

Besonderheiten beim Schneiden und Schweißen hochfester Feinkornbaustähle bis 1100 N/mm² Mindeststreckgrenze

Peter Gerster, Ehingen und Horst Wegmann, Duisburg

Kurzfassung

Hochfeste Baustähle bieten in zahlreichen Anwendungsbereichen erhebliche wirtschaftliche Vorteile. Inzwischen liegen im Hinblick auf die konventionellen Verfahren umfangreiche praktische Erfahrungen für eine sachgerechte schweißtechnische Verarbeitung der hochfesten Stähle vor. Eine weitere Verbesserung im Hinblick auf die wirtschaftliche Verarbeitung bieten heute verfügbare neuzeitliche Schneid- und Schweißverfahren wie das Plasma- und Laserstrahlverfahren.

1 Einleitung

Die Entwicklung hochfester schweißgeeigneter Baustähle war eine entscheidende Voraussetzung für die heute in vielen Anwendungsbereichen erhobene Forderung nach leichterer Bauweise. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Verringerung des Eigengewichts nicht zu Lasten des Verarbeitungsverhaltens oder der Tragfähigkeit geht. Die Stahlindustrie hat die Herausforderung angenommen. Es wurden Stähle entwickelt, die sich durch anforderungsgemäße Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften im Grundwerkstoff sowie durch gutes Verhalten bei der schweißtechnischen Verarbeitung und beim Umformen auszeichnen. Hochfeste Stähle ermöglichen heute durch ihre hohe Tragfähigkeit eine deutliche Reduzierung der Blechdicke und somit des Eigengewichts. Sie bieten so erhebliche Vorteile durch die Verringerung der Herstellungs- und Betriebskosten. Typische Beispiele dafür findet man im Fahrzeug- und Kranbau.

2 Hochfeste Baustähle

Bevor man sich mit der schweißtechnischen Verarbeitung befasst bietet es sich an, zunächst die Fortschritte bei der Entwicklung hochfester Baustähle in Erinnerung zu rufen. Wie **Bild 1** zeigt, war der **normalgeglühte Feinkornbaustahl S355N** Ausgangspunkt für die Entwicklung von Baustählen mit erhöhter Streckgrenze. Durch Anheben des Legierungsgehaltes, wobei auch die Vorteile komplex wirkender Mikrolegierungselemente genutzt wurden, gelang es, die Streckgrenze der normalgeglühten Stähle bis auf 500 N/mm² zu erhöhen. Wichtige Vertreter dieser Gruppe sind z. B. die Stahlsorten S355N und S460N. Um bei normalgeglühten Stählen noch höhere Streckgrenzen

zu erreichen, müsste der Legierungsgehalt weiter erhöht werden, was dann zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Schweißbarkeit führen würde. Deutlich höhere Streckgrenzen bei gleichzeitig hervorragender Zähigkeit lassen sich durch eine Wasservergütung erreichen. **Wasservergütete Baustähle** mit

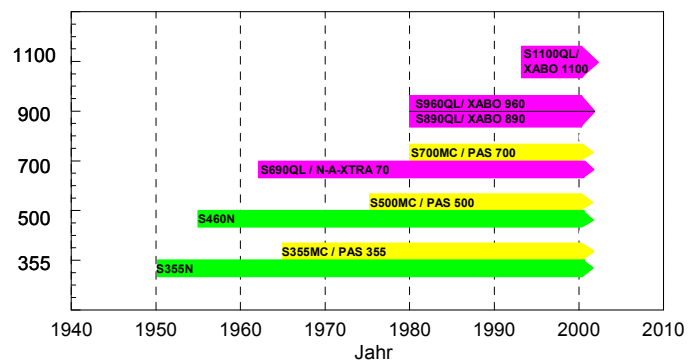


Bild 1: Entwicklung hochfester Baustähle

Mindeststreckgrenzen von 690, 890 und 960 N/mm² sind seit vielen Jahren verfügbar **/1-4/**. Vom Mengenaufkommen ist die Stahlsorte S690Q/QL der wichtigste Vertreter dieser Stahlgruppe. Doch auch Stähle mit einer Mindeststreckgrenze von 890 N/mm² und 960 N/mm² werden in beachtlichen Mengen z. B. im Druckbehälter-, Kran- und Fahrzeugbau sowie für Bergbaugeräte eingesetzt. Die obere Grenze bildet heute der wasservergütete Stahl mit einer Mindeststreckgrenze von 1100 N/mm². Anwendungsgebiet ist hier vorzugsweise der Kranbau.

