit der direkt vorlaufenden Vorwärmung genügend Wärme ins Bauteil kommt? Dallmer-Zerbe: „Wir haben an dieser Stelle das gemacht, was wir immer bei einer für uns neuen fägetechnischen Aufgabe machen – eine sogenannte fertigungsnaher Arbeitsprobe, also eine Art repräsentativen Ausschnitt der späteren Geometrie: einen T-Stoß von einem 40 mm dicken Blechstück unten und einem aufgeschweißten Stück Blech mit 20 mm Dicke. Natürlich wurde derselbe Werkstoff verwendet wie beim realen Bauteil.“ **Bild 10** zeigt den Aufbau der Arbeitsprobe. Das Werkstück dazu ist etwa 300 mm lang, sodass man mit ähnlichen Wärmeverhältnissen wie beim Originalbauteil rechnen kann.

„Mit solchen Probestücken konnten wir mit wenig Aufwand die Führung des Induktors und danach ein kurzes Stück Schweißnaht so ausprobieren, dass die Naht zunächst einmal optisch keine Auffälligkeiten mehr zeigt. Dann haben wir uns für zwei Kombinationen von vorheriger Induktorwirkungszeit und Abstand des ersten Schweißers zum Induktor entschieden. Diese beiden Werkstücke haben wir zu einer externen Auswertung geschickt, für Härtereihen und Schliffauswertungen (**Bild 11**). Nachdem der einen Konfiguration die Bewertungsgruppe B attestiert worden ist (nur eine winzige Pore und nur ganz vereinzelte Ausreißer im Härteverlauf), hatten

wir unser Verfahren gefunden. Und genau so haben wir das umgesetzt. Der Traktor mit seiner konstanten Geschwindigkeit hat quasi zeitlich die Richtung vorgegeben, und die beiden Schweißer konnten die 30 cm/min problemlos umsetzen. Schon nach dem zweiten Träger war das Routine.“

Energie und Kosten im Vergleich

Auch hier folgt zum Schluss wieder eine vergleichende Betrachtung der aufgewandten Energie und deren Kosten. Auf die 14 m Länge des Trägers war das Tiefeninduktionsgerät bei einer Schweißgeschwindigkeit von 30 cm/min für eine Dauer von 47 min (also 0,78 h) im Leistungsbetrieb. Die durchschnittliche Leistungsaufnahme war dabei etwa 16 kW, was zu einem Gesamt-Energieverbrauch ($E = P \cdot t$) an Strom für die Vorwärmung führt von

$$E = 16 \text{ kW} \cdot 0,78 \text{ h} = 12,48 \text{ kWh.}$$

Wohlgermerkt: Diese Werte entnimmt man im Zweifelsfall einfach einem in die Zuleitung des Geräts gesteckten Strom-/Leistungszähler, und die erfasste Durchschnittsleistung von 16 kW schließt Pumpe, Kompressorkühlung und Steuerung ein. Nun sind die Stromkosten derzeit eher hoch, aber mit 50 ct/kWh dürften Anwender auf jeden Fall hinkommen. In Summe ergeben sich also etwa 6,24 Euro an Stromkosten für die gesamte Vorwärmung der Längsnähte des Trägers.

Vergleichsweise versuchte Vorndran die gleiche, direkt vorlaufende Vorwärmung mit einem großen Acetylen-Sauerstoff-Brenner. Prinzipiell realisierbar, vergeht in der Startphase mehr Zeit, bis genügend Temperatur auf der Gegenseite erreicht ist, und in der Originalgeschwindigkeit

des Schweißprozesses hat man Mühe mitzuhalten, wenn nicht gerade oberflächlich Gelbglut (1000°C und mehr) riskiert wird.

So ergibt sich eine Brennzeit von etwa 55 min (0,92 h). Der verwendete Brenner ist ein „Griffam FB-A8“ des Herstellers Messer Cutting Systems. Aus dessen Katalog stammt auch die Übersichtstabelle in Bild 12, entsprechend der beim Verhältnis 1,1:1 ein Verbrauch von etwa 2,5 m³/h Acetylen und 2,75 m³/h Sauerstoff abgeschätzt wird.

Für den reinen Energieaufwandsvergleich reicht es aus, den Energieinhalt von Acetylen zu betrachten. Dieser ist 57.120 kJ/m³ = 57.120 kWs/m³ = 15,87 kWh/m³. Mit einer Nutzungsrate von 2,5 m³/h ergibt sich zuerst eine Bruttoleistung des Brenners durch Multiplikation des Energieinhalts mit der Nutzungsrate:

$$P = 15,87 \text{ kWh/m}^3 \cdot 2,5 \text{ m}^3/\text{h} = 39,68 \text{ kW.}$$

Die Bruttoleistung des Brenners ist also fast zweieinhalb mal höher als die des Tiefeninduktionsgeräts. Bei der Nutzungszeit von 0,7 h ergibt sich der Gesamtverbrauch zu:

$$E = P \cdot t = 39,68 \text{ kW} \cdot 0,92 \text{ h} = 36,5 \text{ kWh.}$$

Auf dieser Ebene besteht also ein Energieverbrauchsverhältnis von 2,7:1. Was bedeutet das nun für die Kosten? Angenommen werden auf Basis der Daten im Internet auf www.lindegas.de 100 Euro pro Acetylenflaschenfüllung

