

WERKSTOFF UND
SCHWEISSUNG

I

HERAUSGEGEBEN VON

FRIEDRICH ERDMANN-JESNITZER

117
E66

WERKSTOFF UND SCHWEISSUNG

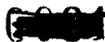
HANDBUCH FÜR DIE WERKSTOFF-
UND WERKSTOFFBEDINGTE VERFAHRENSTECHNIK
DER SCHWEISSUNG

I

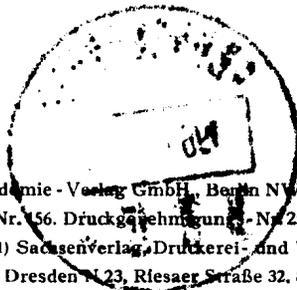


AKADEMIE-VERLAG BERLIN 1951

5502086



Copyright 1951 by Akademie - Verlag GmbH., Berlin
Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten



Erschienen im Akademie - Verlag GmbH., Berlin NW 7, Schiffbauerdamm 19
Lizenz-Nr. 156, Druckgenehmigungs-Nr. 2580/48 — 2001/48
Satz und Druck: (III/9/1) Sachsenverlag, Druckerei- und Verlags-Gesellschaft mbH,
Dresden 1, 23, Riesaer Straße 32, 8650
Bestell- und Verlagsnummer: 5016/1

WERKSTOFF UND SCHWEISSUNG

WERKSTOFF UND SCHWEISSUNG

Bearbeitet und herausgegeben von:

DR.-ING. HABIL.

FRIEDRICH ERDMANN-JESNITZER

o. Professor und Direktor des Instituts für Metallkunde
und Materialprüfung an der Bergakademie Freiberg

Unter Mitwirkung von

Dr.-Ing. W. Ahlert · Obering. W. Anders · Chemikerin L. Apelt
Dipl.-Ing. W. Baer · Prof. Dr.-Ing. habil. W. Baukloh · Dr.-Ing.
K. Bayer · Dr.-Ing. G. Becker · Ing. H. J. Bejach · Dipl.-Ing.
W. Bleicher · Doz. Dr.-Ing. habil. P. Brenner · Dr.-Ing. H. Le
Comte · Dr.-Ing. H. v. Conrady · Doz. Dr.-Ing. habil. W. Dawihl
Prof. Dr. Dr.-Ing. habil. F. Eisenkolb · Prof. Dr.-Ing. habil. F. Erd-
mann-Jesnitzer · Dr.-Ing. A. Erker · Obering. F. Gehrman · Dipl.-
Ing. W. Glage · Dr.-Ing. H. Hagen · Obering. C. Hase · Dr.-Ing.
G. Hoch · Dipl.-Ing. K. Höland · Prof. Dr.-Ing. habil. W. Hofmann
Ing. G. Hunold · Dipl.-Ing. O. Kaufmann · Dr.-Ing. H. Kemper
Obering. B. Klotz · Dr.-Ing. H. Kostron · Ing. H. Kowalkowski
Obering. P. Krug · Dr.-Ing. W. Küntscher · Dipl.-Ing. H. Leins
Dipl.-Ing. W. Liebig · Dipl.-Phys. W. Lorenz · Dr.-Ing. E. Lüder
Dr.-Ing. R. Malisius · Dr.-Ing. W. Mantel · Prof. Dr.-Ing. habil.
A. Matting · Dr.-Ing. H. Neese · Dr.-Ing. habil. W. Rädiker
Prof. Dr. E. Raub · Dipl.-Chem. H. Reinicke · Ing. F. Richter
Obering. E. Rietsch · Dr.-Ing. W. Röhl · Dr.-Ing. L. Rostosky
Prof. Dr. phil. habil. E. Schiebold · Prof. Dr. G. Schikorr · Prof.
Dr. P. Schimpke · Dr.-Ing. C. Stieler · Obering. E. Thiemer
Prof. Dr.-Ing. habil. A. Thum · Obering. P. Voigt · Dr.-Ing.
L. Wolf · Dr.-Ing. R. L. Zeyen · Doz. Dr.-Ing. habil. E. Zorn

