Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 34 (1943)
Heft: 21

Artikel: Erfahrungen beim Schweissen von Wasserturbinen
Autor: Oertli, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057757

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Der eine (*1*) trägt die eigentliche Erregerwicklung, der andere (*2*) die Gegenkompoundwicklung. Die Erregerwicklung erhält die erregende Spannung durch Hilfsbürsten (*4*).

Die Schweisstüchtigkeit genügt hohen Ansprüchen. Zum Schluss sind noch die zwei üblichen Oszillogramme wiedergegeben, die den Verlauf des Schweißstromes bei plötzlichem Kurzschluss des unbelasteten Generators (Fig. 12a) und den Verlauf der Klemmenspannung beim Abschalten des Kurzschlußstromes Fig. 12b) zeigen. Das Fehlen einer Kurzschlußstromspitze und die sofortige Wiederkehr der Klemmenspannung bestätigen das praktisch trägheitslose Verhalten des Generators in der betreffenden Regelstellung.

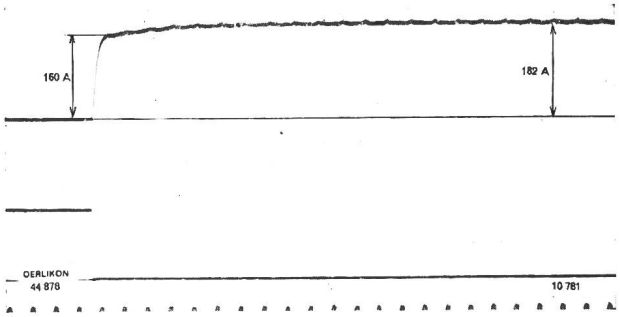


Fig. 12a.
Verlauf des Schweißstromes bei plötzlichem Kurzschluss des unbelasteten Generators
Am unteren Rand: Zeitmarken im Abstand von 0,02 s

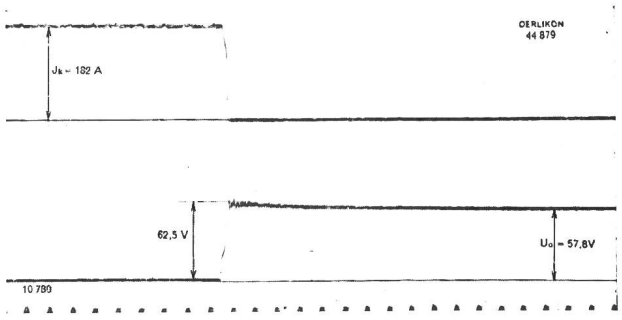


Fig. 12b.
Verlauf der Klemmenspannung beim Abschalten des Kurzschlußstromes (Fig. 12a)
Am unteren Rand: Zeitmarken im Abstand von 0,02 s

5. Zusammenfassung

Die Schweisstüchtigkeit von Gleichstromschweissgeneratoren von der Art der Gegenkompoundgeneratoren kann durch zwei einer Regelstellung zugeordnete Zahlenwerte erfasst werden, nämlich durch den sogenannten statischen und den dynamischen Beruhigungsgrad.

Erfahrungen beim Schweissen von Wasserturbinen

Referat, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 5. Mai 1943 in Basel,

von *H. Oertli*, Bern

621.791 : 621.24

Massnahmen beim Schweissen von Rissen an Pelton-Schaufeln, an Grauguss-Schaufeln und Blech-Schaufeln von Francis-Turbinen und beim Einschweissen von Blechstücken in ein gusseisernes Francis-Laufrad. Erfahrungen über die Widerstandsfähigkeit von Schweissungen gegen Kavitationsanfressungen.

Soudure de fissures dans des aubes de turbines Pelton, des aubes en fonte grise et en tôle de turbines Francis, soudure de tôles sur une roue Francis en fonte de fer; méthodes appliquées. Expériences faites au sujet de la résistance des soudures aux attaques par cavitation.

