Schweißen im Schiffbau und Ingenieurbau Tagungsband zur 5. Sondertagung 31. März und 1. April 2004 | Hamburg







Verarbeitung von höchstfesten Feinkornstählen und Schadensfälle

Peter Gerster

GERSTER ENGINEERING CONSULTING · Kapellenstraße 173 · D-89584 Ehingen/Donau

Telefon: +49 (0) 73 91 / 75 76 21 · Telefax: +49 (0) 73 91 / 75 76 17

E-Mail: gersterp@aol.com

1. Entwicklung hochfester Feinkornstähle

Ständig steigende Anforderungen wie Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Zähigkeit, bis hin zu höchsten Festigkeitswerten bei guter Schweißeignung, trieben die Entwicklung der Feinkornstähle immer weiter voran

Durch den Einsatz optimierter Sekundärmetallurgie sowie der Vakuumentgasungstechnik konnten die Gehalte unerwünschter Begleitelemente wie zum Beispiel Schwefel, Phosphor, Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff soweit reduziert werden, dass sich immer optimalere Werkstoffwerte einstellen ließen. Beispielsweise können heute Stähle mit definierten Schwefel- und Stickstoffgehalten von nur wenigen ppm hergestellt werden.

Heute wird bereits der wasservergütete Feinkornstahl mit einer Streckgrenze von 1100 N/mm² (S1100QL) im Autokran verwendet.

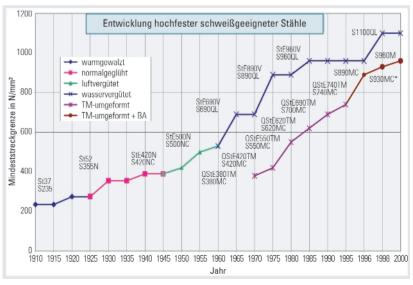


Abb. 1: Stablentwicklung

Durch die Weiterentwicklung der thermomechanischen Walztechnik in Verbindung mit einer nachfolgenden Intensivkühlung und anschließender Anlassbehandlung bewegen sich neueste Entwicklungen bei TM-Stählen bis hin zu Streckgrenzen von 960 N/mm², Abbildung 1. Alle diese Stähle sind hochzäh und unter Beachtung von einschlägigen Verarbeitungsregeln gut schweißbar.

Methoden der Festigkeitssteigerung

Bei den ersten Stählen mit höherer Festigkeit wurde dies primär über chemische Zusammensetzung durch festigkeitssteigernde Elemente, vor allem Kohlenstoff und Mangan, erreicht.

Aluminium bindet den gelösten Stickstoff und trägt so zur Verbesserung der Alterungsbeständigkeit bei. Durch die dabei entstehenden Al-Nitride wird das Kornwachstum behindert, so dass das Gefüge feinkörniger wird. Umfangreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass aus diesem Grund auch das Schweißen in kaltumgeformten Bereichen ohne Beeinträchtigung der Zähigkeit möglich ist (entgegen DIN 18800).

Bei steigenden Festigkeiten ist die reine Mischkristallbildung bei C/Mn-Stählen nicht mehr einsetzbar, da die Grenzen der Schweißbarkeit schnell erreicht werden. In der weiteren Entwicklung wurden also andere festigkeitssteigernde Maßnahmen wie Kornfeinung, Teilchenausscheidung oder Versetzungsanhäufung einzeln oder in Kombination eingesetzt^[1].

Im Bereich niedriger und mittlerer Streckgrenzen geht die Tendenz zunehmend in Richtung der thermomechanisch gewalzten Stähle. Die Intensivkühlung mit Anlassbehandlung wird bei TM-Stählen bei höheren Festigkeiten ab $Rp_{0.2} > 700 \text{ N/mm}^2$ angewandt.

In Tabelle 1 werden die Vor- und Nachteile von TM-Stählen gegenübergestellt. Aufgrund der Vorteile des TM-gewalzten Stahls wird sich dieser Werkstoff zukünftig vermehrt im Streckgrenzenbereich von 355 bis 690 N/mm² durchsetzen.

