

ANLAGEN

zum

Abschlußbericht zum Projekt S 516:

***Entwicklung neuer und Optimierung
vorhandener MSG-Fülldrähte für das
Schweißen hochfester Feinkornstähle***

3. Stand der bisherigen Forschung bzw. Technik (mit Literaturangaben):

3.1 Allgemeines

In den VDI-Nachrichten vom 12.11.1999 /1/ wurde eine optimistische Perspektive der Stahlindustrie gezeichnet. In Deutschland wird zukünftig zwar weniger, aber dafür hochwertigerer Stahl benötigt (**Bild 1**).

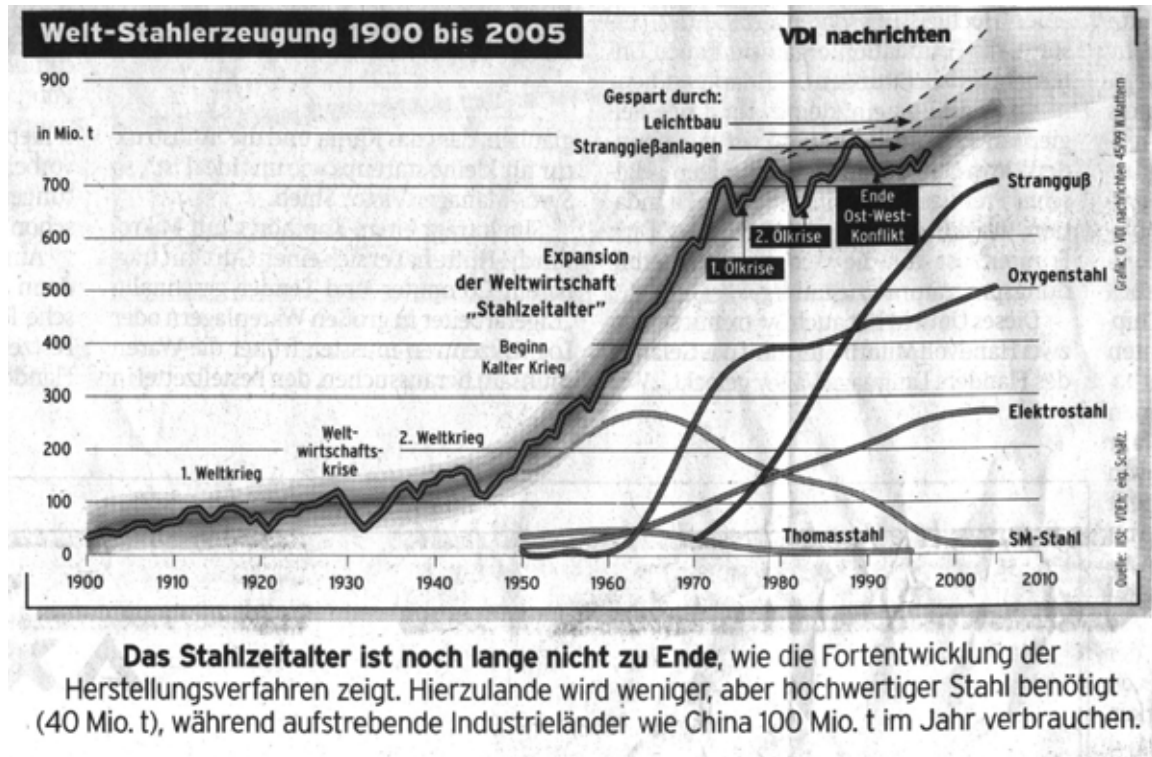


Bild 1: Entwicklung der Weltstahlerzeugung und der Stahlqualitäten /1/

Zu diesen hochwertigen Stahlsorten zählen auch die hoch- und höchstfesten Feinkornstähle. Die Entwicklung dieser Stähle hat in den letzten Jahren einen rapiden Aufschwung erlebt /21/. Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig, gewährleistet ihr Einsatz doch eine enorme Massereduzierung. Deshalb sind diese Stähle insbesondere im Stahlbau und in der Maschinen- und Fahrzeugindustrie von Interesse.

Die Verarbeitung von Stählen der Festigkeit bis 690 MPa ist im Stahlbau durch das Deutsche Institut für Bautechnik bauaufsichtlich zugelassen /2; 3/. Im Schiffbau ist der Stahleinsatz ebenfalls bis zu Mindeststreckgrenzen von 690 MPa zugelassen /4/. Eine schweißtechnische Verarbeitung ist bisher allerdings hier noch nicht erfolgt. Im Transportfahrzeugbau wird mit dem Einsatz des neuentwickelten XABO 1100 (Mindeststreckgrenze 1100 MPa) versuchsweise begonnen. Er wird auch hier im ungeschweißten Zustand verarbeitet /21/.

Es muss eingeschätzt werden, dass die Zusatzwerkstoffentwicklung hinter der Stahlentwicklung zurückgeblieben ist.

3.2. Zusatzwerkstoff-Problematik

Für die schweißtechnische Verarbeitung der hoch- und höchstfesten Feinkornstähle können die Prozesse E-, MSG- und UP-Schweißen verwendet werden. Da das E-Schweißen verhältnismäßig unwirtschaftlich und das UP-Schweißen mit zu großem Wärmeeinbringen in den Stahl verbunden ist, wird das MSG-Schweißen favorisiert.

Im September des Jahres 1999 wurde auf der Großen Schweißtechnischen Tagung festgestellt, dass gegenwärtig z.B. keine Schweißzusätze bekannt sind, deren

Mindestdehngrenze des reinen Schweißgutes ≥ 1100 MPa beträgt /5/. Die Stahlientwicklung strebt aber heute schon Mindeststreckgrenzen von 1500 MPa an /12/.

Für Stähle der Festigkeit 690 bis 960 MPa werden schon Zusatzwerkstoffe (Massivdrähte und Fülldrähte) angeboten, diese sind allerdings noch nicht genormt /5; 6; 7/.

In /6/ wird ein Überblick über den gegenwärtigen Stand der Entwicklung von Schweißzusätzen für hochfeste Feinkornstähle gegeben. Daraus wird ersichtlich, daß mindestens zwei Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um qualitativ hochwertige Schweißverbindungen an Feinkornstählen zu gewährleisten:

- a. Die Mindestgütwerte des Grundwerkstoffes sind hinsichtlich Festigkeit und Zähigkeit in der Verbindung zu erfüllen.
- b. Die Schweißverbindungen müssen fehlerfrei ausgeführt werden.

Zu a.:

Sollen die Gütwerte des Grundwerkstoffes weitestgehend auch in der Schweißnaht vorliegen, ist es erforderlich, Zusatzwerkstoffe zu entwickeln, die diesem Anspruch gerecht werden.

Während Massivdrähte für das MAG-Schweißen ausschließlich über die chemische Zusammensetzung des Drahtes beeinflusst werden können, weisen Fülldrähte eine große Variationsbreite bzgl. der chemischen Zusammensetzung des durch sie erzeugten Schweißgutes auf. Möglich wird dies im wesentlichen durch die unterschiedliche Zusammensetzung der Füllpulver.

Neben der Minimierung des Gehaltes an diffisilem Wasserstoff im abgeschmolzenen Schweißgut (s. zu b)) ist für die Anwendung der Fülldrahtelektroden bei der schweißtechnischen Verarbeitung von hoch- und höchstfesten Feinkornbaustählen insbesondere die Optimierung der chemischen Schweißgutzusammensetzung von Bedeutung. Zur Gewährleistung hoher Mindeststreckgrenzen bei gleichzeitig ausreichenden Zähigkeitseigenschaften (Grundvoraussetzung für die schweißtechnische Verarbeitung o.g. Stähle) kommt es auf eine ausgewogene Abstimmung der Zugabe der Legierungs- und Mikrolegierungselemente C, Mn, Cr, Ni, Mo, V oder Ni zum Schweißgut an.

Für hohe Zähigkeitseigenschaften muß u.a. ein optimaler Sauerstoffgehalt im Schweißgut eingestellt werden. So wird ein Optimum an kleinen, fein verteilten oxidischen Einschlüssen erreicht. Es bildet sich ein feinkörniges und duktileres Gefüge mit einem hohen Anteil an Nadelferrit.

Im folgenden sind die wesentlichen Zusammenhänge zwischen der Legierungszusammensetzung, dem Schweißgutgefüge und den mechanischen Eigenschaften von un- und niedriglegierten Schweißgütern zusammengefaßt:

- Für optimale Kerbschlagarbeitswerte soll der C-Gehalt im Bereich 0,07 bis 0,09% eingestellt werden.
- Mn erhöht den Anteil an Nadelferrit im Gefüge und infolgedessen auch die Streckgrenze des Schweißgutes. Ein Optimum der Kerbschlagzähigkeitswerte erreicht man bei 1,4 % Mn (vgl. **Bild 2**).