Interessante Alternativen zu den wärmebehandelten Stählen bilden die durch den Zusatz MC gekennzeichneten thermomechanisch gewalzten Stähle mit Mindeststreckgrenzen von 355 N/mm² bis 690 N/mm² **/5-6/**. Diese finden in der Großrohrfertigung und zunehmend im Schiffbau, im Nutzfahrzeugbau sowie bei

Güte	Norm	TKS-Güte	Typische chemische Zusammensetzungen Gew. %								min. ReH MPa	Rm MPa	Biegeradius r min.	
			C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb	typ. CET				
S355J2G3	10025	-	0,18	0,05	1,50						0,34	355	490 630	2,5 a
S355MC	10149-2	PAS 355	0,07	0,05	1,10					0,04	0,18	355	430 550	1,0 a
S500MC	10149-2	PAS 500	0,07	0,05	1,35			0,08	0,05		0,21	500	600 760	2,0 a
S700MC	10149-2	PAS 700	0,07	0,45	1,80		(0,18)		0,06	Ti 0,12	0,25 (0,29)	700	750 950	2,5 a (WB) 3,0 a (GB)
S690QL	10137-2	N-A-XTRA 70	0,17	0,20	0,95	0,20	0,25				0,30	690	770 940	3,0 a
S960QL	10137-2	XABO 960	0,17	0,40	1,45	0,60	0,35	0,05			0,38	960	980 1150	4,0 a
S1100QL	(10137-2)	XABO 1100	0,17	0,30	0,95	0,70	0,55	0,07		Ni 2,0	0,41	1100	1200 1500	4,0 a

$$\text{CET} = \text{C} + (\text{Mn} + \text{Mo}) / 10 + (\text{Cr} + \text{Cu}) / 20 + \text{Ni} / 40$$

Tafel 1: Eigenschaften hochfester Stähle

besonderer Anforderung an das Kaltumformverhalten Anwendung.

Tafel 1 gibt einen Überblick über die Eigenschaften hochfester Stähle. Sie werden als Warmband mit Dicken zwischen 1,5 mm und 20 mm oder als Grobblech mit Dicken ab 3 mm hergestellt. Neben dem bekannten normalgeglühten S355N fallen die **thermomechanisch gewalzten Stähle** auf. Ihr besonderes Merkmal sind ein niedriger Kohlenstoffgehalt und ein geringer Zusatz an Mikrolegierungselementen wie Niob, Titan oder Vanadin. Die Verringerung des Kohlenstoffgehalts ist der wichtigste Schritt zur Verbesserung der Schweißseignung und des Umformverhaltens. Durch den Zusatz von Mikrolegierungselementen und den TM-Prozess wird der Festigkeitsabfall infolge der Kohlenstoffabsenkung ausgeglichen und eine zusätzliche Verfestigung erreicht.

Ausgewiesen werden weiterhin die **wasservergüteten Stähle** mit Mindeststreckgrenzen zwischen 690 und 1100 N/mm². Diese erfüllen auch bei größeren Blechdicken höchste Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften. Wasservergütete Baustähle sind niedriglegierte Stähle auf der Basis Chrom-Molybdän bzw. Chrom-Molybdän-Nickel-Vanadin. Der Kohlenstoffgehalt ist auf maximal etwa 0,20 % begrenzt und der Legierungsgehalt wird im Interesse der Schweißbarkeit so niedrig wie möglich gehalten. Der Legierungsgehalt ist Voraussetzung dafür, dass bei der Wasserabschreckung über den gesamten Querschnitt ein günstiges martensitisch-bainitisches Gefüge entsteht.

Beim nachfolgenden Anlassen stellt man die mechanischen Eigenschaften der Bleche durch die Wahl einer angemessenen Anlasstemperatur ein. Die so hergestellten Stähle weisen neben der geforderten Festigkeit eine ausgezeichnete Kerbschlagzähigkeit auf.

3 Schweißtechnische Verarbeitung

3.1 Thermisches Schneiden

Die schweißtechnische Verarbeitung beginnt im allgemeinen mit der Nahtvorbereitung. Hochfeste Stähle lassen sich nach allen thermischen Schneidverfahren verarbeiten.



autogenes Brennschneiden



Laserstrahl-schneiden

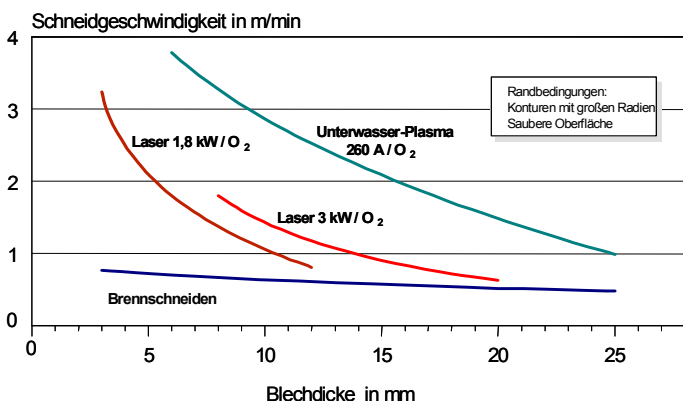


Unterwasser-Plasmaschneiden

Bild 2: Thermisches Schneiden hochfester Baustähle

Am häufigsten wird auch heute noch das autogene Brennschneiden eingesetzt, das zwar nur geringe Schneidgeschwindigkeiten zulässt, dafür aber bis zu großen Blechdicken angewendet werden kann. Bei dünnen Blechen besteht jedoch die Gefahr, dass in-

folge der vergleichsweise langsamen Schneidgeschwindigkeit Verzug und Verwerfungen auftreten. Das Plasmaschneiden wird heute bis etwa 40 mm Blechdicke eingesetzt, vorzugsweise als Unterwasserverfahren. Beim Laserstrahlschneiden liegt die vertretbare Blechdicke z. Z. bei ca. 20 mm. Das folgende **Bild 3** vermittelt einen Eindruck von den je nach Verfahren und vorhandenen Schneideinrichtungen erreichbaren Schneidgeschwindigkeiten.