<u>Tab. 1:</u> Vor- und Nachteile von TM-Stählen im Vergleich zu den wasservergüteten Stählen

Vorteile	Nachteile
 je nach Blechdicke und Herstellverfahren deutlich geringerer Preis bessere Ebenheit wesentlich bessere Oberflächengüte 	 Blechdicken eingeschränkt* höhere Eigenspannungen Wärmebehandlung mit höheren Temperaturen oder Warmumformung nicht möglich
 bessere Schweißbarkeit auf Grund geringerem CET (Kohlenstoffäquivalent) und damit keine oder geringere Vorwärmung erforderlich geringere Abkantradien möglich 	etwas geringere Zähigkeit * Warmbreitband bis maximal 10 mm, Grobbleche inten- * sivgekühlt und angelassen bis 25 mm Dicke

Im hochfesten Bereich werden fast ausschließlich wasservergütete Feinkornstähle eingesetzt. Hierbei wird im vor allem im Mobilkranbereich aus Gewichtsgründen immer mehr der S1100QL verwendet. Bei diesem Stahltyp ist es jedoch besonders wichtig, zur Erreichung der entsprechenden mechanisch-technologischen Eigenschaften die richtige Wärmeeinbringung zu wählen.

Wirtschaftliche Kriterien für den Einsatz h\u00f6herfester St\u00e4hle in Stahlkonstruktionen

Aufgrund des hohen Kosten- und Wettbewerbsdruckes sind besonders die Hersteller schweißintensiver Produkte gezwungen, ständig ihre Fertigungsprozesse zu optimieren und die Produktion leistungsfähiger zu gestalten. Der Schlüssel dazu ist die Umsetzung neuer Technologien
und damit die Erhöhung der Produktivität, beispielsweise durch den Einsatz neuer Werkstoffe.
Dabei sind bei Stahlbaukonstruktionen hochfeste Stähle unverzichtbar und werden sich auch
in Zukunft vermehrt durchsetzen

Verringerung der Material- und Fertigungskosten

Die Verwendung höherfester Werkstoffe führt zu einer der Streckgrenze proportionalen Verringerung der Blechdicke. Obwohl zum Beispiel ein Stahl mit 890 N/mm² Streckgrenze im Einkauf circa das Doppelte im Vergleich mit S235J0 kostet, fallen aufgrund des geringeren Gewichtes geringere Materialkosten an. Ein Vielfaches geringer ist dabei auch das einzubringende Schweißgut. Somit werden die anfallenden Lohnkosten deutlich reduziert.

In Abbildung 2 ist das mögliche Einsparpotenzial dargestellt. Bei der Verwendung von S960 anstelle von S235 kann man allein beim Grundwerkstoff rund die Hälfte einsparen, da dieser nur ein Gewicht im Verhältnis 1: 4,5 hat. Den höchsten Einspareffekt hat man bei den Lohnkosten, da das Schweißnahtvolumen im Verhältnis 1: 16 steht und somit die Schweißzeit um ein Vielfaches reduziert wird.

	1	Kenngröße	S960QL (Verhältnis)	S235J2 ¹⁾ (Verhältnis)
10 S 960QL S235J2	45	-Streckgrenze N/mm²	1	0,22
		-Blechdicke mm	1	4,5
L	<u>+</u>	-Schweißdrahtkosten	1	0,31
Randbedingungen: Abschmelzleistung 3 kg/h		-Schweißnahtvolumen	1	16
- Lohn- und Maschinenkosten 35 Euro/Stunde - spez. Schweißnahtkosten = Schweißzusätze		-Schweißgutkosten	1	5
+ Schweißen		-spez. Schweißnahtkosten	1	11,5
- Berechnungsgrundlage Re / 1,5	-spez, Stahlkosten	1	2	
1) Streckgrenze = 215 N/mm² (40 - 63 mm)	Sp sz. stammoston			

Abb. 2: Einsparpotenzial bei hochfesten Stählen

3. Schweißzusätze nach DIN FN-Normen

Da von den Schweißzusätzen beziehungsweise der Schweißverbindung in der Regel die gleichen mechanisch-technologischen Eigenschaften erwartet werden wie beim Grundwerkstoff, müssen diese entsprechend der Festigkeitsklasse legiert sein. Streckgrenze und Zugfestigkeit werden dadurch im Vergleich zum "reinen" Schweißgut erhöht. Man verwendet deshalb, vor allem bei hochfesten Stählen, für Wurzellagen und einlagige Kehlnähte üblicherweise niedriger legierte Schweißzusätze als für Füll- und Decklagen. Je höher die Streckgrenze ist, desto größer wird die Gefahr der wasserstoffinduzierten Risse.