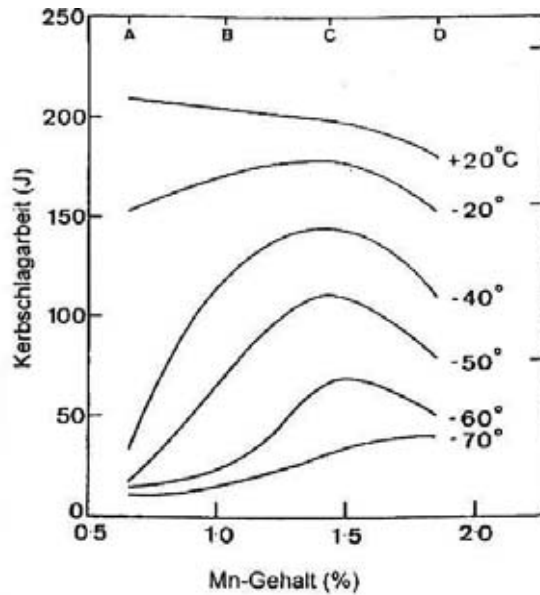


Bild 2: Einfluß des Mn-Gehaltes auf die Kerbschlagarbeitswerte des Schweißgutes /6/

- Mit zunehmendem Si-Gehalt sinkt die Kerbschlagarbeit in Abhängigkeit vom Mn-Gehalt. Bei einem optimalen Mn-Gehalt kann ein Si-Gehalt bis 0,5% toleriert werden (vgl. **Bild 3**).

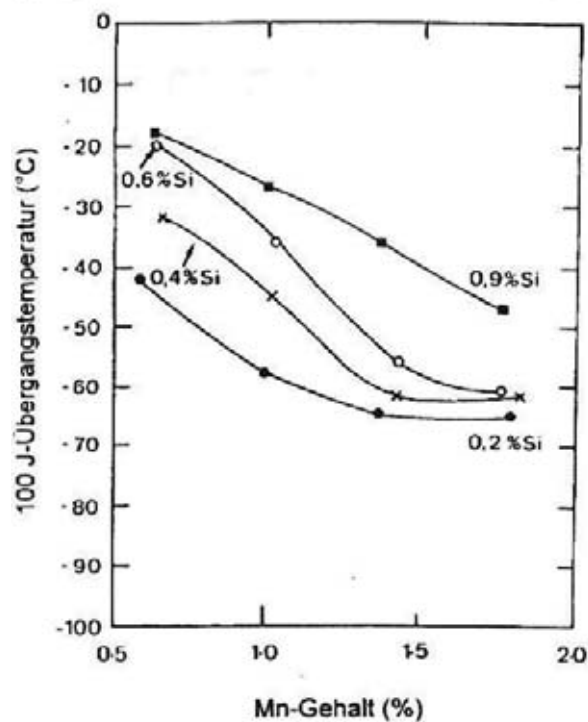


Bild 3: Einfluß von Si auf die Kerbschlagarbeitswerte des Schweißgutes /6/

- Ni verbessert die Tieftemperaturzähigkeit. Ni- und Mn-Gehalt müssen für die Gewährleistung optimaler Kerbschlagarbeitswerte aufeinander abgestimmt sein. Nimmt Ni von 0% auf 3% zu, so ist der Mn-Gehalt kontinuierlich von 1,4% auf 1,0% abzusenkten, (vgl. **Bild 4**).

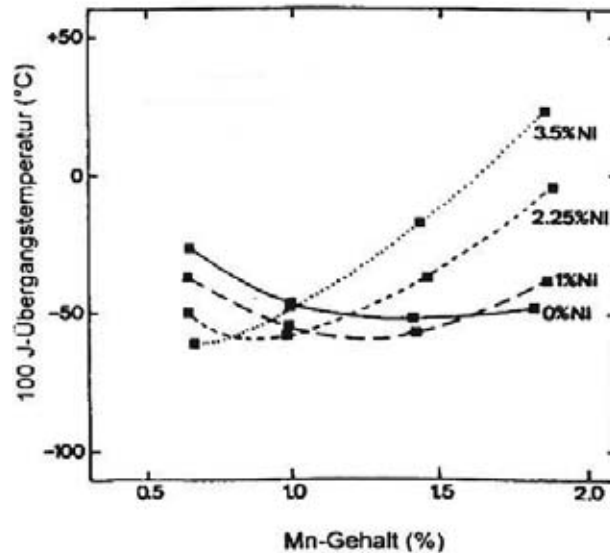


Bild 4: Einfluß von Ni auf die Kerbschlagarbeitswerte des Schweißgutes /6/

- Mo erhöht die Warmfestigkeit und beeinflusst bis zu einem Gehalt von 0,25% auch die Zähigkeit positiv. Allerdings muß auch bei der Zulegierung von Mo der Mn-Gehalt verringert werden, vom Optimum 1,4% auf 1,0%. Ein Mo-Gehalt oberhalb 0,5% verringert die Kerbschlagzähigkeit. (vgl. **Bild 5**)

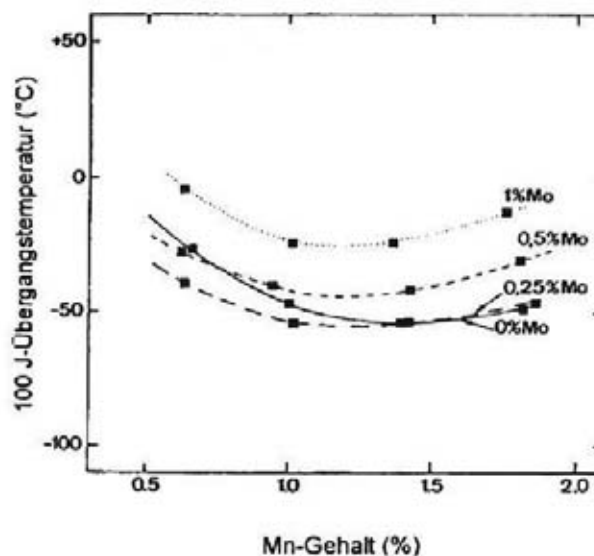


Bild 5: Einfluß von Mo auf die Kerbschlagarbeitswerte des Schweißgutes /6/

- Cr wirkt festigkeitssteigernd. Cr wird nur in Verbindung mit Mo oder Ni zugelegt, da sonst die Zähigkeitseigenschaften negativ beeinflusst werden.
- Ti beeinflusst schon in kleinen Mengen die Zusammensetzung der nichtmetallischen Einschlüsse. Die Bildung von Korngrenzenferrit wird unterdrückt und die Bildung von Nadelferrit gefördert. Es werden zwei optimale Ti-Gehalte angegeben (erstes Optimum bei 30ppm (0,003%), zweites Optimum bei 200ppm (0,02%), vgl. **Bild 6**).

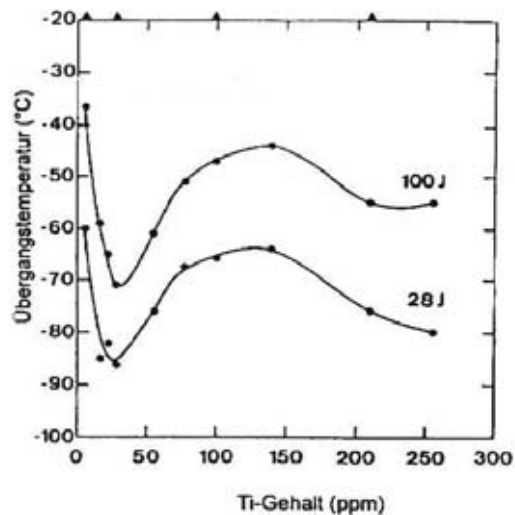


Bild 6: Einfluß von Ti auf das Mikrogefüge und die Kerbschlagarbeitswerte des Schweißgutes /6/

- B begrenzt als korngrenzenaktives Element das Austenitkornwachstum und fördert so die Ausbildung des feinkörnigen Nadelferrits. B wird in Verbindung mit Ti, aber in noch kleineren Mengen als Ti zugegeben. Es wird ein Verhältnis Ti:B von 10:1 eingestellt (vgl. **Bild 7**). B sollte bis max. 60ppm begrenzt bleiben.

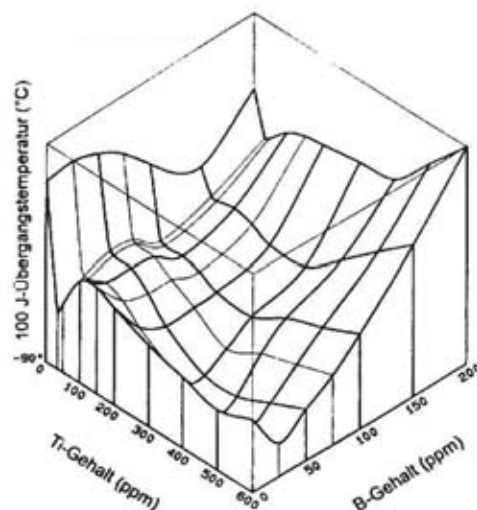


Bild 7: Einfluß von Ti und B auf die Kerbschlagarbeitswerte des Schweißgutes /6/

- Al beeinflusst als stark desoxidierendes Element das Gefüge und die Zähigkeit des Schweißgutes. Der Al-Gehalt sollte bis 400ppm begrenzt bleiben.