3: Geschwindigkeiten beim thermischen Schneiden

Anzumerken ist, dass das Plasmaverfahren die mit Abstand höchsten Schneidgeschwindigkeiten ermöglicht. Vorteil des Plasma- bzw. Laserstrahlschneidens sind die hohe Schneidgeschwindigkeit und damit verbunden eine geringe Wärmebeeinflussung im Schneidbereich. Als Folge ergeben sich eine schmalere Wärmeeinflusszone und geringerer Verzug. Um einen Überblick zu bekommen, inwieweit sich hochfeste oder auch verschleißfeste Stähle mit Hilfe des Plasma- oder Laserstrahlschneidens verarbeiten lassen, wurden stichprobenartig Versuche durchgeführt. Bei den Versuchen wurden 10 mm bzw. 15 mm dicken Blechen der hochfesten Stähle N-A-XTRA 70 (S690QL), XABO 1100 (S1100QL) sowie 15 mm dicke Bleche der verschleißfesten Güten XAR 400

(Werkstoff - Nr. 1.8714) und XAR 500 (Werkstoff - Nr. 1.8734) eingesetzt. **Tafel 2** fasst die Schneidbedingungen zusammen.

Neben den Plasma- und Laserstrahlschnitten wurden zum Vergleich autogene Brennschnitte ausgeführt. Die Versuchsbleche ließen sich nach allen drei eingesetzten Verfahren problemlos schneiden. Die Schnittkanten erwiesen sich bei einer nachfolgend durchgeführten Oberflächenrisssprüfung frei von Rissen oder sonstigen Beeinträchtigungen.

Ein Kriterium zur Beurteilung des Schneidverhaltens von Stählen ist das Verformungsverhalten der Schnittkanten. Deshalb wurden 30 mm breite Fallproben hergestellt und verformt.



Bild 4: Probe beim Fallversuch

Bild 4 zeigt eine Probe beim Fallversuch. Ziel war es hier zu überprüfen, ob bei den Proben mit ihren thermisch geschnittenen Kanten Radien eingehalten werden können, die den Angaben in den Werkstoffblättern für den Grundwerkstoff entsprechen. Bei den Stählen XABO 1100 und XAR 500 fehlen derartige Vorgaben, so dass bei diesen Stählen eine Grenzra-

Blechdicke (mm)	Stahlsorte	Verfahren	Bedingungen	Schneidgeschwindigkeit (cm/min)
15	N-A-XTRA 70 XAR 400 XAR 500	Brennschneiden	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Heizgas Propan ▪ Schneiddüse Gricut 1270 PY ▪ Düsenabstand = 6 mm ▪ Sauerstoffdruck = 8,5 bar 	
10	XABO 1100			
	N-A-XTRA 70 XAR 400 XAR 500	Laser	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Laserleistung = 3,0 KW 	
	XABO 1100			
	N-A-XTRA 70 XAR 400 XAR 500		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Düsendurchmesser = 2,5 mm ▪ Düsenabstand = 5 mm ▪ Sauerstoffdruck = 10 bar ▪ Spannung = 135 V ▪ Stromstärke = 260 A 	200
10	XABO 1100			

Tafel 2: Schneidbedingungen

dienbestimmung erfolgte. Nachfolgende Tabelle gibt Auskunft über das Ergebnis der Kaltversuche.

Stahlsorte	Biegeradius r			
	Grundwerkstoff (Wstbl)	Autogen	Plasma	Laser
N-A-XTRA 70	2 * t	2 * t		
XAR 400	2 * t	2 * t		
XABO1100	keine Angabe	3 * t		
XAR 500	keine Angabe	3 * t		

Wie zu entnehmen ist, wurden bei N-A-XTRA 70 und XAR 400 die im Werkstoffblatt ausgewiesenen Biegeradien mit $r = 2 \cdot$ Blechdicke unabhängig vom eingesetzten Schneidverfahren eingehalten. Bei den Proben aus den Stählen XABO 1100 und XAR 500 wurde ein Biegeradius von 3-facher Blechdicke ermittelt. Auch hier war kein Einfluss der einzelnen Schneidverfahren auf das Verformungsverhalten der Schnittkanten feststellbar. **Bild 5** belegt anhand von Fotos das ausgezeichnete Verformungsverhalten der Kaltproben aus hochfesten Baustähle, Biegelinie parallel zur Walzrichtung.

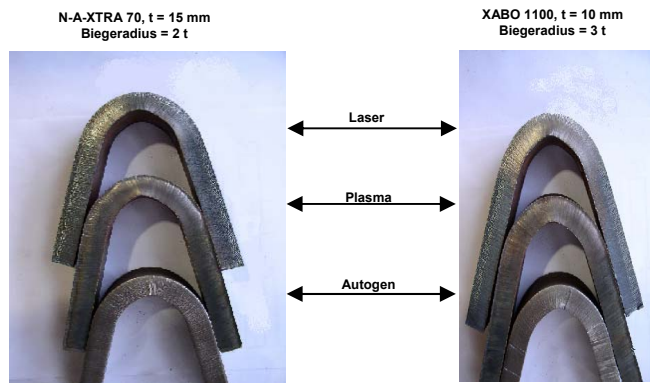


Bild 5: Verformungsverhalten thermische geschnittener Bleche Biegeradien im Kaltversuch

Neben den Kaltproben wurden Schliffe für die Ermittlung des Härteverlaufs an den Schnittkanten hergestellt.