Die elektrische Schweissung ist ein vorzügliches Mittel zur Reparatur von Wasserturbinen, das wir uns heute nicht mehr wegdenken können. Eine saubere Schweissung allein genügt aber in vielen Fällen noch nicht, um den gewünschten Erfolg zu erreichen. Einige Beispiele aus der Praxis mögen dies zeigen; sie sind nicht neu; dafür haben sie den Vorteil, dass nun mehrjährige Erfahrungen über die beschriebenen Verfahren vorliegen. Dem einen mögen diese Beispiele seine eigenen Erfahrungen bestätigen, dem andern können sie vielleicht nützliche Winke und Anregungen für gleiche und ähnliche Fälle geben.

1. Risse an Schaufeln einer Peltonturbine

Wegen Anfressungen wurden die Schaufeln einer Peltonturbine bei der Eintrittskante geschweisst. Zwei Jahre nach diesen Schweissungen wiesen mehrere Schaufeln an der Eintrittskante Risse auf, wie Fig. 1 als Beispiel zeigt; nach neuer Schweissung rissen die Schaufeln nach verhältnismässig kurzer Zeit wieder. Wir mussten daher ein Verfahren zur Vermeidung neuer Risse suchen.

Offenbar waren die Risse — neben der Wirkung des Wasserstrahles — auf Zugspannungen in der Eintrittskante zurückzuführen. Das Totglühen der Schaufeln zur Beseitigung innerer Spannungen kam nicht in Betracht; das Verfahren musste ohne Demontage der Schaufeln durchführbar sein.

Schweisst man einen Riss der Eintrittskante ohne besondere Massnahmen, so wird, auch wenn man

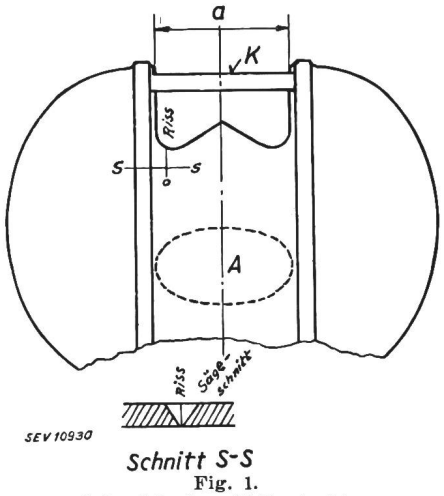


Fig. 1.
Schaufel einer Peltonturbine
Als Vorbereitung zum Schweissen: Wärmen bei *A* und Ausspannen des Maules (Maulweite *a*) mit dem Keil *K*.

das Schweissgut hämmert, die Eintrittskante nach dem Abkalten unter Zug stehen, weil sie, gehindert durch die Steifigkeit der Schaufel, sich beim Abkühlen nicht frei zusammenziehen kann; die Maulweite der Peltonschaufel ist nach dem Schweissen kleiner als vor dem Schweissen; die Verkleinerung der Maulweite ist ein gewisses Mass für die Zugspannung der Eintrittskante.

Zur Vermeidung von Zugbeanspruchungen der Eintrittskante ordneten wir auf Grund von Schweissversuchen und Messungen folgendes Verfahren für das Schweissen von Rissen an der betreffenden Peltonturbine an. Die nachstehenden Maulweiten wurden bei der Behandlung einer Peltonschaufel gemessen.

Verfahren:

	Maulweite mm
Hinter dem Rissende Loch bohren.	
Keilförmige Nute heraussägen; kontrollieren ob das Rissende in dem herausgesägten Stück enthalten ist.	
Maulweite *a* messen, Schaufel kalt	191,1
Schaufel bei *A* mit Lötlampen 10...15 Minuten wärmen, bis die Maulweite *a* um 0,3...0,4 mm grösser geworden ist	191,4
Zwischen die Verstärkungsrippen Keil *K* eintreiben; Maul um 2,5...3 mm erweitern	193,8
Schweissen, Innenseite der Schaufel beginnend bei der Eintrittskante, dann Nachschweissen der Aussenseite, in Abständen von 10...15 Minuten bei *A* wärmen.	
Nach beendeter Schweissung kurz wärmen und Keil herausnehmen, Maulweite messen	191,6
Nach Abkalten der Schaufel Maulweite messen	191,2
Schweißstellen glatt schmirgeln.	
Fertige, vollständig abgekühlte Schaufel messen	191,2
An der fertigen Schaufel soll die Maulweite ca. 0,2 mm grösser sein als das anfängliche Mass.	

Dieses Verfahren bewährte sich.