- Für N liegt der maximal tolerierbare Wert bei 60ppm, da N die positive Wirkung aller o.g. Legierungselemente verringern kann.
- S und P verringern die Zähigkeit, wobei der Einfluß von S stärker wirkt. Für höchste Zähigkeitsansprüche muß der S-Gehalt auf 0,007% begrenzt werden, für P können bis 0,015% toleriert werden. (vgl. **Bild 8**)

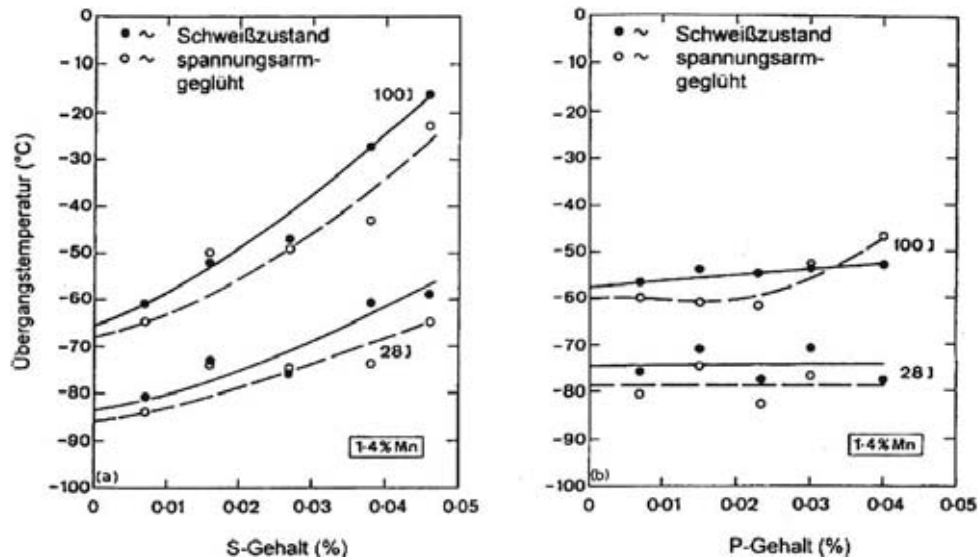


Bild 8: Einfluß von S und P auf die Kerbschlagarbeitswerte des Schweißgutes /6/

Zu b)

Die zweite Voraussetzung für die Herstellung qualitativ hochwertiger Schweißverbindungen an Feinkornstählen ist die fehlerfreie Ausführung der Schweißverbindungen. Von den in DIN EN 25817 /14/ zusammengefaßten Unregelmäßigkeiten sind hier speziell die Risse zu beachten. Bei der schweißtechnischen Verarbeitung von Feinkornstählen können neben Heißrissen vorrangig Kaltrisse auftreten.

Wasserstoffbeeinflusste Kaltrißbildung

Die drei Haupteinflussfaktoren auf die wasserstoffinduzierte Kaltrißneigung von Stählen sind:

- das Gefüge in der WEZ
- der Gehalt an diffusiblem Wasserstoff des Schweißgutes
- der Spannungszustand der Schweißverbindung

Im einzelnen wird auf diese Problematik nicht tiefgründiger eingegangen. Die umfangreiche Literatur zu diesem Thema ist den Antragstellern bekannt.

Da bei Fülldrahtelektroden das Problem des Gehaltes an diffusiblem Wasserstoff eine Rolle spielt, sollen dazu einige Ausführungen gemacht werden.

Diffusible Wasserstoffgehalte im Schweißgut basisch umhüllter Elektroden werden nach **Tab. 1** bewertet.

Tab. 1: Bewertung der Gehalte an diffusiblem Wasserstoff im Schweißgut basisch umhüllter Stabelektroden nach /8/

Gehalt an diffusiblem Wasserstoff im Schweißgut ¹⁾ Ncm ³ /100g	Bewertung
HD > 15	hoch
10 > HD ≤ 15	mittel
5 > HD ≤ 10	niedrig
HD ≤ 5	sehr niedrig

¹⁾ Nach DIN 8572 Teil1 ist HD das Volumen des diffusiblen Wasserstoffs in Ncm³, bezogen auf 100g aufgebrauchte Metallmenge

Für die Schweißzusatz- und -hilfsstoffe anderer Verfahren als dem Schweißen mit Stabelektroden gibt es z.Zt. keine allgemein anerkannten Grenzwerte, die eine vergleichbare Einteilung erlauben /8/. Da man davon ausgeht, daß bei der schweißtechnischen Verarbeitung hoch- und höchstfester Feinkornstähle die Gefahr der Kaltrißbildung bestehen kann, wird von den Stahlherstellern bei der Anwendung aller Prozesse auf einen "sehr niedrigen" Gehalt an diffusiblen Wasserstoff orientiert.

Für das MAG-Schweißen werden derzeit diffusive Wasserstoffgehalte von <5ml/100g Schweißgut bis <3ml/100g Schweißgut angegeben /6/. In anderer Literatur wird von diffusiblen Wasserstoffgehalten < 1 bis < 2ml/100g Schweißgut ausgegangen /13; 19/.

Heißrißbildung

Bei un- und niedriglegierten Stählen ist, wie bei den hochlegierten Stählen auch, die Art der Erstarrung – ferritisch oder austenitisch – für die Einschätzung der Heißrißneigung von Bedeutung.

Reine FeC-Legierungen erstarren bis zu einem C-Gehalt von 0,1% ferritisch. Bei C-Gehalten zwischen 0,1 und 0,16% erfolgt die Erstarrung zu einem Gemisch aus Ferrit und Austenit. Bei C-Gehalten über 0,16% ist eine ausschließlich austenitische Erstarrung zu beobachten. Zu beachten ist der Einfluß der Legierungselemente. Sie können die Erstarrungsarten zu höheren (Si, Cr, Mo) oder niedrigeren (Mn, Ni) C-Gehalten hin verschieben.

Austenitisches Gefüge weist eine höhere Neigung zur Heißrißbildung auf als ferritisches. Die Legierungselemente Mn und Ni fördern die Heißrißneigung, während Si, Cr und Mo diese herabsetzen /18/.

Die Stähle und Schweißgüter, die im Rahmen des Forschungsprojektes zu beurteilen sind, werden vorrangig ferritisch erstarren. Die Heißrißproblematik ist also untergeordnet und wird im Rahmen der Bearbeitung nicht untersucht.

Verfügbare Schweißzusätze

Man unterscheidet prinzipiell folgende Typen:

- Metallpulver
- basisch (schlackeführend)
- rutil (schlackeführend)

Bild 9 gibt einen Überblick über die Einteilung der Fülldrahtelektrodentypen.

Für das MAG-Schweißen geeignet:

rutile, basische Metallpulver-Fülldrähte	- nahtlos
rutile und Metallpulver-Fülldrähte	- gefalzt
rutile Fülldrähte	- geschlitzt

Bild 9: Einteilung der Fülldrahtelektroden nach Herstellungsart und Anwendungsbereich in Anlehnung an /6/

Nahtlose Fülldrähte haben folgende wesentliche Vorteile /6/:

- absolute Unempfindlichkeit der Füllung gegenüber Feuchtigkeit bei der Lagerung bis zur Verarbeitung oder in der Produktionsumgebung,
- daher keine Nachtrocknung erforderlich, auch nach Lagerung in feuchter Umgebung,
- Möglichkeit der Verkupferung für einen guten elektrischen Kontakt und gute Gleiteigenschaften in der Drahtführung,
- höchste Formstabilität für gute Drahtförderbarkeit
- keine Drahttorsion beim Schweißen für eine exakte Drahtpositionierung
- geringer diffusibler Wasserstoffgehalt des Schweißgutes (< 5ml/100g Schweißgut bis sogar < 3ml/100g Schweißgut)

Derzeit werden folgende Fülldrahtelektroden als Zusatzwerkstoffe für die schweißtechnische Verarbeitung o.g. Stähle empfohlen /7/:

Stahl	Empfohlene Zusatzwerkstoffe (Legierungstyp ¹⁾ und Schutzgas ²⁾)
S 690	Mn2NiCrMo mit CO ₂ oder M2
S 890	Mn2Ni1CrMo mit M2
S 960	keine Empfehlung
S 1100	keine Empfehlung

1) nach Entwurf DIN EN 12535, Nov. 1996 /9/

2) nach DIN EN 439 (zu beachten: bei Verwendung anderer Schutzgase sind Veränderungen der Schweißguteigenschaften zu erwarten) /10/

In /6/ werden folgende Angaben zu Legierungstypen von basischen Fülldrahtelektroden gemacht. Diese sind weitgehend auch als Metallpulver-Fülldrahtelektroden verfügbar.