Bild 6 zeigt die ermittelte Härteverläufe im Abstand von 1 mm von der Blechoberfläche bei autogen, Plasma- und Laserstrahl-geschnittenen XABO 1100-Proben. Beim Plasma- und Laserstrahl-schneiden ergeben sich sehr ähnliche Härteverläufe mit einer deutlichen Aufhärtung unmittelbar an der Schnittkante

und einer schmalen Erweichungszone. Im Vergleich dazu führt das autogene Brennschneiden zu einem rd. 2 mm breiten aufgehärteten Bereich mit anschließender breiter Erweichungszone, die nach etwa 5 mm wieder auf die Härtewerte des Grundwerkstoffs ansteigt. Die ausgewiesenen Härteverläufe sind kennzeichnend für die angewendeten Schneidverfahren.

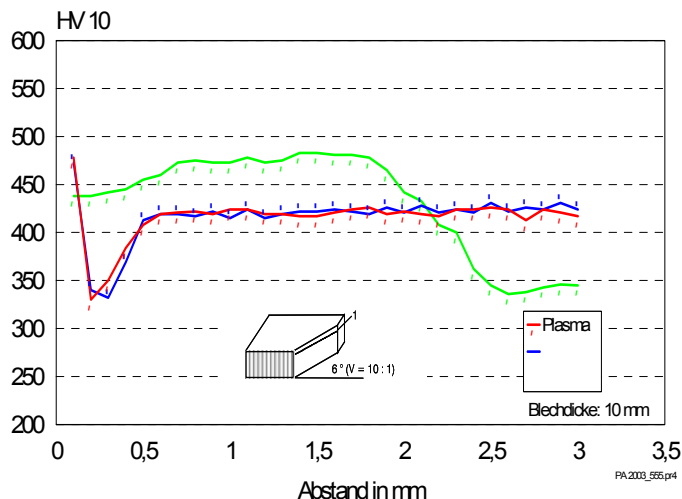


Bild 7 gibt die Härteverläufe an den Schnittkanten der untersuchten Stähle nach dem Laserstrahl-schneiden nahe der Blechoberfläche wieder. Wie zu erwarten, findet man in der vergleichsweise schmalen wärmebeeinflussten Zone bei XAR 500 die höchste, bei N-A-XTRA 70 die niedrigste Härte. In etwa 0,5 mm Abstand von der Schnittkante entspricht die Härte bei allen Stählen jedoch wieder der des jeweiligen Grundwerkstoffs.

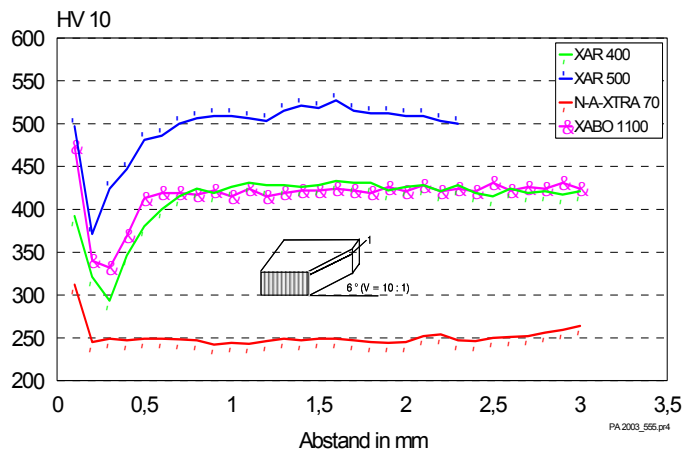


Bild 7: Härteverläufe an Laserstrahl-geschnittenen Kanten unterschiedlicher Stähle

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass auch die schwieriger zu verarbeitenden hochfesten und verschleißfesten Stähle störungsfrei und sehr wirtschaftlich nach dem Plasma- und dem Laserstrahlverfahren mit Erfolg geschnitten werden können. Während beim autogenen Brennschneiden u. U. schon ein Vorwärmen zu empfehlen ist, wird beim Plasma- und Laserstrahlschneiden nicht vorgewärmt. Besonders bei dünneren Blechen kommen die Vorteile der beiden letztgenannten Schneidverfahren überzeugend zur Geltung. Dabei weisen die thermisch geschnittenen Kanten unabhängig vom eingesetzten Schneidverfahren ein ausgezeichnetes Verformungsverhalten auf.