2. Risse an Grauguss-Schaufeln einer Francisturbine [1])

Bei der Behandlung dieses Laufrades verwerteten wir die bei der Peltonturbine gemachten Erfahrungen. Es waren mehrere Risse zu schweissen, die ähnlich verliefen, wie Fig. 2 zeigt. Hinter dem Rissende wurde ein Loch gebohrt, und durch Sägen und Meisseln wurde eine V-förmige Nute geschaffen. Die Rißstelle wurde mit Spannschrauben so weit wie möglich geöffnet. Die zu schweissende Schaufel wurde an der Stelle *A* mit Lötlampen gewärmt; daneben wurden aber auch die Nachbarschaufeln gewärmt, worauf die Spannschrauben weiter angezogen werden konnten. Hierauf wurde geschweisst und dazwischen auch wieder gewärmt und die Spannschrauben angezogen. Zur Messung der Weite *a* diente eine Messuhr.

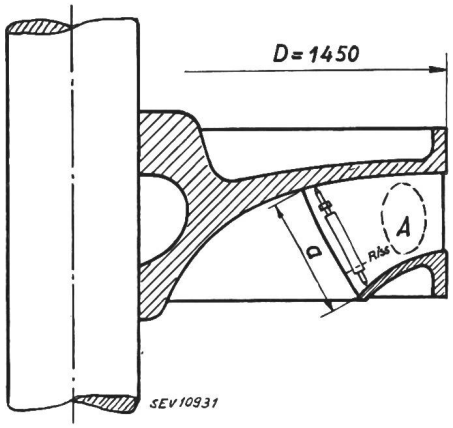


Fig. 2.
Gusseisernes Francis-Laufrad
Als Vorbereitung zum Schweissen: Wärmen bei *A*, Wärmen der Nachbarschaufeln, Auftreiben mit Spannschrauben.

[1]) Das hier beschriebene Francis-Laufrad wurde unter der Leitung des Obermaschinisten vom Personal der betreffenden Anlage der Bernischen Kraftwerke A.-G. geschweisst. Die übrigen Schweissungen besorgte die Alpha A.-G., Nidau. — Bei kleinen Rissen begnügten wir uns oft mit dem Abbohren des Rissendes.

In einem bestimmten Falle wurden folgende Werte gemessen:

	Weite *a* mm
Länge des Risses 75 mm	
Riss abgebohrt und ausgehauen, Laufrad kalt	a_0 = ca. 240 mm
Laufrad kalt, mit Spannschrauben getrieben	$a_0 + 0{,}05$
Schaufeln gewärmt, mit Spannschrauben getrieben	$a_0 + 0{,}55$
Nach dem Schweissen, Laufrad warm	$a_0 + 0{,}60$
Nach dem Schweissen, Laufrad kalt	$a_0 + 0{,}03$

Auch diese Schweissungen bewährten sich.

3. Risse an Blechschaufeln einer Francisturbine

Wegen Abnutzungen durch schleifende Zweige u. ä. waren die Blechschaufeln von Francisturbinen geschweisst worden (Fig. 3). Ermüdungsrisse, die später an diesen Stellen auftraten, zwangen zu neuen Schweissungen. Dabei wurde ähnlich vorgegangen wie in dem unter 2. beschriebenen Fall; die Laufradbreite *a* wurde mit einer Messuhr kontrolliert. Nach dem Schweissen und Erkalten des Laufrades war — trotz des Hämmerns des Schweissgutes und des weichen Bleches — das Mass *a* im