Legierungstyp	Zusammensetzung in %	Mindeststreckgrenze des Schweißgutes in MPa	Kerbschlagarbeits- werte des Schweißgutes
Mn	1,4 Mn	420	>60J bei -40°C
MnNi	0,9Mn/2,5Ni	440	>47J bei -80°C
	1,4Mn/1,2Ni	470	>47J bei -60°C
MnMo	1,4Mn/0,5Mo	490	>40j bei -40°C
MnNiMo	1,4Mn/1,2Ni/0,4Mo	560	>47J bei -60°C
MnCrNiMo	1,3Mn/0,4Cr/2,4Ni/0,4Mo	690	>47J bei -60°C
	1,7Mn/1,0Cr/1,8Ni/0,4Mo	890	>47J bei -40°C

In /2/ und /3/ werden keine konkreten Angaben zu den zu verwendenden Zusatzwerkstoffen ausgeführt. Es bleibt in /2/ bei den allgemeinen Angaben, daß im Interesse der Kaltrißsicherheit, nur solche Schweißzusätze zu verwenden sind, "die im Vergleich zum

Grundwerkstoff keine unnötig hohe Festigkeit und einen hinreichend niedrigen Wasserstoffanteil im Schweißgut ergeben".

In /3/ geht man zumindest soweit, für das Schweißen ohne Vorwärmung den Gehalt an diffusiblen Wasserstoff im Schweißgut auf maximal 5ml/100g Schweißgut zu begrenzen. Das Schweißgut muß die Gewährleistungswerte des Grundwerkstoffes erfüllen, und unnötig hohe Zugfestigkeitswerte des Schweißgutes müssen im Vergleich zum Grundwerkstoff vermieden werden. Diese Forderungen werden auch in /11/ aufgestellt.

Die Forderung, daß Zusatzwerkstoffe eingesetzt werden sollen, die keine höhere Festigkeit des Schweißgutes erzeugen als der Grundwerkstoff selbst aufweist, entspricht tendenziell dem undermatching Prinzip. Darunter versteht man die Erzeugung von Schweißgut mit geringerer Festigkeit als der des Grundwerkstoffes. Dieses Prinzip wird für die schweißtechnische Verarbeitung von Feinkornbaustählen mit Mindeststreckgrenzen von > 500MPa empfohlen.

Bis zu dieser Mindeststreckgrenze wird eine dem Grundwerkstoff gleiche oder höhere Mindeststreckgrenze des Schweißgutes empfohlen.

Die wesentlichen Vorteile dieses Prinzips liegen in:

- erhöhter Zähigkeit des Schweißgutes
- erhöhter Duktilität der Schweißnaht insgesamt
- geringerer Empfindlichkeit gegen Rißbildung /12/
- der Möglichkeit des Schweißgutes, Spannungsspitzen durch örtliche plastische Deformation abzubauen

3.3 Prüfmethode für Schweißzusätze

Mit der Norm DIN EN 1597 „Schweißzusätze Prüfmethode“ /23/ liegt eine Vorschrift vor, nach der die mechanischen Eigenschaften des Schweißgutes bestimmt werden können. Teil 1 behandelt allgemein die Prüfstücke zur Entnahme von Proben aus reinem Schweißgut, Teil 2 beschreibt die Vorbereitung eines Prüfstückes von Einlagen- und Lage/Gegenlage-Schweißungen an Stahl und Teil 3 die Prüfung der Eignung für Schweißpositionen an Kehlnahtschweißungen.

Die Ergebnisse dieser Prüfungen können nicht als Anforderungen oder Erwartungen für eine Verfahrensprüfung angesehen werden. Sie sind jedoch Voraussetzungen dafür und müssen deshalb im Rahmen des vorliegenden Antrages durchgeführt werden.

Wenn Ergebnisse, die den Anforderungen der DIN EN 1597 entsprechen, im Rahmen von Verfahrensprüfungen erreicht wurden, gelten die Schweißzusätze als geprüft in Übereinstimmung mit der o.g. Norm.

3.4 Verfahrensprüfungen

Verfahrensprüfungen werden nach DIN EN 288 Teil 3 /15/ ausgeführt und bewertet. Für die Anwendung im Stahlbau ist die DVS-Richtlinie 1702 /16/ zu beachten. Darüber hinaus werden bei Bedarf die Regelungen verschiedener Zulassungsorgane (z.B. GL) oder werkseigene Festlegungen angewendet.

Um die Schweißverfahrensprüfung ausführen zu können, muß eine Schweißanweisung nach DIN EN 288-2 /17/ aufgestellt werden. Die Schweißanweisung beinhaltet alle für die Ausführung der Schweißarbeiten relevanten Angaben (vgl. **Bild 10**).

Schweißanweisung des Herstellers (WPS)

Ort: _____ Prüfer oder Prüfstelle: _____
 Schweißverfahren des Herstellers: _____ Art der Vorbereitung und Reinigung: _____
 Beleg Nr.: _____ WPAR Nr.: _____ Spezifikation des Grundwerkstoffs: _____
 Hersteller: _____
 Name des Schweißers: _____
 Schweißprozeß: _____
 Nahtart: _____ Werkstückdicke (mm): _____
 Einzelheiten der Fugenvorbereitung Außendurchmesser (mm): _____
 (Zeichnung *): _____ Schweißposition: _____

Gestaltung der Verbindung	Schweißfolge

Einzelheiten für das Schweißen

Schweiß- raupe	Prozeß	Durchmesser des Zusatz- werkstoffes	Stromstärke A	Spannung V	Stromart/ Polung	Draht- vorschub	Vorschubge- schwindigkeit *)	Wärmeein- bringung *)

Zusatzwerkstoff
 – Einteilung und Markenname: _____
Sondervorschriften für Trocknung: _____
Schutzgas/Schweißpulver
 – Schutzgas: _____
 – Wurzelschutz: _____
Gasdurchflußmenge
 – Schutzgas: _____
 – Wurzelschutz: _____
Wolframelektrodenart/Durchmesser: _____
Einzelheiten über Ausfugen/Schweißbadsicherung: _____
Vorwärmtemperatur: _____
Zwischenlagentemperatur: _____
Wärmenachbehandlung und/oder Aushärten: _____
Zeit, Temperatur, Verfahren: _____
Erwärmungs- und Abkühlungsrate*): _____

Weitere Informationen *): _____
 z. B.: Pendeln (maximale Raupenbreite): _____
 Pendeln: Amplitude, Frequenz, Verweilzeit: _____
Einzelheiten für das Pulsschweißen: _____
Kontaktdüsenabstand: _____
Einzelheiten für das Plasmaschweißen: _____
Brenneranstellwinkel: _____

Hersteller

Prüfer oder Prüfstelle

Name, Datum und Unterschrift

Name, Datum und Unterschrift

*) Falls gefordert

Bild 10: Schweißanweisung nach DIN EN 288-2

Die so aufgestellte Schweißanweisung gilt als sog. vorläufige Schweißanweisung (pWPS), bis sie nach einer der in den Teilen 4 bis 12 der DIN EN 288 möglichen Vorgehensweisen anerkannt wurde.

Um in der Schweißanweisung auf den Grundwerkstoff abgestimmte Schweißparameter (I_s , U_s , v_s) angeben zu können, muß im Vorfeld der für den Grundwerkstoff optimale Abkühlzeitbereich bestimmt werden. Dies kann nur mit Hilfe von Schweiß-ZTU-Schaubildern exakt realisiert werden.

Schweiß-ZTU-Schaubilder

Schweiß-ZTU-Schaubilder sind bewährte Hilfsmittel in der Schweißtechnik. **Bild 11** zeigt Beispiele für die Anwendung von Schweiß-ZTU-Schaubildern.

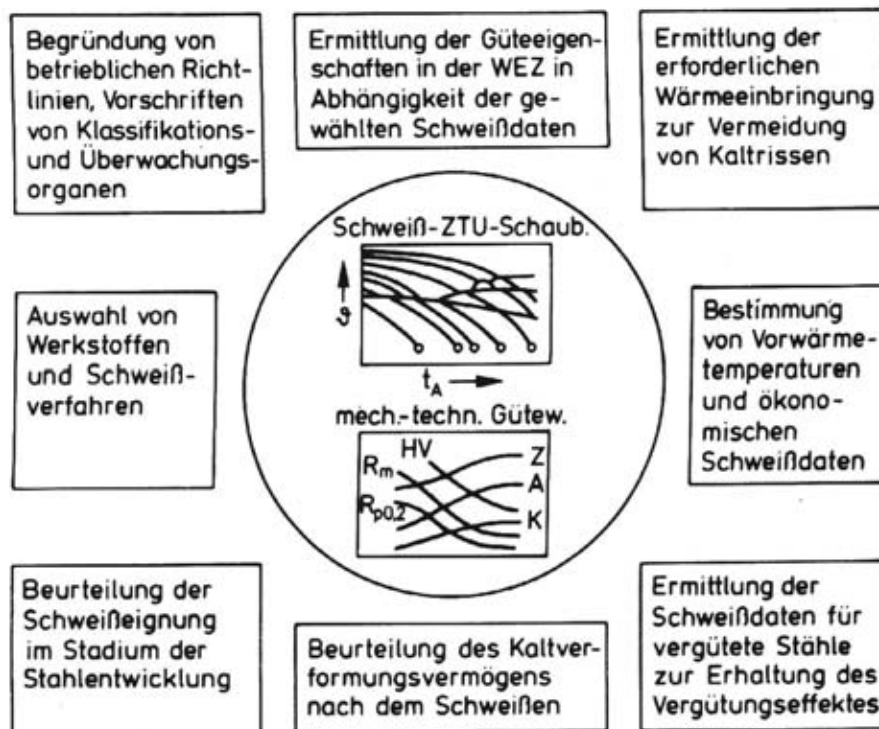


Bild 11: Beispiele für die Anwendung von Schweiß-ZTU-Schaubildern /20/

Für das vorliegende Forschungsprojekt sind die Punkte:

- Ermittlung der erforderlichen Wärmeeinbringung zur Vermeidung von Kaltrissen
 - Bestimmung der Vorwärmtemperaturen und ökonomischer Schweißdaten
 - Begründung von betrieblichen Richtlinien, Vorschriften von Klassifikations- und Überwachungsorganen
- von besonderer Bedeutung.