3.2 Schweißverfahren

3.2.1 Konventionelle Verfahren

Moderne hochfeste Baustähle lassen sich nach allen in der Praxis üblichen Verfahren problemlos schweißen. Wegen des hohen Mechanisierungsgrades steht häufig das Schutzgasschweißen im Vordergrund. Daneben wird besonders bei größeren Blechdicken bevorzugt das Unterpulver-Verfahren eingesetzt. Rückläufig ist der Einsatz des Lichtbogenhandschweißens. Für alle genannten Schweißverfahren stehen geeignete Schweißzusätze zur Verfügung. Eine Ausnahme gilt für Stähle mit einer Mindeststreckgrenze von 1100 MPa, hier gibt es bisher keine artgleichen Schweißzusätze, es werden die für Stähle mit 890 bzw. 960 MPa gebräuchlichen eingesetzt. Hinsichtlich der Schweißbedingungen findet man heute umfassende Informationen in den Verarbeitungsempfehlungen der Stahlhersteller wie auch in den Verarbeitungsstandards, dem Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 088 oder der Euronorm EN 1011, Teil 1 und 2 (7-9).

3.2.2 Laserstrahlschweißen

Neben den konventionellen Schweißverfahren kommen moderne Verfahren wie das Laserstrahl- und das Plasmaschweißen langsam auch bei der Verarbeitung hochfester Baustähle zum Einsatz. Schon seit Anfang der neunziger Jahre wurden Laser vorzugsweise zum Schweißen von bis etwa 3 mm dicken Blechen eingesetzt. Typische Anwendung ist das in großem Maße durchgeführte Laserstrahlschweißen von tailored blanks für den Automobilbau. Inzwischen wurde die Leistung der Laser ständig angehoben, so

stehen heute Laser mit einer Ausgangsleistung von 20 kW für die industrielle Fertigung zur Verfügung. Damit wird der Anwendungsbereich nun zu wesentlich größeren Blechdicken verschoben. So lassen sich Bleche bis etwa 15 mm heute mit Erfolg einlagig schweißen. Bei größeren Blechdicken bis ca. 25 mm empfiehlt sich ein zweilagiges Schweißen.

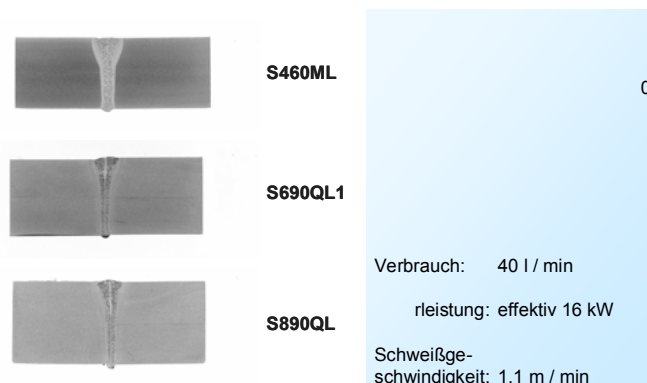


Bild 8: Makroschliffe von Schweißverbindungen eines 15 mm Blechs

Das **Bild 8** zeigt als Beispiel Makroschliffe von Schweißverbindungen eines 15 mm dicken Bleches. Es ist bekannt, dass sich beim Laserstrahlschweißen vereinzelte Poren und Mikrorisse nur schwer vermeiden lassen. Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass die Nahtvorbereitung äußerst sorgfältig durchzuführen ist. Um Poren und Mikrorisse, aber auch den ungünstigen Einfluss ungleichmäßiger Schweißspalte zu verringern, wendet man gelegentlich das Laserhybrid-Verfahren an. Dabei handelt es sich um eine Kombination von Laserstrahl- und konventionellem Metall-Schutzgas- (MAG-) Schweißen. Durch den dabei eingesetzten Schweißzusatz gelingt es, bei gleichzeitig hoher Schweißgeschwindigkeit unregelmäßige Schweißspalte auszufüllen, gleichzeitig aber auch die Porosität im Nahtbereich zu reduzieren. Nachteil dieser Verfahrensvariante ist der höhere Geräte- und Abstimmungsaufwand.

Beide Verfahren führen auch bei hochfesten Stählen reproduzierbar zu Schweißverbindungen mit anforderungsgerechten Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften /10/. Bei der Untersuchung von Schweißverbindungen zeigte sich, dass die den Schweißverbindungen entnommenen Zugproben unabhängig von der Stahlsorte deutlich außerhalb des Nahtbereichs im Grundwerkstoff brachen. Bei allen Schweißverbindungen wurden die Festigkeitskennwerte des jeweiligen Grundwerkstoffs erreicht bzw. überschritten.

Die Überprüfung der Kerbschlagzähigkeit des Nahtbereichs führte zu Kerbschlag-Arbeit-Werten, die mindestens den Angaben im Werkstoffblatt für den jeweiligen Grundwerkstoff entsprachen. Poren und vereinzelte Mikrorisse hatten keinen erkennbaren Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften der Schweißverbindungen. Die vergleichsweise kurzen Abkühlzeiten $t_{8/5}$ beim Laserstrahlschweißen führen dazu, dass bei hochfesten Stählen Härtewerte von 450 HV10 gelegentlich überschritten werden.

Die Laserstrahlschweißverbindungen weisen trotz hoher Härten und möglicher Ungängen in der Schweißnaht ein bemerkenswert gutes Verformungsverhalten auf. **Bild 9** zeigt beispielhaft Fallproben einer XABO 960-Schweißverbindung, Blechdicke 10 mm. Die Proben ließen sich trotz der bekannten, lokal eng begrenzten Aufhärtung bei einem Biegedorndurchmesser von 3-facher Blechdicke anrissfrei um mehr als 150 ° verformen.