AKADEMIE-VERLAG BERLIN 1951

VORWORT

Jedes größere Handbuch hat seine Entstehungsgeschichte. Der 1943 ausgereifte Plan, eine umfassende und dem Werkstoff gewidmete Behandlung der Schweißtechnik für Eisen- und Nichteisenmetalle durchzuführen, entsprang der betrieblichen Erkenntnis nach der Notwendigkeit, genügend eingehende und damit anwendbare werkstoffliche Unterlagen zur Hand zu haben, um damit auch für schwierige Betriebspannen Abhilfe schaffen oder zumindest deren Ursachen auf handwerkliche, verfahrenstechnische oder werkstoffbedingte Fehler zurückführen zu können. Wie es aus fast allen Buchbeiträgen zum Ausdruck kommt, folgt in jeder Neuentwicklung, sei es eines neuen schweißtechnischen Verfahrens, sei es der Einführung oder Verbesserung einer neuen schweißbaren Legierung, der versuchstechnischen Ersterprobung mit anschließender zunehmender Verbreitung in der Anwendung, die Zeit der Einführung im großen mit ihren anfänglichen Besonderheiten. Verfahrenstechnische Vervollkommnung gebietet dann innerhalb der Schweißtechnik bald die völlige Beherrschung der hierzu notwendigen Werkstofffragen. Notwendig ist dies besonders dann, wenn von der laboratoriumsmäßigen oder Ersterprobung innerhalb der O-Serie rasch auf die eigentliche Produktion mit größeren Stückzahlen übergegangen wird. Einmal ist es ja immer die Verbesserung der schweißtechnischen Eignung der Werkstoffe, die mehr oder minder eine Gütesteigerung geschweißter Erzeugnisse ermöglicht. Aber allein das Übergehen auf größere Stückzahlen und dies vorwiegend für verschiedene Fertigungsstätten macht die genaue Kenntnis des jeweiligen Werkstoffverhaltens deshalb notwendig, weil mit der Einführung im großen unkontrollierbare Einflußfaktoren oft zunächst einen Güterückschritt gegenüber den Erprobungsversuchen ergeben. Dies ist eine alte und auch eigene, oft aber außer acht gelassene Erfahrung. Der Grund liegt darin, daß es sich dann nicht allein mehr um genau auf den Verwendungszweck hin bestellte oder darauf zugestellte Versuchswerkstoffe, etwa eines einzigen Halbzeugwerkes handelt, sondern um die Anlieferung von Gebrauchswerkstoffen verschiedenster Herstellerwerke, die lagerhaltungsmäßig oft noch vermischt der Fertigung zufließen. Die verfahrenstechnische, apparative und auch personelle Seite der Halbzeugproduktionswerke ist immer eine unterschiedliche. Dies bedingen allein schon unterschiedliche Rohstoffbasen. Die vorgeschriebene chemische Sollanalyse in Verbindung mit Festigkeit-Abnahmewerten sind zwar Sicherheitskontrollen; metallurgische und verarbeitungstechnische Einflüsse aber sind ebenso stark mitbestimmend und durch die Abnahme nicht, sondern nur über innerbetriebliche Gütesicherung bei den Halbzeugwerken gewährleistet. Diese Einflüsse können daher auch bei Halbzeugimporten, etwa bei Einführung von Draht für Elektroden eine Rolle spielen. Erinnerung sei außerdem an die Auswirkungen unterschiedlichen Gasgehaltes etwa bei Leichtmetallschweißungen, an Größe, Form und Verteilung von Gefügeeinschlüssen durch voneinander abweichende Gießbedingungen und Walzfolge, an Korngrößeneinflüsse, an die Auswirkung verschiedener Anteile von Spurenelementen, an die Wärmeführung, an unterschiedlich starken Wassergehalt von Elektrodenhüllen u. a. m. Die Vielzahl derartiger Einflußfaktoren kann eine Norm nicht erfassen, da die Produktionsstätten in