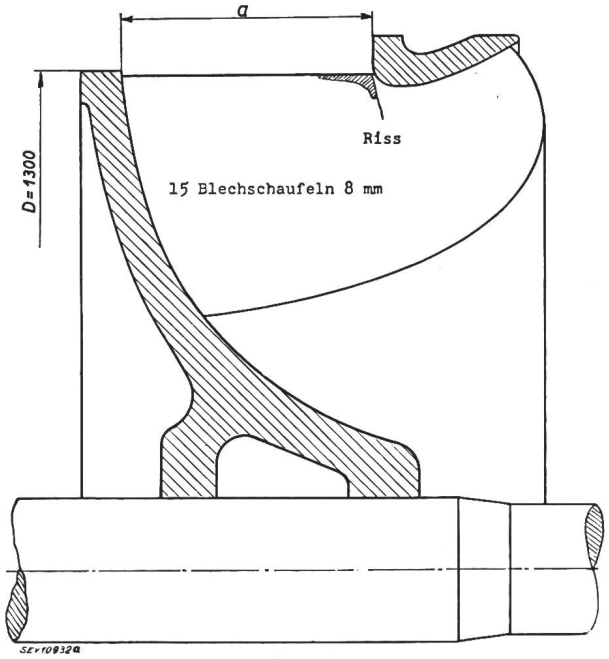


Fig. 3.
Francis-Laufrad mit Schaufeln aus weichem Kesselblech
Durch Schleifwirkung entstandene Abnutzung; ursprüngliche Form durch Schweissung wieder hergestellt, zum Teil durch Einschweissen von Blechstücken.

allgemeinen kleiner als vor dem Schweissen; dies deutete darauf hin, dass die Eintrittskante unter Zug stand und deswegen die Gefahr neuer Ermüdungsrisse bestand. Es traten tatsächlich auch wieder solche auf. Als wiederum geschweisst werden

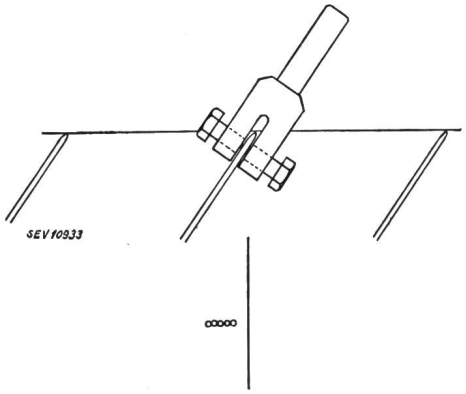


Fig. 4.
Kugeldruckgerät zum Strecken der Laufradschaufeln
Gegenwirkung zu den Schrumpfungen.

musste, streckten wir in der Nähe der Eintrittskanten neben den geschweissten Rissen die Blechschaufeln mit dem in Fig. 4 dargestellten Kugeldruckgerät und hämmerten hierauf noch diese Stellen. Durch diese Massnahmen konnte die gewünschte Eintrittsbreite *a* erzielt werden, und wir glauben heute, mit diesem Verlängern der Eintrittskanten den Zweck erreicht zu haben.

4. Einschweissen von Blechstücken in ein gusseisernes Francis-Laufrad

An einem gusseisernen Francis-Laufrad, das wegen Anfressungen geschweisst worden war, brachen einige Stücke aus (Fig. 5). Wir liessen Blechstücke

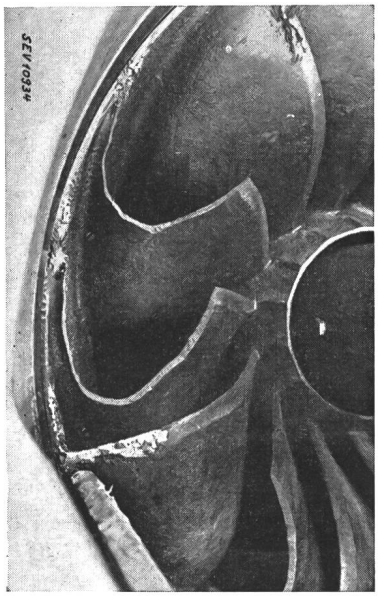


Fig. 5.
Gusseisernes Francis-Laufrad
An drei der abgebildeten Schaufeln sind Stücke ausgebrochen.

einschweissen; trotz des verschiedenen Materials — Gusseisen und Stahl — fiel diese Reparatur gut aus. Merkwürdigerweise brach aber das kleinste Stück nach kurzer Zeit wieder aus, während die grössern hielten. Als das kleinste Stück nach einer zweiten Schweissung nochmals ausbrach, suchten wir die Ursache und fanden auch die richtige Lösung; siehe Fig. 6. Die nahe beieinander liegenden

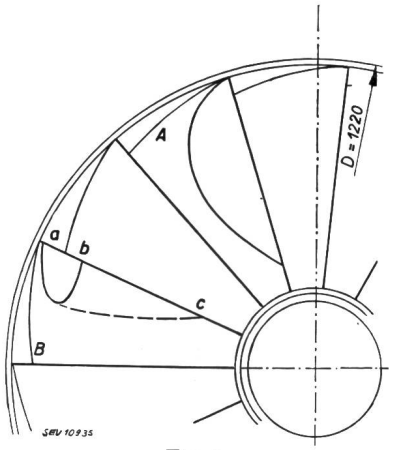


Fig. 6.
Gusseisernes Francis-Laufrad
A und *B* Schaufeln mit eingeschweissten Blechstücken.
A dauerhafte Schweissung.
B *a—b* bald wieder gerissen.
a——*c* dauerhafte Schweissung.