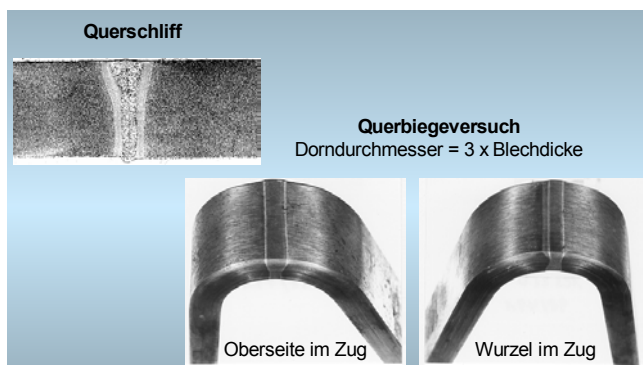


Bild 9: Fallproben einer XABO 960-Schweißverbindung, Blechdicke 10 mm

Das Laserstrahlschweißen ist somit ein durchaus interessantes Verfahren bei der Verarbeitung hochfester Baustähle. Erste größere praktische Anwendungen findet man seit einiger Zeit im Schiffbau. So werden bei der Fa. Blohm + Voss in Hamburg in einer speziellen Laserstrahlschweißanlage in großer Anzahl Bleche durch eine 12 m langen Laserstrahl-Stumpfnah zu einem Plattenfeld zusammengeschweißt. Anschließend erfolgt das Aufsetzen und Verschweißen von Stegen und Profilen durch I-Nähte (Blechdicken 4 mm bis 12 mm). Die Herstellung der I-Nähte erfolgt simultan mit zwei Lasern gleichzeitig /11/. Das nachfolgende **Bild 10** zeigt das Verschweißen eines Stegblechs im Rahmen einer Arbeitsprobe.

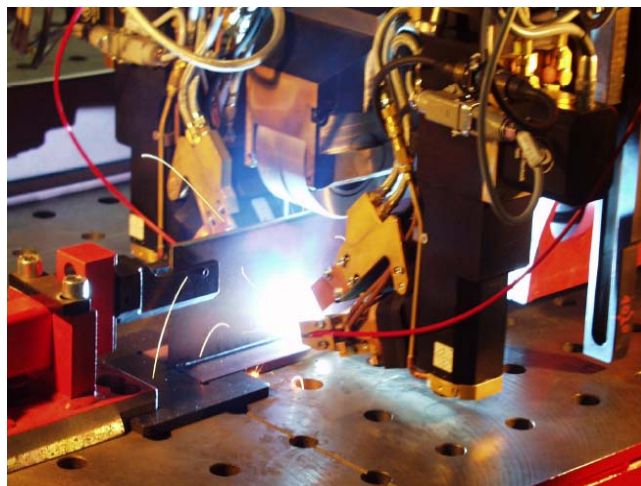


Bild 10: Simultanes Laserstrahlschweißen einer I-Naht am T-Stoß

Die Meyer-Werft in Papenburg beschäftigt sich seit 1994 mit dem Laserstrahlschweißen, seit 1997 mit dem Laserhybridverfahren zur Herstellung von Paneelen, Decksbeplattung und weiterer Untergruppen /12/. Seit Mitte 2002 sind dort vier Laserhybridanlagen im Einsatz, **Bild 11**. Geschweißt werden Stumpf- und Kehlnähte, wobei die Blechdicken 5 mm bis 15 mm betragen.

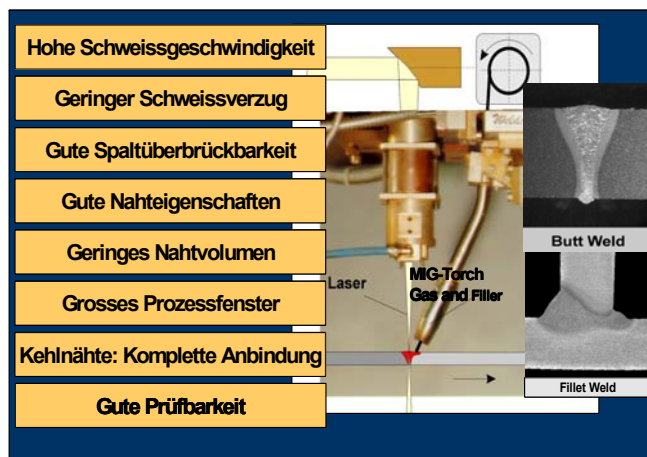
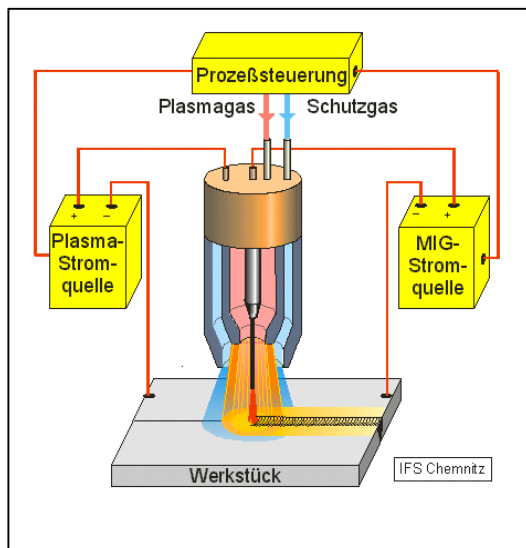