In letzter Zeit wurden die Normen für diese Schweißzusätze europaweit überarbeitet. Tabelle 2 zeigt einen Überblick über die neuen EN-Normen für Feinkornstähle.

GAS UP WIG MAG / MIG MSG / FD LBH unlegierte und EN 12536 EN 499 EN 756 EN 1668 EN 440 EN 758 Feinkornstähle hochfeste Stähle EN 757 prEN 14295 EN 12534 EN 12535 Re > 500 N/mm² Schutzgase / EN 760 EN 439 Pulver Liefer-FN 759 und FN 12074 bedingungen

Tab. 2: EN-Normen für Kombinationen von Schweißzusätzen und Schweißverfahren

4. Schutzgase

Grundsätzlich sind alle Schutzgase nach DIN EN 439 für die MAG-Schweißung geeignet, wobei die Gase der Gruppe M 1 nur in Ausnahmefällen zur Anwendung gelangen. In der Regel wird argonreiches Mischgas mit circa 18 bis 20 Prozent CO_2 eingesetzt. Der Einfluss der Schutzgase auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften ist zu berücksichtigen. Dies gilt umso mehr, je höher die Festigkeit und je tiefer die Einsatztemperatur ist.

5. Schweißtechnische Voraussetzungen

Beim Schweißen von Feinkornbaustählen sind unbedingt an jedem Arbeitsplatz Möglichkeiten für das Vorwärmen zu schaffen. In der **DIN EN ISO 13916** vom November 1996^[3] sind die verschiedenen Definitionen sowie Temperaturmesspunkte beschrieben. Hierbei wird zwischen Vorwärmtemperatur $T_{\rm p}$, Zwischenlagentemperatur $T_{\rm i}$ und Haltetemperatur $T_{\rm h}$ unterschieden.

Die Kontrolle der Vorwärm- und Zwischenlagentemperatur kann mit Temperaturmessstiften (TS), Kontaktthermometer (CT), digitalen Temperaturmessgeräten (TE) oder mit berührungslos messenden optischen oder elektrischen Geräten (TB) erfolgen. Die Lage der Messpunkte ist in Abbildung 3 dargestellt.

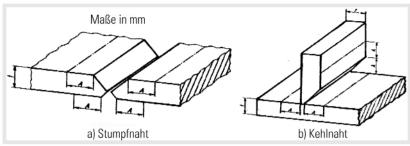


Abb. 3: Lage der Messpunkte: $t \ge 50$: $A = 4 \times t$, maximal $50 \text{ mm} \cdot t > 50$: A = 75 mm

Nach **DIN EN 1011-2** gilt jedoch bei allen Dicken mindestens A = 75 mm von der Nahtmitte.

Vor Beginn der Schweißarbeiten ist der Nahtbereich zu säubern. Schneidschlacke, Zunder und Rost sind dabei durch Bürsten, Schleifen oder am besten durch Strahlen zu entfernen. Durch Trocknen oder Vorwärmen ist außerdem sicherzustellen, dass der Nahtbereich feuchtigkeitsfrei ist.

5.1 Vermeidung von Wasserstoffrissen (Kaltrissen)

Ein wirksames Mittel ist das Vorwärmen. Es verzögert die Abkühlung des Nahtbereiches und begünstigt die Wasserstoffeffusion. Das Kaltrissverhalten von Stählen hat wesentlichen Einfluss auf die Schweißkosten. Es besteht deshalb großes Interesse, Stähle hinsichtlich ihres Kaltrissverhaltens einzustufen. In der neuen DIN EN 1011-2 Ausgabe Mai 2001 sind im Anhang C zwei Methoden zur Vermeidung von Wasserstoffrissen in unlegierten Stählen, Feinkornbaustählen und niedriglegierten Stählen beschrieben:

Methode A (C.2)

Hier wird das Kohlenstoffäquivalent CE zu Beurteilung herangezogen. Es lautet:

$$CE [\%] = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V) / 6 + (Ni + Cu) / 15$$

Dieses CE basiert auf der Härtbarkeit des Stahles und berücksichtigt weniger die Kaltrissempfindlichkeit der hochfesten Feinkornbaustähle.

Durch umfangreiche Untersuchungen zum Kaltrissverhalten von Stählen beim Schweißen der Firma Thyssen hat sich das Kohlenstoffäquivalent CET ergeben. Dieses Konzept fand seinen Niederschlag im SEW 088 und wurde als Methode B übernommen.