Schweissnähte *a* und *b* gaben solche Schrumpfspannungen, dass im Betriebe bald wieder Risse entstanden. Wir liessen nun ein längeres Stück aushauen und einsetzen; die Schweissung wurde bei *a* begonnen und von dort gegen *c* geführt; die Schrumpfungen der Schweissnähte konnten keine gefährlichen Spannungen mehr erzeugen. Dieses Stück hält nun schon mehr als 10 Jahre.

5. Etwas über die Widerstandsfähigkeit von Schweissungen gegen Kavitations-Anfressungen

Die Erfahrungen haben gezeigt, dass Schweissungen mit Flusseisenelektroden gegen Kavitations-Anfressungen widerstandsfähiger sind als normaler

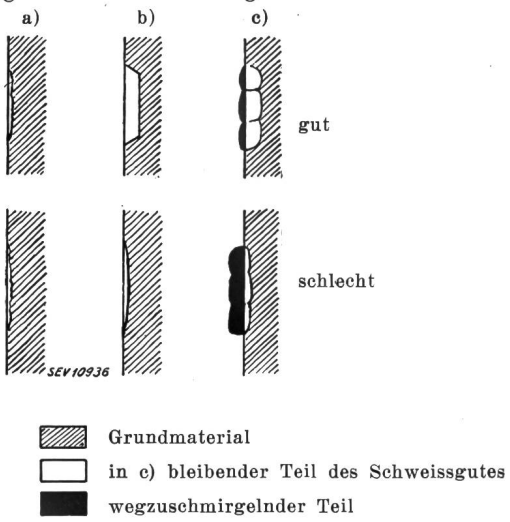


Fig. 7.
Schweissung einer wenig angefressenen Stelle
Schematische Darstellung einer guten und einer schlechten Schweissung.
a) angefressene Stelle,
b) durch Ausmeisseln bzw. Schmirgeln zum Schweissen vorbereitet,
c) nach dem Schweissen.

Gußstahl und als normales Flußstahlblech. Will man widerstandsfähige Schweißstellen erhalten, so muss man aber nicht nur gut schweissen, sondern auch gut vorbereiten. Wenn im Zusammenhang mit stärkern Anfressungen auch Teile geschweisst werden, die erst wenig angefressen sind, so wird oft der Fehler gemacht, dass vor dem Schweissen zu wenig Material entfernt wird (Fig. 7). Der grösste Teil des Schweissmaterials muss dann durch Schmirgeln entfernt werden, und es bleibt nur eine dünne Schicht Schweissmaterial, die zudem nicht reines Elektrodenmaterial ist. Solche Stellen haben nicht die Widerstandsfähigkeit reinen Schweissmaterials. Um eine genügend dicke Schicht aus reinem Schweissmaterial zu erhalten, muss vor dem Schweissen genug Grundmaterial entfernt werden.

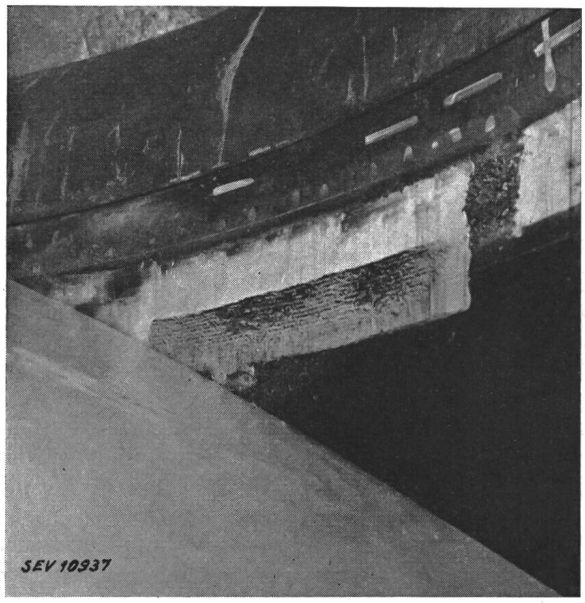
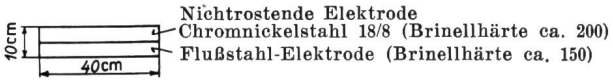