Bild 11: Einsatz des Laserhybrid-Schweißens bei der Meyer-Werft

3.2.3 Plasma- und Plasma-MSG-Schweißen

Neben dem Plasma-Schweißen, das vorwiegend im Dünnblechbereich eingesetzt wird, kommt das Plasma-MSG-Verfahren immer mehr zur Anwendung. Durch dieses Hybridverfahren können größere Ungenauigkeiten in der Schweißnahtvorbereitung besser verkraftet werden.



- fahrensmerkmale:
- ringförmige, plusgepolte Plasmaanode
 - Plasmalichtbogen mit geringer Leistungsdichte und großem Querschnitt
 - MSG-Drahtzuführung im Zentrum des Plasmalichtbogens
 - Getrennte Stromzuführung für MIG- und Plasmakomponente
 - mehrere separat steuerbare Gasströme

ild 12: Grundprinzip des Plasma- MSG-Verfahrens

Bild 12 zeigt das Prinzip des Plasma- MSG-Schweißens. Beide Lichtbögen erzeugen ein gemeinsames Schmelzbad. Dies wird durch eine Brenneranordnung erreicht, die den Plasma- und den MSG-Teil in sich vereinigt. Da beide Elektroden, die ringförmige Plasma-Elektrode und das MSG-Kontaktrohr auf engem Raum angeordnet werden, müssen beide positives oder negatives Potential gegenüber dem Werkstück haben. Durchgesetzt hat sich in der Anwendung die positive Polarität, da mehrere Faktoren für diese elektrische Polung sprechen. Die Plasma-Elektrode hat die höchste thermische Belastung auszuhalten.

Besondere Vorteile dieses Verfahrens sind:

- Die verbesserte Energiesteuerung durch die zwei getrennt steuerbaren Prozesse, den Plasma- und MSG-Lichtbogen.
- Sie ermöglichen damit eine flexiblere Steuerung des Einbrandprofils.
- Prozessintegrierte Vorwärmung durch den Plasmalichtbogen
- Die Nahtübergänge können flacher werden,
- Vermeidung von Einbrandkerben.
- Nahtanfangsbinde- und -endfehler sowie Flankenbindefehler können vermieden werden.
- Minimale Porenbildung und fast kein Spritzer auswurf

Ursprünglich wurde das Plasma-MSG-Schweißen für das Aluminium-Hochleistungsschweißen vor allem von Blechen mit einer Dicke > 5 mm entwickelt /13 – 15/. Der Anwendungsbereich ist heute wesentlich breiter.

Neuerdings wird auch Stahl mit Aktivgas geschweißt. Um die Einsatzmöglichkeiten beim Schweißen der höchstfesten Feinkornbaustähle zu prüfen, wurden Schweißungen an dem Stahl S1100QL (XABO 1100) mit dem Schweißzusatz Union X96 durchgeführt. Das nachfolgende **Bild 13** zeigt einen Makroschliff der Schweißnaht sowie die Schweißbedingungen. Sieht man von dem Blechversatz ab, so ergibt sich einlagig eine günstige Nahtüberhöhung sowie eine gut durchgeschweißte Wurzel.



Schweißmaschinen:	2 Merkle PU 400 RS
Nahtform:	I-Stoß, ohne Luftspalt
Plasmagas:	Ar + 5% H ₂
Drahtelektrode:	Union X96 Ø 1,2 mm
Schweißstrom:	gepulst 240 / 200 A
Schweißgeschwindigkeit:	25 cm/min

Bild 13: Plasma-MSG-Schweißen von XABO 1100

Der Härteverlauf über die Schweißnaht zeigt trotz der relativ hohen Wärmeeinbringung für diesen Werkstoff gute Härteverläufe, die im Bereich der Werte des Grundwerkstoffes liegen, **Bild 14**. Die Höchstwärte in der Wärmeeinflusszone überschreitet mit ca. 460 HV die Härte des Grundwerkstoffes nur geringfügig. Der Härteverlauf ähnelt dem beim üblichen Schutzgas-schweißen.