Methode B (C.3)

Spezielle Kaltrisstests auch an Schweißverbindungen^[4] ermöglichten ein genaueres Bestimmen der notwendigen Vorwärmung durch das abgeleitete Kohlenstoffäquivalent CET. Es lautet:

$$CET[\%] = C + (Mn + Mo) / 10 + (Cr + Cu) / 20 + Ni / 40$$

Das Kaltrissverhalten von Schweißverbindungen wird außer von der chemischen Zusammensetzung des Grundwerkstoffes und des Schweißgutes CET auch von der Blechdicke d, dem Wasserstoffgehalt des Schweißgutes HD und dem Wärmeeinbringen Q beim Schweißen sowie dem Eigenspannungszustand der Verbindung maßgebend bestimmt. Durch die Auswertung einer Vielzahl entsprechender Untersuchungen wurde die Wirkung dieser Einflussgrößen auf die Vorwärmtemperatur deutlich^[5]. Sie lässt sich mittels nachfolgender Summenformel beschreiben:

$$T_{D}[C] = 700 \text{ CET} + 160 \text{ tanh } (d/35) + 62 \text{ HD}^{0,35} + (53 \text{ CET} - 32) \text{ Q} - 330$$

In dieser Gleichung bedeuten CET das Kohlenstoffäquivalent in Prozent, d die Blechdicke in mm, HD den Wasserstoffgehalt in cm³ / 100 g deponiertes Schweißgut nach DIN 8572 und Q das Wärmeeinbringen in kJ/mm. Bei der Ableitung dieser Beziehung wurden Eigenspannungen in Höhe der Streckgrenze des Grundwerkstoffs beziehungsweise des Schweißgutes unterstellt. Bei Schweißverbindungen mit günstigerem Eigenspannungsniveau sind niedrigere Vorwärmtemperaturen vertretbar. Im Falle von Schweißverbindungen mit extrem hohem Verspannungsgrad (zum Beispiel bei Nähten an Stutzen oder Rohrknoten) können jedoch höhere Vorwärmtemperaturen erforderlich sein.

Beim Auftreten von Kaltrissen stellt man immer wieder fest, dass zwar die richtige Vorwärmtemperatur gewählt, jedoch die tatsächliche Wärmeableitung am Bauteil nicht richtig eingeschätzt wurde. Zum einen muss die Vorwärmtemperatur in ausreichendem Abstand von der Schweißnaht gemessen werden, zum anderen muss natürlich an Stellen, wo mehrere Schweißnähte zusammentreffen und damit neben der höheren Wärmeableitung noch dreidimensionale Spannungszustände auftreten können, welche die Kaltrissbildung zusätzlich begünstigen, auch sorgfältiger vorgewärmt werden.

5.2 Mechanisch-technologische Eigenschaften von Schweißverbindungen

Die mechanisch-technologischen Eigenschaften von Schweißverbindungen werden in erster Linie bestimmt durch die chemische Zusammensetzung von Stahl und Schweißgut sowie die beim Schweißen auftretenden Temperaturzyklen. Die wichtigsten Einflussgrößen bezüglich der Temperaturzyklen sind das Schweißverfahren, die Vorwärmtemperatur, die Streckenenergie sowie die Werkstückdicke und die Nahtgeometrie.

Diese verfahrenstechnischen Einflussgrößen fasst man zu einer für den Temperatur-Zeit-Verlauf beim Schweißen charakteristischen Kenngröße, die Abkühlzeit t_{8/5}, zusammen.

Eine zu schnelle Abkühlung der Schweißraupen aus dem Austenitgebiet wirkt sich ungünstig auf das Verformungsverhalten der Verbindung aus. Es besteht außerdem die Gefahr von Kaltrissen. Infolge des niedrigeren Wasserstoffgehaltes (HD circa 2 bis 3) beim MAG-Schweißen liegt die Mindestabkühlzeit t_{8/5} zur Vermeidung von Kaltrissen hier bei fünf Sekunden.

Eine zu langsame Abkühlung der Schweißraupen aus dem Austenitgebiet hat dagegen zur Folge, dass die Festigkeitseigenschaften des Schweißgutes nicht mehr denen des Grundwerkstoffes entsprechen. Es besteht dabei außerdem die Gefahr, dass die WEZ eine zu niedrige Zähigkeit aufweist. Bei hochbeanspruchten Konstruktionen empfiehlt sich deshalb, die Abkühlzeit $t_{8/5}$ entsprechend nach oben zu begrenzen.