Schweiß-ZTU-Schaubilder (**Bild 12**) dienen der Beurteilung des Umwandlungsverhaltens in der Grobkornzone der Wärmeeinflußzone von Stählen. Durch die Ergänzung der Schaubilder mit Diagrammen mechanisch-technologischer Eigenschaften (**Bild 13**) ist die Einschätzung der Härte (HV10), der Steckgrenze ($R_{p0.2}$), der Zugfestigkeit (R_m), der Bruchdehnung (A) und -einschnürung (Z) in Abhängigkeit von der Wärmeeinbringung beim Schweißen möglich.

Die Schweiß-ZTU-Schaubilder werden u.a. genutzt, um optimale Abkühlzeitbereiche für die schweißtechnische Verarbeitung von Stählen zu ermitteln. Auf der Grundlage der optimalen Abkühlzeitbereiche ist es möglich, geeignete Schweißparameter abzuleiten.

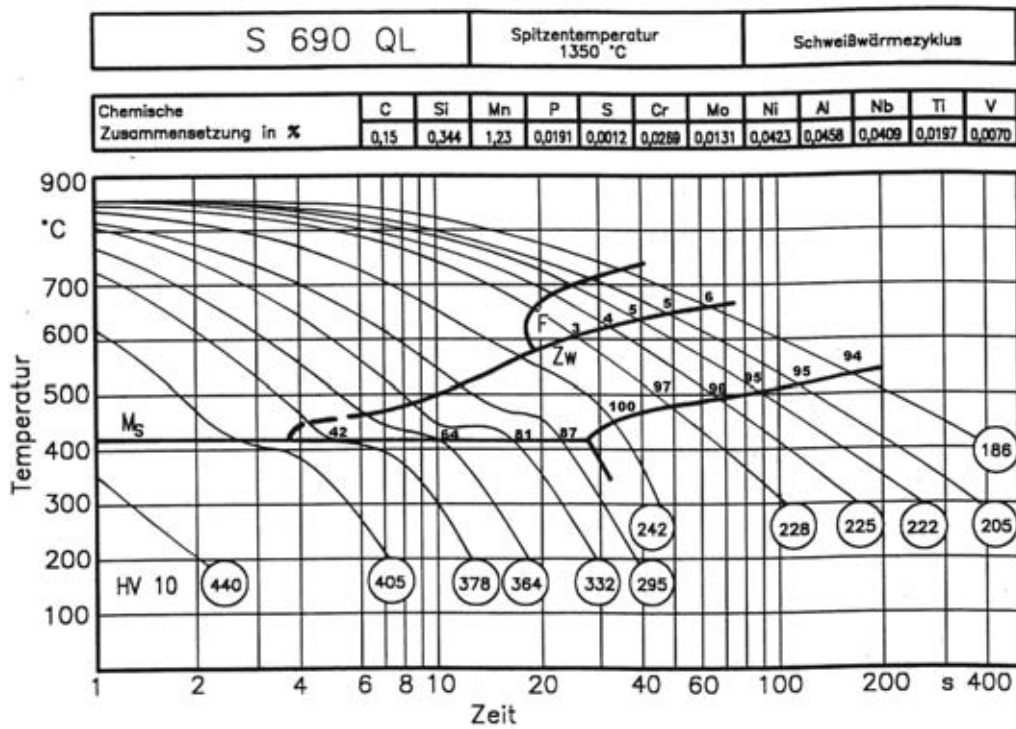


Bild 12: Beispiel für ein Schweiß-ZTU-Schaubild (Stahl S 690 QL) /22/

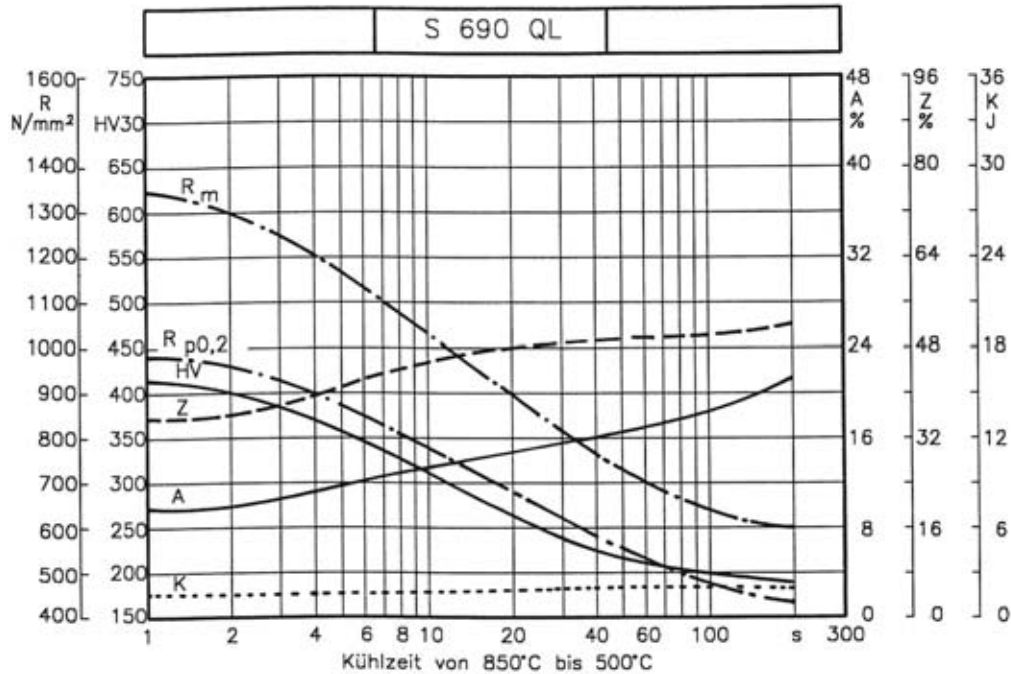


Bild 13: Beispiel für ein Diagramm mechanisch-technologischer Eigenschaften (Stahl S 690 QL, vgl. Bild 12) /22/

3.5 Literatur:

- /1/ VDI-Nachrichten 12. Nov. 1999, Nr. 45; S. 4

- /2/ Flach- und Langerzeugnisse aus warmgewalzten schweißgeeigneten Feinkornbaustählen im thermomechanisch (TM) gewalzten Zustand S355M/ML und S460M/ML
Zulassungsbescheid Z-30.2-2 des Deutschen Instituts für Bautechnik

- /3/ Bauprodukte aus hochfesten schweißgeeigneten Feinkornbaustählen S460N und NL, S460NH und NLH, S690QL und S690QL1
Zulassungsbescheid Z-30.1-1 des Deutschen Instituts für Bautechnik

- /4/ GL-Klassifikations- und Bauvorschriften, Teil II Werkstoff- und Schweißtechnik, Teil 1: Metallische Werkstoffe, Ausgabe 1998

- /5/ Heinemann, H.; Horn, G.; Thieme, S.:
Metallaktivgasschweißen des höchstfesten Feinkornbaustahles S1100Q.
DVS-Berichtsband 204 Schweißen und Schneiden.
Vortrag auf der Großen Schweißtechnischen Tagung in Weimar 15.-17.09.1999, S. 266ff

- /6/ Nies, H.:
Schweißzusätze für hochfeste Feinkornbaustähle - ein Überblick.
Schweißtechnisches Jahrbuch 1999, S. 86ff

- /7/ DVS-Merkblatt 0916:
Metall-Schutzgasschweißen von Feinkornbaustählen, Ausgabe 11/97

- /8/ SEW 088:
Schweißgeeignete Feinkornbaustähle. Richtlinien für die Verarbeitung, besonders für das Schmelzschweißen. Ausgabe 10/93

- /9/ Entwurf DIN EN 12535:
Schweißzusätze. Fülldrahtelektroden zum Metallschutzgasschweißen von hochfesten Stählen. Einteilung. , Nov. 1996

- /10/ DIN EN 439:
Schweißzusätze. Schutzgase zum Lichtbogenschweißen und Schneiden. Ausg. 10/94

- /11/ Stahl-Informationen Zentrum Merkblatt 381:
Schweiß unlegierter und niedriglegierter Baustähle.