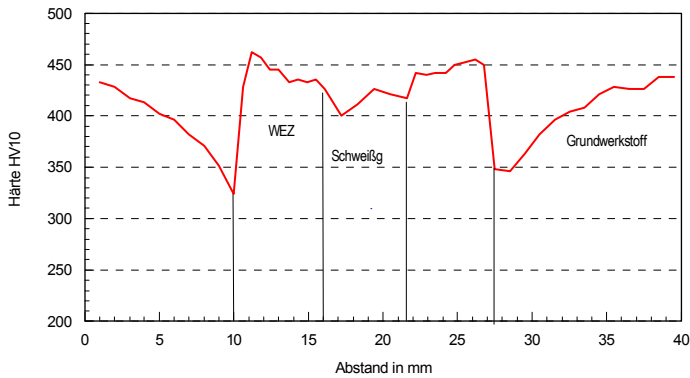


Bild 14: Härteverlauf der Plasma-MSG-geschweißten S1100QL (XABO 1100)-Verbindung

Die breite Einführung des Plasma-MSG-Schweißens in die Serienfertigung z.B. in der Autoindustrie hängt sehr wesentlich von der Zuverlässigkeit des Prozesses und der Standzeit der Brenner ab. Erste Versuche im Stahlbereich zeigen unter Anwendung von Aktivgasen (z.B. Ar+2,5%CO₂) bereits gute Ergebnisse. Schweißgeschwindigkeiten von mehr als 3 m/min sind durchaus möglich. Aufgrund der besseren Spaltüberbrückbarkeit und somit besseren Toleranzausgleich der Hybridverfahren werden zurzeit umfangreiche Untersuchungen bei den Herstellern von Betonpumpen und Autokränen zur Schweißung von Auslegern und Tragarmen durchgeführt.

4 Zusammenfassung

Hochfeste Baustähle bieten in zahlreichen Anwendungsbereichen erhebliche wirtschaftliche Vorteile. Inzwischen liegen im Hinblick auf die konventionellen Verfahren sehr viel praktische Erfahrungen für eine sachgerechte schweißtechnische Verarbeitung der hochfesten Stähle vor. Eine weitere Verbesserung im Hinblick auf die wirtschaftliche Verarbeitung bieten heute verfügbare neuzeitliche Schneid- und Schweißverfahren. Hier sind im Rahmen der thermischen Schneidverfahren besonders das Plasma- und das Laserstrahlschneiden zu nennen. Für die Schweißarbeiten an hochfesten Stählen können das Plasma- sowie das Laserstrahlverfahren bei entsprechender Einrichtung, Los- und Bauteilgröße zu technisch günstiger und wirtschaftlicher Fertigung beitragen. Die Verfahren sind ausgereift und führen zu sicheren Schweißverbindungen. Entscheidend für die Festlegung auf eins der beiden Verfahren sind die betrieblichen Gegebenheiten.

5 Schrifttum

- [1] DAST-Richtlinie 011: Hochfeste schweißgeeignete Feinkornbaustähle StE 460 und StE 690 - Anwendungen für Stahlbauten. Deutscher Ausschuss für Stahlbau, Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH, Köln.
- [2] Uwer, D. und H. Dißelmeyer : Erfahrungen mit dem Verarbeiten des hochfesten wasservergüteten Baustahls StE 890. Schweißen und Schneiden 38 (1986) Heft 9, S. 430 - 436.
- [3] Uwer, D., J. Degenkolbe und D. Herr: Schweißen moderner hochfester Baustähle. Stahl und Eisen, 112 (1992) Nr. 4, S. 29 - 35.
- [4] Uwer, D. und H. Wegmann: Schweißtechnische Verarbeitung niedriglegierter hochfester Baustähle. Stahl-Informations-Zentrum Dokumentation 570, 1.Auflage 2000, S. 92 - 96
- [5] Uwer, D. und H. de Boer: Thermomechanisch gewalzte Stähle. Technica 2 (1989), S. 65 - 70.
- [6] Bleck, W., C. Preisendanz, H.-M. Sonne, M.van Gijzel und J. Martens: Werkstoff- und umformtechnische Untersuchungen an thermomechanisch gewalzten Warmbreitbändern der Stahlsorten PAS 60 und PAS 70. Thyssen Technische Berichte, Heft 1/93, S. 41-54
- [7] Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 088, Schweißgeeignete Feinkornbaustähle, Richtlinien für die Verarbeitung, besonders für das Schweißen. 4. Ausgabe, Oktober 1993, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf
- [8] EN 1011-2 (2001), Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe – Teil 1: Allgemeine Anleitung für das Lichtbogenschweißen.
- [9] EN 1011-2 (2001), Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe – Teil 2: Lichtbogenschweißen ferritischer Stähle.
- [10] Wegmann, H.: Laserstrahlschweißen hochfester Baustähle mit Streckgrenzen zwischen 690 N/mm² bis 1100 N/mm². Forschungskolleg Stahlanwendung '99, Tagungsband 726, Innovative Fügeverfahren für Stahl, 21.04.99
- [11] Blohm+Voss Publikationen 2003-Laseranlagen: Laserschweißtechnologie bei Blohm+Voss.
- [12] Miebach, K. und H. Lembeck: Die neue Fertigung der Meyer-Werft – Laserhybridschweißen als Kerntechnologie. Schweißen und Schneiden 2003, DVS-Berichtsband 225, S. 187 - 191
- [13] Matthes, K.-J.; Kusch, M.: Plasma-MIG-Schweißen von Stählen und Aluminiumwerkstoffen 3. Chemnitzer Symposium Fügeverfahren / Schweißtechnik 14.05.1998
- [14] Matthes, K.-J.; Kusch, M.: "Plasma-MIG – ein Verfahren auch für dünne Aluminiumbleche?", Der Praktiker 6/2001, S. 220-223, ISSN 0554-9965
- [15] Plasma-MSG-Schweißen – Vorstellung einer interessanten Prozesskombination - Vortrag von Dipl.Ing. W. Rosenfeld und Dr.Ing. H. Cramer, SLV München Technologietransfer 2003