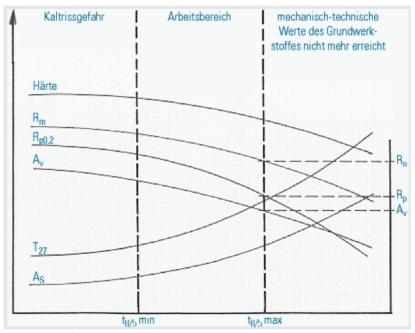
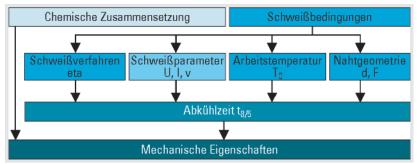


Abb. 4: Einfluss von $t_{8/5}$

Die mechanisch-technologischen Eigenschaften werden also hauptsächlich von $t_{8/5}$ beeinflusst. Die Abkühlzeit wird dabei von folgenden Einflussgrößen bestimmt:

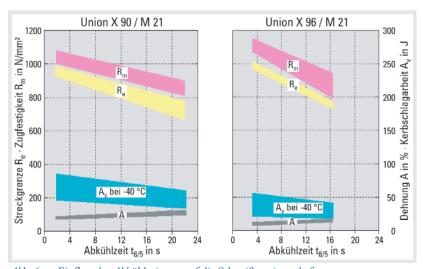


<u>Abb. 5:</u> Einfluss von chemischer Zusammensetzung und Schweißbedingungen auf mechanischen Eigenschaften

Aus Abbildung 5 ist ersichtlich, dass die Wärmeeinbringung (Schweißparameter) während des Schweißens als veränderlicher Haupteinflussfaktor auf die Eigenschaften der Schweißungen angesehen werden kann. Sie beeinflusst am meisten den Temperatur-Zeit-Zyklus, der sich während des Schweißens abspielt. Nach der neuen DIN EN 1011-1 Ausgabe April 1998 kann der Wert für die Wärmeeinbringung Q wie folgt berechnet werden:

$$Q = k \times U \times J / v \times 10^{-3} \text{ in kJ/mm}$$

Noch mehr als für den Grundwerkstoff gilt die Abkühlzeit auch für den Schweißzusatz.



<u>Abb. 6:</u> Einfluss der Abkühlzeit t_{8/5} auf die Schweißguteigenschaften

Aus der Formel für die Wärmeeinbringung ist ersichtlich, dass diese am besten durch die Schweißgeschwindigkeit gesteuert werden kann. Eine Verdoppelung der Geschwindigkeit bringt eine Halbierung der Wärmeeinbringung, ohne die Abschmelzleistung zu verringern, dabei wird jedoch die Anzahl der Lagen auch verdoppelt.

Der thermische Wirkungsgrad k beträgt beim MAG-Schweißen 0,8 nach DIN EN 1011-1 laut Tabelle 2.

6. Einführung eines hochfesten Werkstoffes im Mobilkranbau am Beispiel des Stahles S1100QL

Bei der Einführung neuer Werkstoffe in der Fertigung sind umfangreiche Untersuchungen bezüglich der mechanisch-technologischen Werkstoffeigenschaften nötig. Daneben müssen zunächst die Voraussetzungen in Bezug auf Gesetzeslage, Regelwerk und Normung geprüft werden. Im Mobilkranbau haben sich heute genormte Vergütungsstähle mit Streckgrenzen von 690 N/mm² bis 960 N/mm² als Standard etabliert. Die Einführung eines neuen, nicht genormten Feinkornbaustahles im Fahrzeugkranbau soll nachfolgend am Beispiel eines Stahles mit 1100 N/mm² Streckgrenze beschrieben werden.