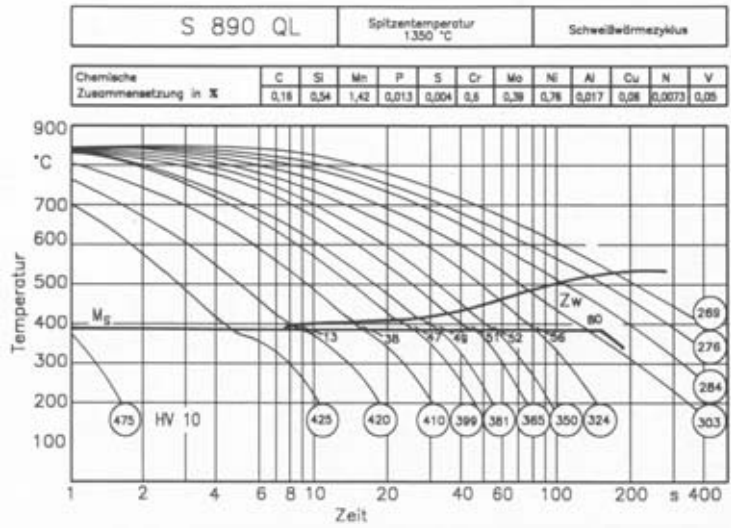
- /12/ Unterlagen des Erfahrungsaustausches für Schweißfachingenieure, Schweißtechniker, Schweißfachmänner der SLV M/V am 06.12.1999 in Rostock

- /13/ Hanus, F.:
Entwicklung von hochfestem Feinkornbaustahl für das Kraftwerk Cleuson-Dixeuce.
Schweißen und Schneiden, 49 (1997), H. 9, S. 649ff

- /14/ DIN EN 25817:
Lichtbogenschweißverbindungen an Stahl. Richtlinie für die Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten. Ausg. 09/92

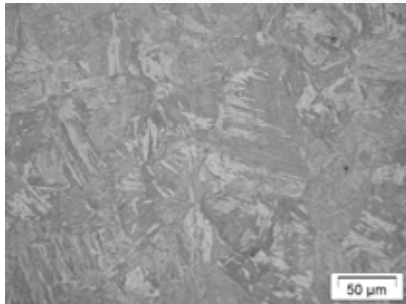
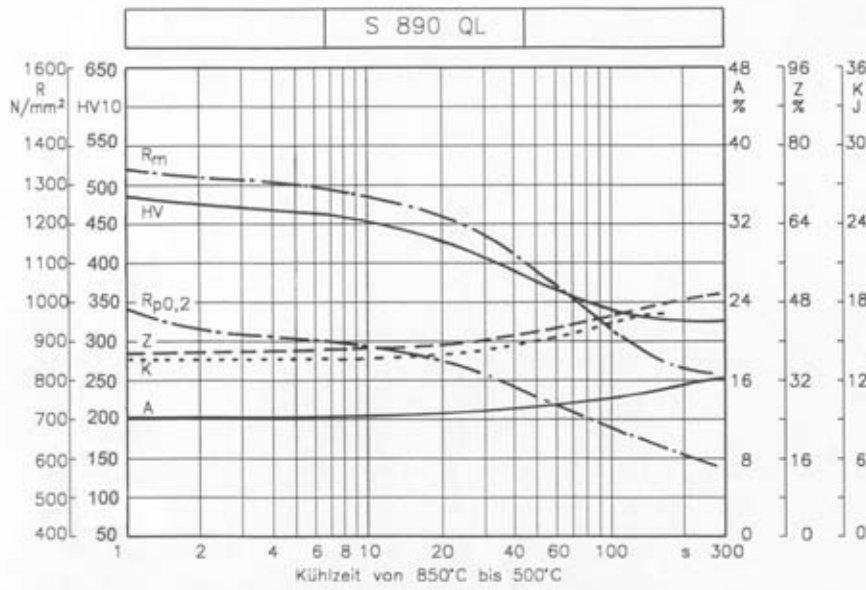
- /15/ DIN EN 288 Teil3:
Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe.
Teil 3: Schweißverfahrensprüfungen für das Lichtbogenschweißen von Stählen.
Ausg. 04/92

- /16/ DVS-Richtlinie 1702:
Verfahrensprüfungen im Stahlbau für Schweißverbindungen an hochfesten
schweißgeeigneten Feinkornbaustählen. Ausg. 11/99
- /17/ DIN EN 288 Teil 2:
Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe.
Schweißanweisung für das Lichtbogenschweißen. Ausg. 04/92
- /18/ Killing, R.:
Angewandte Schweißmetallurgie. Anleitung für die Praxis.
DVS-Verlag, 1996
- /19/ Amerikanische Normung Angabe noch von Dr. Rosert
- /20/ Seyffarth, P., Meyer, B. Scharff, A.:
Großer Atlas Schweiß-ZTU-Schaubilder. Fachbuchreihe Schweißtechnik Bd. 110
DVS-Verlag 1992
- /21/ Drews, E.-J.; Engl, B.; Kruse, J.:
Höherfeste Stähle - heute und morgen.
Stahl und Eisen 119 (1999) Heft 5, S. 115ff
- /22/ Nolde, P.; Meyer, B.:
Einfluß der Tiefentschwefelung auf die Kaltrißsicherheit hochfester Stähle.
Schiffbauforschung 37 (1998) Heft 2, S. 68ff
- /23/ DIN EN 1597
Schweißzusätze, Prüfmethoden.
Teil 1: Prüfstück zur Entnahme von Proben aus reinem Schweißgut an Stahl, Nickel und
Nickellegierungen. (Ausgabe 10/97)
Teil 2: Vorbereitung eines Prüfstücks für die Prüfung von Einlagen- und Lage/Gegenlage
-Schweißungen an Stahl. (Ausgabe 10/97)
Teil 3: Prüfung der Eignung für Schweißpositionen an Kehlnahtschweißungen .
(Ausgabe 10/97)

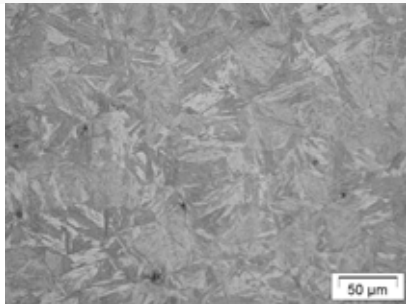


Ausgangszustand:

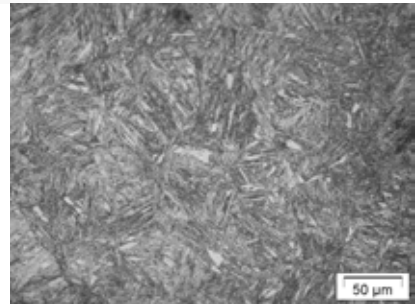
- HÄRTE = 308 HV10
- $R_{p0,2}$ = 834 MPa
- R_m = 869 MPa
- A_5 = 16 %
- Z = 43 %
- K = 15 J