Fig. 8.
Laufradmantel einer Propellerturbine
Photographie 4 Jahre nach der Schweissung der rechteckigen Fläche.



Als an gewissen Stellen von Propellerturbinen auch gut ausgeführte Schweissungen angefressen wurden, liessen wir abgegrenzte Flächen zum Vergleich mit gewöhnlichen Flußstahlelektroden und mit nichtrostenden Elektroden schweissen; Fig. 8 zeigt eine solche Versuchsfläche 4 Jahre nach der Schweissung. Sie beweist die Ueberlegenheit der nichtrostenden Elektrodensorte. Die chemische Widerstandsfähigkeit und die grössere Härte der nichtrostenden Schweissungen erklären die Widerstandsfähigkeit gegen Kavitations-Anfressungen nicht vollständig; das Gefüge des Materials spielt eine wesentliche Rolle.

Wir haben seither wiederholt nichtrostende Elektroden zur Schweissung von Stellen verwendet (auch auf Gusseisen), wo stärkere Anfressungen vorgekommen waren.

Die elektrische Reparaturschweissung von Gusseisen

Referat, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 5. Mai 1943 in Basel,

von *R. Zwicky*, Kriens-Luzern

621.791 : 669.13

Die Eigenschaften des Gusseisens und die die Schweissung beeinflussenden Reaktionserscheinungen der erstarrenden Schweisszone werden dargelegt. Erfolgreiche Verfahren für Warmschweissung und Kalt- oder Halbwarmschweissung sowie deren Anwendungsbereiche werden angegeben.

Exposé des propriétés de la fonte de fer et des réactions qui interviennent quand la soudure se refroidit. Indication de bons procédés de soudure à chaud et à faible chaleur et de leurs applications.

In Zeiten der Mangelwirtschaft dürfte der Reparaturschweissung ganz allgemein besondere Bedeutung zukommen. Mit ihrer Hilfe können schwerste, und damit kostspieligste, fehlerhafte oder defekte Werkstücke korrigiert oder repariert und ihrem Verwendungszweck ohne Nachteil wieder übergeben werden.

Während die elektrische Reparaturschweissung bei den gebräuchlichen Baustählen und Stahlguss unter normalen Umständen keine besonderen Schwierigkeiten verursacht, sind die Verhältnisse beim Gusseisen bedeutend ungünstiger. Die Ursache liegt in den mechanischen und chemisch-metallurgischen Eigenschaften des Gusseisens und deren Reaktionen beim Erstarren der Schweisszone. Der Schweissvorgang ist zu vergleichen mit einer Eisengiesserei im kleinen, mit dem Unterschied, dass an Stelle von flüssigem Gusseisen Elektrodenmaterial aufgeschmolzen wird. Obwohl ein einwandfreier Schmelzprozess Voraussetzung für das Gelingen der Schweissung ist, sind es schlussendlich doch die Reaktionen, die über das Resultat der Schweissung entscheiden.

Die wesentlichen Eigenschaften des Gusseisens und die die Schweissung beeinflussenden Reaktionserscheinungen der erstarrenden Schweisszone und deren mögliche Folgen sind:

Mechanische Eigenschaften: Die Zugfestigkeit von nur 15...30 kg/mm² je nach Qualität und eine Dehnung von max. 1 % können die entstehenden Schrumpfspannungen nicht gut aufnehmen und somit Spannungsrisse in der Schweisszone zur Folge haben. Bei komplizierten Werkstücken mit grossen Eigenspannungen oft auch an Stellen, die gar nicht in der Schweisszone liegen.

Chemisch-metallurgische Eigenschaften: Der Kohlenstoff, der im Gusseisen als Graphit ausgeschieden ist, wird in der erstarrenden Uebergangs-