Die Anzahl von Stahlherstellern, die das Know-how besitzen, hochfeste Stähle herzustellen, verringert sich, wenn Anforderungen an Streckgrenze und Reinheit steigen. Nur drei Hersteller bieten zurzeit einen hochfesten, zähen Feinkornbaustahl mit 1100 N/mm² Streckgrenze an:

SSAB Schweden Weldox 1100
 Thyssen Deutschland Xabo 1100
 Dillinger Hütte Dillimax 1100

6.1 Schweißen

Die Aufgabenstellung für die Verfahrensprüfung war eine Mindeststreckgrenze von 1100 N/mm² bei belassener Nahtüberhöhung. Für die Kerbschlagzähigkeit wurden 27 J bei -40 °C als Mindestanforderung zugrunde gelegt. Als Schweißzusatz wurde für das Heften ein weicher Schweißzusatz EN 440-G 50 3 M G4Si1, für die Wurzelschweißung ein Zusatzwerkstoff mit $R_{p0.2}$ = 700 N/mm² (G 69 4 M Mn3Ni1CrMo) und für die Füll- und Decklagen ein hochfester Zusatzwerkstoff mit 900 N/mm² Streckgrenze (G 89 4 M Mn4Ni2,5CrMo) nach DVS-Merkblatt 0916 verwendet. Sämtliche Schweißdaten wurden zunächst nach SEW 088 [7] ermittelt. Das CET lag bei beiden Sorten bei 0,39 und unter Beachtung der Schweißgutanalyse bei 0,42. Daraus wurden die Mindestvorwärmtemperaturen bestimmt (Tabelle 3).

<u>Tab. 3:</u> Errechnete Mindestvorwärmtemperatur

Hersteller/Werkstoff	Blechdicke	Mindestvorwärmtemperatur
SSAB/Weldox 1100	8	97
Thyssen/Xabo 1100	10	105

Es war von vornherein klar, dass die geforderten Werkstoffwerte der Schweißverbindung nur mit extrem kurzen Abkühlzeiten erreicht werden können. Für die Versuchsreihe wurden ein Abkühlzeitfenster (t_{8/5}) von fünf bis acht Sekunden über die Schweißparameter eingestellt und daraus Zugversuche mit abgearbeiteter Nahtüberhöhung durchgeführt. Die Streckgrenze des Schweißgutes lag erwartungsgemäß unter den Werten des Grundwerkstoffes, waren aber durch die kurze Abkühlzeit und durch Aufmischungsvorgänge höher als die beim reinen Schweißgut.

Die Mittelwerte der Streckgrenze lagen bei allen Proben zwischen 940 und 1000 N/mm² und sind aus Tabelle 4 zu entnehmen.

<u>Tab. 4:</u> Mittelwerte aus dem Zugversuch

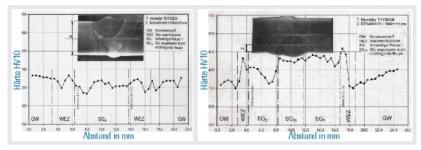
Proben	04SL	06SQ	04TL	04TQ	01STL
Mittelwert R _{p0.2} N/mm ²	1003	1062	938	1019	957
Mittelwert R _m N/mm²	1190	1191	1070	1167	1100

Nachdem die Schweißparameter mit den vorangegangenen Versuchsreihen festgelegt waren, wurde anhand dieser Werte eine Schweißanweisung (WPS) erstellt, die als Arbeitsgrundlage für die nachfolgende Verfahrensprüfung mit nicht abgearbeiteter Nahtüberhöhung diente. Diese Vorgehensweise konnte festgelegt werden, da in der Praxis die Schweißnähte ebenfalls nicht abgeschliffen werden. Die Ergebnisse waren entsprechend der Forderung (Tabelle 5).

<u>Tab. 5:</u> Ergebnisse der Verfahrensprüfung

Nr.	R _{p0,2}	R _m	Kerbschlagzähigkeit –40°C (Mittelwerte aus allen Versuchreihen)
1	1180 N/mm²	1200 N/mm ²	45 J
2	1315 N/mm ²	1330 N/mm ^z	75 J

Zusätzlich wurden verschiedene Schliffe angefertigt. Trotz der hohen Härteverläufe ist der Einsatz dieses Stahles aufgrund der guten Zähigkeitseigenschaften gegeben. Abbildungen 7 und 8 zeigen typische Härteverläufe über eine Fülllagen- und Decklagenschweißung.