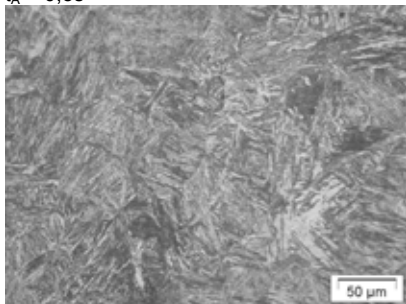
$t_A = 0,3s$



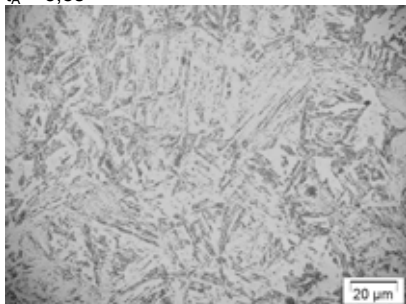
$t_A = 3,8s$



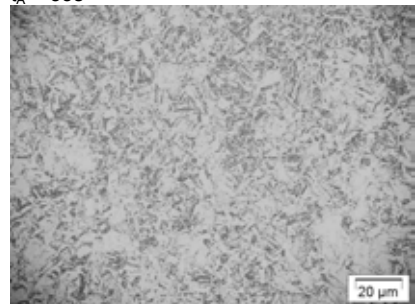
$t_A = 33s$



$t_A = 71s$

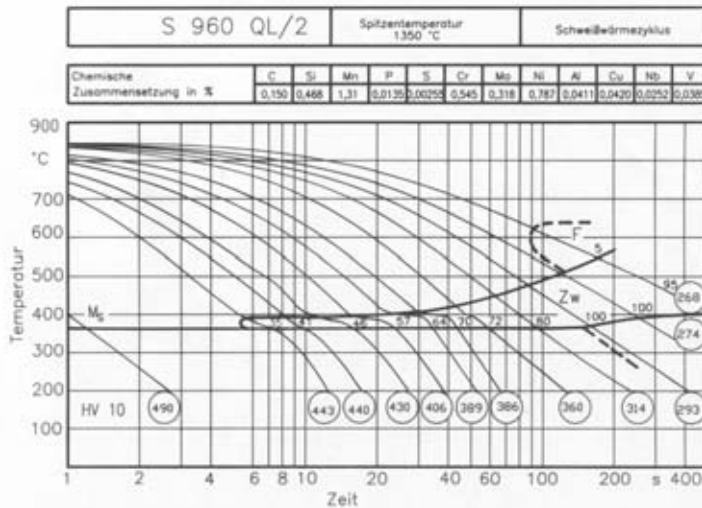


$t_A = 157s$



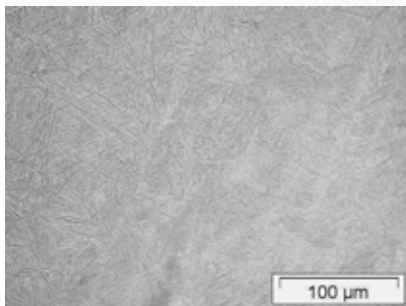
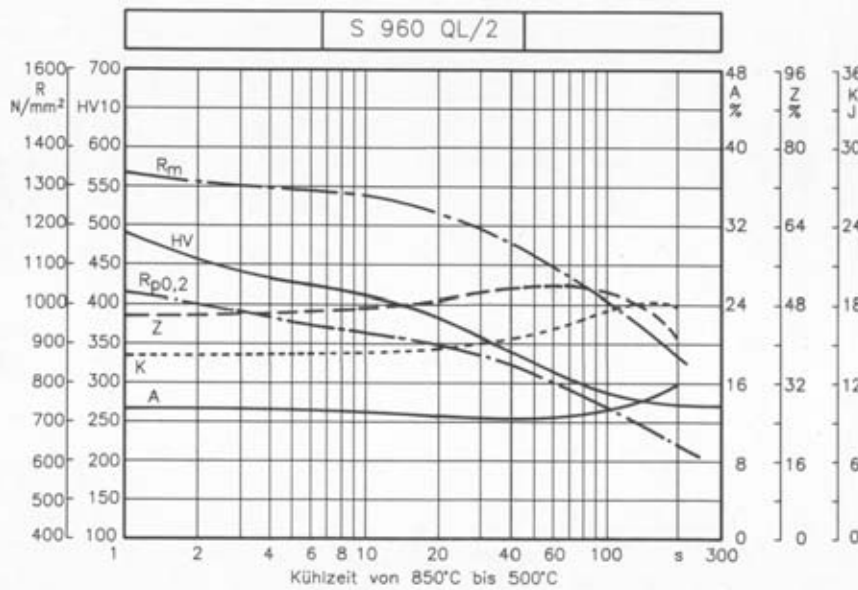
Ausgangszustand

Bild 4.2: Schweiß-ZTU-Schaubild, Diagramm mechanisch-technologischer Eigenschaften und ausgewählte Schliiffbilder des Stahls S890

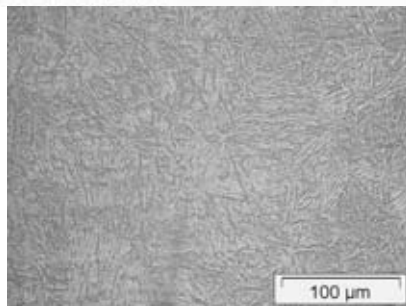


Ausgangszustand:

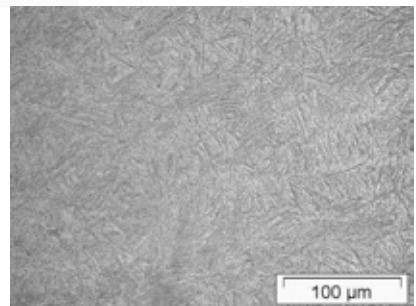
HÄRTE = 393 HV10
 $R_{p0,2}$ = 964 MPa
 R_m = 1034 MPa
 A_5 = 15 %
 Z = 48 %
 K = 14 J



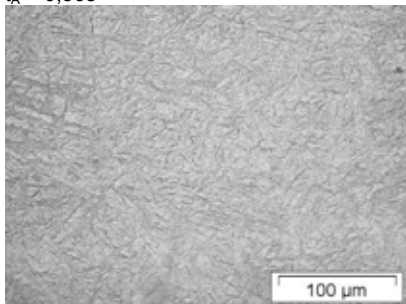
$t_A = 0,56s$



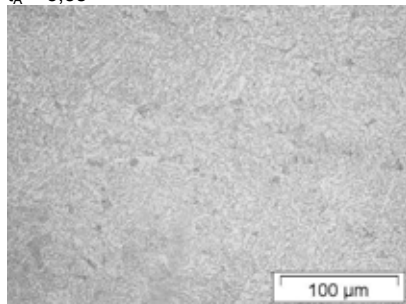
$t_A = 3,5s$



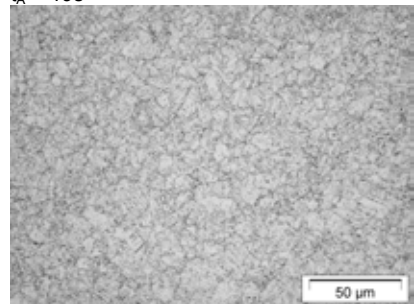
$t_A = 19s$



$t_A = 52s$

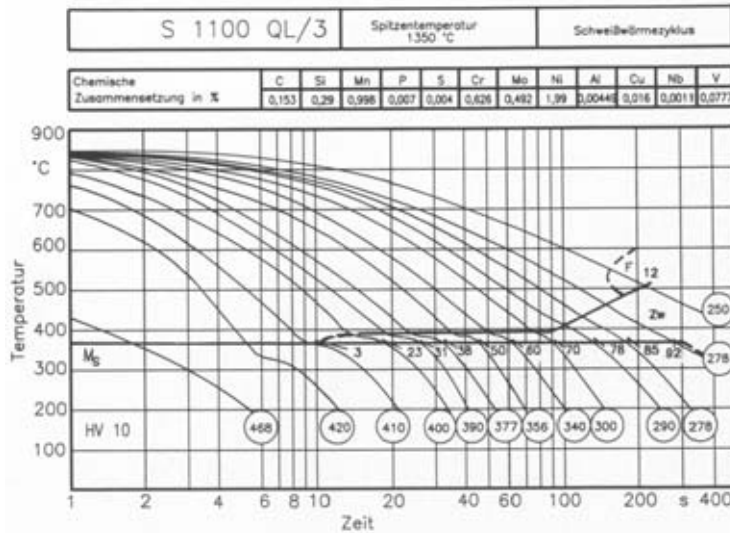


$t_A = 230s$



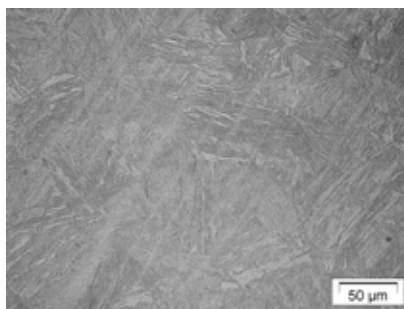
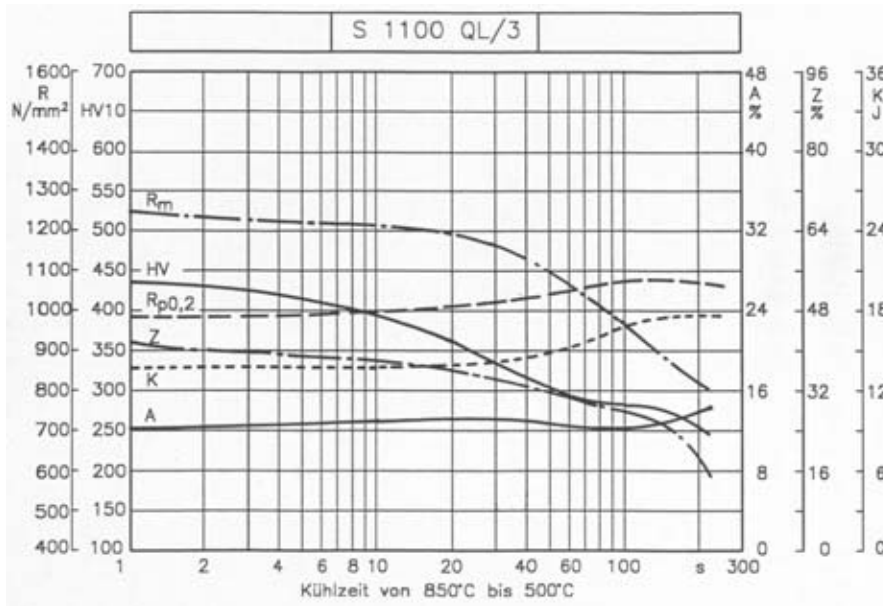
Ausgangszustand

Bild 4.3: Schweiß-ZTU-Schaubild, Diagramm mechanisch-technologischer Eigenschaften und ausgewählte Schlibfbilder des Stahls S960