Betriebsdaten für Gasart: Acetylen (A) / Sauerstoff					Technische Daten		
Typ	Druck [bar]		Verbrauch [m³/h]		Düsenanschluss	Länge [mm]	
	Sauerstoff	Acetylen (A)	Sauerstoff	Acetylen (A)		Düse	Einsatz kpl.
Passend für Griffstück Typ STARLET: * Mischrohr aus Edelstahl							
FB-A 5*	2,5 - 4,0	min. 0,5	0,5 - 0,9	0,5 - 0,8	M12x1,5	47	430
FB-A 6*	2,5 - 4,0	min. 0,5	0,9 - 1,6	0,8 - 1,5	M12x1,5	47	430
FB-A 7*	2,5 - 4,0	min. 0,5	1,2 - 2,2	1,1 - 2,0	M14x1,5	54	580
FB-A 8*	2,5 - 4,0	min. 0,5	1,8 - 2,8	1,6 - 2,6	M14x1,5	54	580
Passend für Griffstück Typ STAR: * Mischrohr aus Edelstahl							
FB-A 5	2,5 - 4,0	0,2	0,75 - 1,10	0,68 - 1,00	M12x1,5	47	310
FB-A 6	2,5 - 4,0	0,2	1,15 - 1,66	1,05 - 1,50	M12x1,5	47	325
FB-A 7	2,5 - 4,0	0,2	1,63 - 2,30	1,48 - 2,10	M14x1,5	54	390
FB-A 8	2,5 - 4,0	0,4	2,30 - 3,32	2,10 - 3,00	M14x1,5	54	410
FB-A 9	2,5 - 4,0	0,4 - 0,7	3,90 - 5,50	3,55 - 5,00	M18x1,5	61,5	675
FB-A 9*	2,5 - 4,0	0,4 - 0,7	3,90 - 5,50	3,55 - 5,00	M18x1,5	61,5	940
FB-A 10	3,0 - 4,0	0,6 - 0,7	4,50 - 6,10	4,10 - 5,50	M18x1,5	61,5	675
FB-A 10*	3,0 - 4,0	0,6 - 0,7	4,50 - 6,10	4,10 - 5,50	M18x1,5	61,5	1140
Andere Baulängen auf Anfrage.							
Artikel-Nummern für Einsätze und Düsen FB-A auf der folgenden Seite.							Inhalt

▲ Bild 12. Dem Katalog des Brennerherstellers können die Daten zum Gasverbrauch entnommen werden. (Bilder: Wikimedia Commons, gemeinfrei (1), VauQuadrat GmbH (2 bis 11), Katalog Messer Cutting Systems (12))

50 l/10 kg und 90 Euro pro Sauerstoffflaschenfüllung 50 l bei 200 bar. Es errechnet sich über die volumetrischen Energieinhalte ein Gesamtpreis in der Größenordnung von 1,60 Euro/kWh. Eine Wärmestraße mit Acetylen-Sauerstoff hätte also etwa 58,40 Euro gekostet, also mehr als das Achtfache im Vergleich mit der Tiefeninduktion. Da einem jede volle Betriebsstunde eine Energiekosteneinsparung von etwa 55 Euro einbringt, braucht es 491 Betriebsstunden, um ein Invest in ein solches Gerät von etwa 27.000 Euro zu amortisieren. Bei zwei Stunden pro Tag wäre das also in knapp über einem Jahr passiert.

Nun kann wahrscheinlich davon ausgegangen werden, dass ein wirklich großer Betrieb, der Gas und Sauerstoff aus großen Tanks bezieht, deutlich weniger bezahlt. Dieser wird aber wahrscheinlich auch auf mehr Nutzungsstunden pro Jahr kommen. Spätestens in zwei Jahren sollte die Amortisation über die Energiekosten aber funktioniert haben, zumal wegfallende oder vereinfachte Überprüfungs- und Instandhaltungskosten für die Gasversorgung ebenfalls zu Buche schlagen. Gerade bei einer mechanisierten Lösung wird eventueller Reparaturaufwand für heruntergefallene und instand zu setzende Induktoren sich höchstens in der Größenordnung bewegen, die man bei der Autogenflamme für Ersatz und Reparatur von Brenner, Schläuchen und Sicherheitselementen aufwenden muss. Unerwähnt sollte im Jahr 2023 nicht bleiben, dass der verminderte Energieverbrauch auch mit einem drastisch verkleinerten CO₂-Fußabdruck daherkommt, selbst dann, wenn man den Strom nicht selbst auf dem Dach mittels Photovoltaik erzeugt. ■



Dipl.-Ing. Thomas Vauderwanke MBA (SFI/IWE), Geschäftsführer, VauQuadrat GmbH, Offenburg, tv@vauquadrat.com

INFO

Links zu Video und Arbeitsschutzvorschrift

Der gezeigte Schweißprozess mit Vorwärmung durch mechanisierte, vorlaufende Tiefeninduktion ist in einem Video festgehalten und mit dem linken QR-Code erreichbar – einfach mit dem Smartphone scannen. Der rechte QR-Code enthält den Link zur DGUV-Vorschrift 15.