<u>Abb. 7:</u> Härteverlauf über die Fülllagen

<u>Abb. 8:</u> Härteverlauf über die Decklage

6.2 Überwachung der Schweißdaten

Die Überwachung der wichtigsten Schweißdaten beschränkt sich in der Praxis auf die Kontrolle der Vorwärmtemperatur und gegebenenfalls der Zwischenlagentemperatur sowie die Messung der Abkühlzeit t_{8/5}. Für den Praktiker ist es hilfreich, unter Verwendung der Diagramme im DVS-Merkblatt 0916^[6], die minimal und maximal zulässige Streckenenergie in Abhängigkeit von der Blechdicke aufgrund der Vorgabe der Abkühlzeit t_{8/5} zu bestimmen. Mit diesen Werten kann man in einem weiteren Diagramm abhängig vom Drahtelektrodendurchmesser die zugeordneten minimalen und maximalen Schweißgeschwindigkeiten ermitteln. Diese sind dann in der Praxis sehr einfach zu kontrollieren und zu dokumentieren.

6.3 Qualifikation der Schweißer

Die Schweißer müssen eine Qualifikation nach DIN EN 287-1 für die Werkstoffgruppe W03 nachweisen. Interne Schulungen und Unterweisungen der Schweißer über Vorwärmen und gegebenenfalls Nachwärmen sowie die Einhaltung der geforderten Wärmeeinbringung (Viellagentechnik) in Abhängigkeit der verwendeten Werkstoffe müssen laufend durchgeführt werden. Dabei ist es sinnvoll, dass der Schweißer die Schweißgeschwindigkeit über den Nahtaufbau und Nahtquerschnitt einstellt, da dies jederzeit einfach kontrolliert werden kann.

7. Anwendungsbeispiele

Die nachfolgenden Abbildunger zeigen einen Querschnitt von Einsatzbeispielen der hochfesten Feinkornstähle.

Abbildung 9 zeigt einen Mobilkran mit 800 Tonnen Tragkraft im Transportzustand aus S9600L, Abbildungen 10 und 11 einen Teleskopausleger aus S1100QL und Abbildung 12 einen Aufbaurahmen für Teleskop-Steiger aus S700MC.



Abb. 9: Mobilkran aus S960QL mit 800 Tonnen Tragkraft im Transportzustand



Abb. 10: Teleskopausleger aus S1100QL Abb. 11: Teleskopausleger aus S1100QL · unbelastet belastet



Abb. 12: Aufbaurahmen für Teleskop-Steiger aus Werkstoff S700MC

8. Schadensfälle

Aus einer Anzahl von Schadensfällen möchte ich jedoch nur einige typische und wiederkehrende Fehler aufgreifen.

8.1 Flanken- und Lagenbindefehler?

Vor allem bei einseitig zugänglichen geschweißten HV-Nähten stellt man immer wieder fest, dass an der Steilflanke aufgrund unsachgemäßer Brennerführung sehr gerne Flankenbindefehler auftreten. Außerdem kann man häufig feststellen, dass auch ungenügend durchgeschweißt wird



Abb. 13: Schweißnaht an einem Fahrzeugrahmen mit ungenügender Durchschweißung und einem Flankenbindefehler an der Steilflanke

Abbildung 13
zeigt eine solche
Schweißnaht an
einem Fahrzeugrahmen mit ungenügender Durchschweißung und
einem Flankenbindefehler an der
Steilflanke

An der Bruchfläche im Abbildung 14 sieht man deutlich, dass nur circa ein Drittel

der Fläche aufgeschmolzen wurde. An dem Bruchstück ist sogar die Schweißkantenvorbereitung mit Steg von circa 1 mm deutlich sichthar



Abb. 14: Bruchstück der Schweißnaht aus Abbildung 13

Ein ähnlicher Fall ist in Abbildung 15 zu erkennen, wobei hier neben einer ungenüaenden Aufschmelzuna der Flanken auch ein großer Lagenbindefehler zum Versagen des Bauteiles innerhalb kurzer Betriebszeit führte.



Abb. 15: Flanken- und Lagenbindefehler

8.2 Bruch eines Teleskopauslegers?

Einen anderen Schadensfall zeigen die nachfolgenden Abbildungen. Hierbei handelt es sich um den Bruch eines Teleskopauslegers, der aufgrund von Überlastungen und hohen Lastspielzahlen entstanden ist. Ausgehend von den Quernähten an aufgeschweißten Verstärkungsblechen bildeten sich dort im Übergangsbereich Anrisse, die nach einer gewissen Zeit die gesamte Blechdicke erfassten.