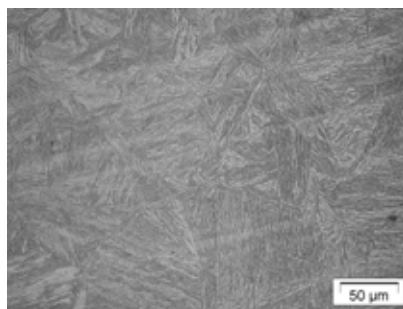


Ausgangszustand:

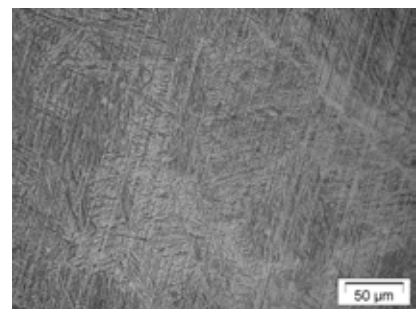
HÄRTE = 422 HV10
 $R_{p0,2}$ = 1182 MPa
 R_m = 1367 MPa
 A_5 = 15 %
 Z = 64 %
 K = 16 J



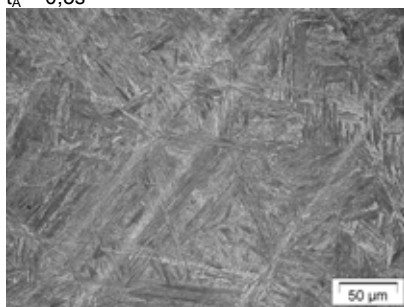
$t_A = 0,3s$



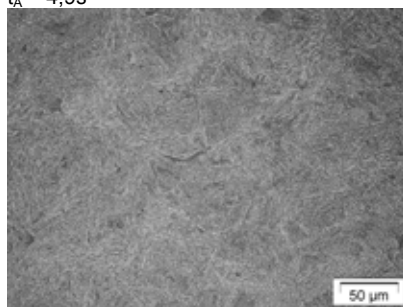
$t_A = 4,9s$



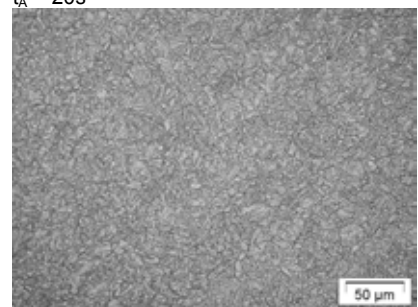
$t_A = 20s$



$t_A = 47s$

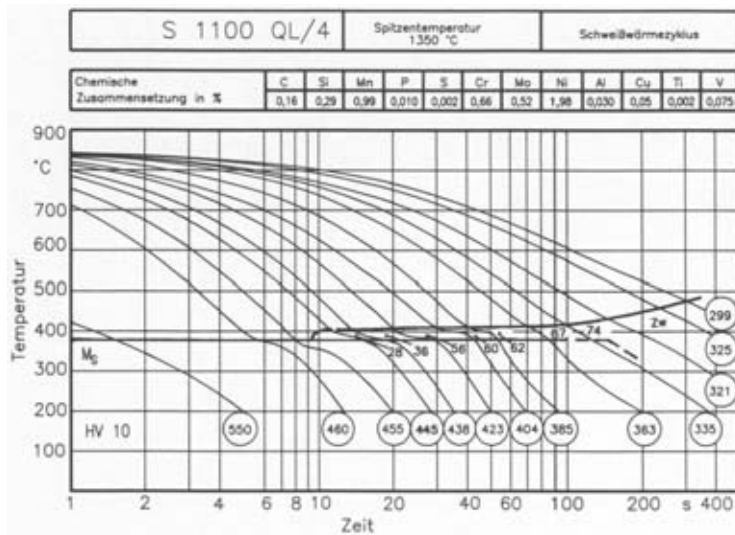


$t_A = 208s$



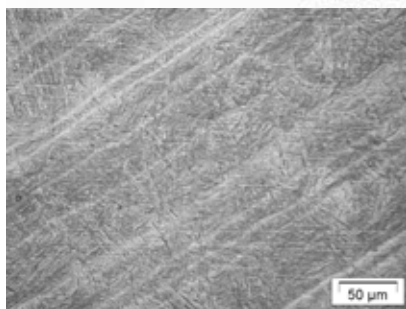
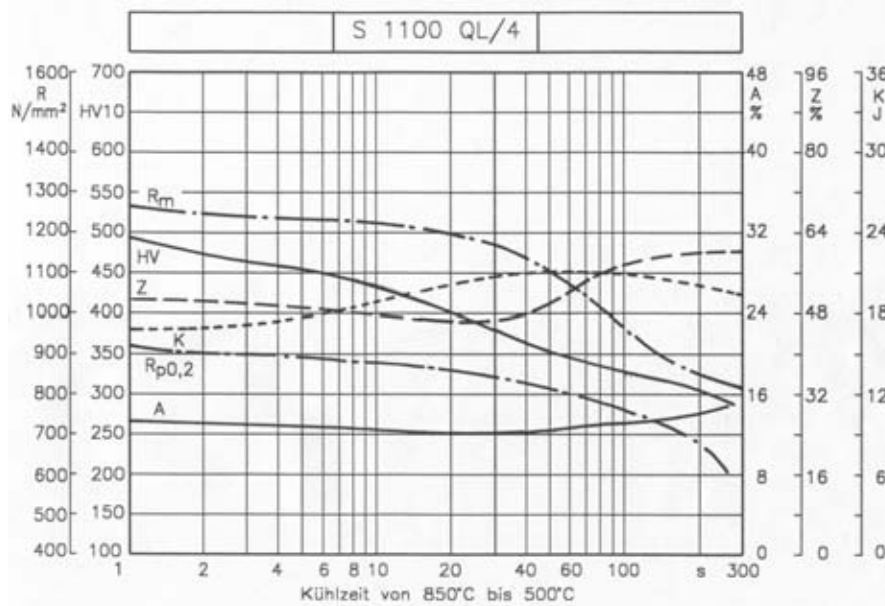
Ausgangszustand

Bild 4.4: Schweiß-ZTU-Schaubild, Diagramm mechanisch-technologischer Eigenschaften und ausgewählte Schlibfbilder des Stahls S1100, Charge 3

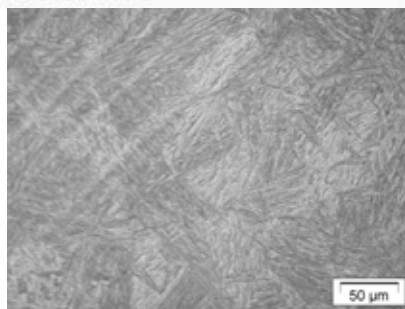


Ausgangszustand:

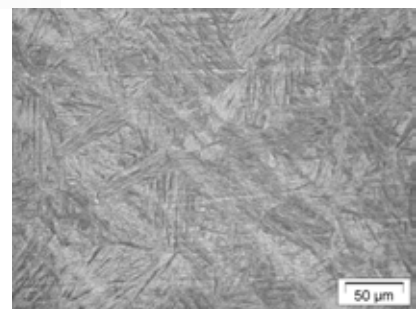
HÄRTE = 455 HV10
 $R_{p0,2}$ = 1074 MPa
 R_m = 1250 MPa
 A_5 = 13 %
 Z = 57 %
 K = 15 J



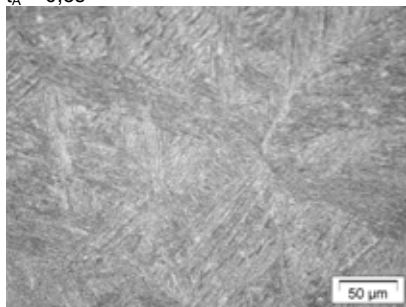
$t_A = 0,3s$



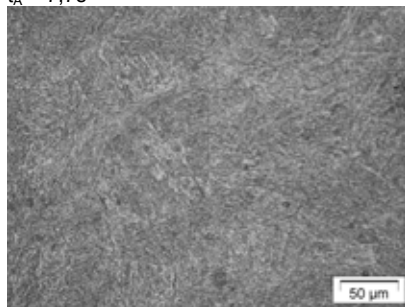
$t_A = 7,7s$



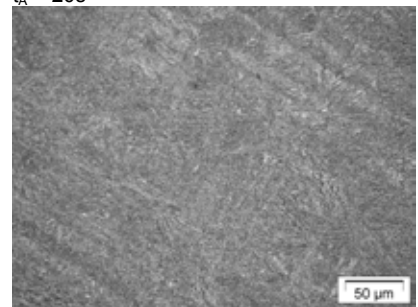
$t_A = 20s$



$t_A = 59s$



$t_A = 262s$



Ausgangszustand

Bild 4.5: Schweiß-ZTU-Schaubild, Diagramm mechanisch-technologischer Eigenschaften und ausgewählte Schlibfbilder des Stahls S1100, Charge 4