Abb. 16: Anrisse an Quernähten der aufgeschweißten Verstärkungslaschen

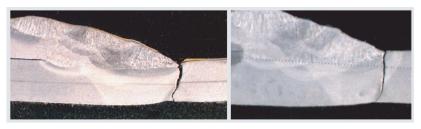


Abb. 17: Grundkörper im Bereich der Laschen bereits durchgerissen



Abb. 18: Typischer Dauerbruch im Auslauf der Quer-Schweißnaht

9. Zusammenfassung

Hochfeste Feinkornstähle sind heute bei der Fertigung von Nutzfahrzeugen, insbesondere im Schwerlastbereich und im Mobilkranbau, unverzichtbar und werden sich auch im Stahlbau vermehrt durchsetzen. Aufgrund der vorangegangenen Untersuchungen geht jedoch deutlich hervor, dass es sehr wichtig ist, die Wärmeführung genau festzulegen und entsprechend einzuhalten, um entsprechende mechanisch-technologischen Eigenschaften der Schweißverbindungen zu erreichen. Die Ausführungen zeigen, dass das Kaltrissverhalten durch die chemische Zusammensetzung des Grundwerkstoffes und des Schweißgutes, die Blechdicke, den Wasserstoffgehalt des Schweißgutes, das Wärmeeinbringen während des Schweißens und den Spannungszustand beeinflusst. Eine Zunahme des Legierungsgehaltes, der Blechdicke und des Wasserstoffgehaltes erhöht die Kaltrissgefahr. Dagegen wird sie durch eine Erhöhung des Wärmeeinbringens vermindert.

Mit der neuen DIN EN 1011 Teil 1 und Teil 2 ist nun auch ein Normenwerk auf europäischer Ebene geschaffen worden, das es ermöglicht, einheitliche Verarbeitungsregeln zumindest europaweit festzulegen.

10. Literatur

- [1] Geyer; Rauch; Schütz; VOEST-ALPINE Stahl Linz GmbH: Hochfeste Feinkornstähle mit optimierten Verarbeitungseigenschaften. Tagungsband zum Fortbildungsseminar für Schweißfachleute an der Schweißtechnischen Zentralanstalt in Wien. 18.05.1995.
- [2] DIN EN 10149-1, Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen, Teil 1: allgemeine Lieferbedingungen September 1995, 3.5.
- [3] DIN EN ISO 13916 Anleitung zur Messung der Vorwärm-, Zwischenlagen- und Haltetemperatur.
- [4] DIN EN 1011 Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe Teil 1: Allgemeine Anleitung für das Lichtbogenschweißen (April 1998). Teil 2: Lichtbogenschweißen von ferritischen Werkstoffen (Mai 2001).
- [5] SEW 088, Schweißgeeignete Feinkornbaustähle, Richtlinien für das Verhalten, besonders für das Schmelzschweißen, Oktober 1996, Stahl-Eisen-Werkstoffblatt (SEW) des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute.
- [6] DVS-Merkblatt 0916: Metall-Schutzgasschweißen von Feinkornbaustählen.
- [7] Schweißempfehlungen für XABO 890 und XABO 960 der Fa. ThyssenKrupp Stahl AG.

Peter Gerster - Jahrgang 1944 · Ausbildung zum Maschinenschlosser bei Maybach Motorenbau (heutige MTU) in



Friedrichshafen · 1966-69 Maschinenbaustudium in Konstanz, Abschluss als Dipl. Ing. · 1969-1973 Leiter Werkstoffprüfung bei der Dr.Ing.h.c. F. Porsche KG in Zuffenhausen · 1972 SFI-Lehrgang in Stuttgart · 1974-1976 Hauptabteilungsleiter Qualitätssicherung und Abnahme bei Mannesmann-Demag in Zweibrücken · 1976-1988 Leiter QS, Schweißtechnik und Betriebsleitung bei Liebherr Werk Ehingen GmbH · 1989-1993 Fertigungsleiter Nutzfahrzeuge bei der Karl Kässbohrer Fahrzeugwerke GmbH in Ulm · 1994-2000 Werksleiter bei der FAUN GmbH in Lauf · 2000-2002 Leiter Produktion und Materialwirtschaft bei Compact Cranes Spe-zialmaschinen GmbH in Ulm · seit Mitte 2002 freiberuflich selbständig unter dem Namen Gerster Engineering Consulting tätig · seit 1982 stellvertretender Vorsitzender des DVS-Bezirksverbandes Ulm-Neu-Ulm · seit Februar 2004 von der Industrie- und Handelskammer Ulm öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Schweißtechnik und -schäden.