sich nicht gleichartig und gleichwertig sind. So schafft die DIN nur die grobe Voraussetzung ausreichender Schweißbarkeit. Immer dann aber, wenn Erschwernisse auftreten, wenn man, wie es anzustreben ist, etwa in geschweißten Leichtkonstruktionen mit geringer Sicherheitsreserve auf die Grenze des Möglichen, d. h. auf rationellster Werkstoffausnutzung hinarbeitet, werden ausreichende Werkstoffkenntnisse für das Verhalten beim Schweißen verlangt. Es ist recht beschwerlich, diese dann aus der Vielzahl verstreut in Zeitschriften und Büchern erschienener Berichte herausarbeiten zu müssen. Der im Betrieb Stehende kann hierfür keine Zeit aufwenden. Es ist für den jeweiligen und meist besonders gelagerten Betriebsfall auch nicht allein mit der geistreichen oder lakonischen Referierung bestehender Literaturangaben getan. Es erscheint vielmehr erforderlich, das „Warum“ der Erscheinungsformen herauszuschälen, um die Allgemeingestaltlichkeit zu finden. Durch sinnvolle Übertragung der Erfahrungstatsachen läßt sich nur so die betriebliche Lösung der je Fall gesondert gelagerten Aufgabe mit den jeweils gerade verfügbaren Betriebsmitteln erreichen. Diesem Zweck soll das vorliegende Handbuch dienen. Dabei mußten besonders die Grenzen unserer heutigen Kenntnisse sich klar abzeichnen. Damit aber mußten sich auch Wege und Ziele einer möglichen Weiterentwicklung ergeben. Das vorliegende Buch soll uns in seiner Gesamtheit gesehen daher zu neuer Forschungs- und Entwicklungsarbeit anregen, und soweit dies bereits im einzelnen schon möglich ist gleichzeitig auch auf Problemstellungen, auf Lücken und das Endziel hinführen.

Außenstehende fragen oft danach, was das Gebiet der Schweißtechnik eigentlich derart anziehend macht, daß diesem in aller Welt so starke Beachtung und Förderung zuteil wird. Die Antwort ist leicht gegeben. Einmal ist ganz allgemein gesehen Entwicklungs- und Forschungsarbeit immer dann reizvoll, wenn diese in irgendeiner Verbindung mittelbar oder unmittelbar dem technischen Fortschritt dient, z. B. industriell auswertbar ist. Die Schweißtechnik beeinflußt heute schon in so starkem Maße die konstruktive Gestaltung, daß ganze Industriegruppen, wie die Eisen- und Stahl- sowie Leichtmetallindustrie, ja eigentlich alle metallische Werkstoffe erzeugenden oder verarbeitenden Industriezweige den Begriff „schweißbar“ entwicklungsseitig bereits als ebenso bedeutungsvoll ansehen, wie es Festigkeitsverhalten oder chemische Zusammensetzung ehemals für sich allein beanspruchten. Im wesentlichen aber ist es wohl die Vielzahl der Interessengruppen, die das Mosaik des Sammelbegriffes „Schweißtechnik“ sinnvoll miteinander zu vereinen scheint. Dies belegt die Skala der Beitragsthemen dieses Buches. Somit ist es aber auch sofort verständlich, daß dieses große und themenmäßige heterogene Gebiet heute bereits nicht mehr von einem einzelnen Autor bearbeitet werden kann. Das vorliegende Buch mußte daher eine Gemeinschaftsarbeit eines dazu berufenen Kreises von Fachleuten sein. Da darin der Werkstoff als Bearbeitungsfaden von seiner Entstehung im Schmelztopf, Halbzeugverarbeitung, Schweißung bis zur konstruktiven und prüftechnischen Seite hin einschließlich der betriebspraktischen und wirtschaftlichen Seite behandelt werden mußte, konnte im Gegensatz zu vielen anderen Handbüchern auch der angesprochene große Leserkreis kein einheitlicher sein. Darauf wurde bewußt verzichtet. Es lassen sich die mathematische Behandlung der Modellähnlichkeit, die gefügetechnischen Einflußfaktoren oder gar die Theorie des Lichtbogens ohne Einbuße an Niveau oder ohne unnötige Ausweitung des textlichen Umfangs nicht „praktisch“ darstellen. Ebenso wäre es unsinnig, wollte man z. B. den außerordentlich wichtigen Buchbeiträgen über die schweißtechnischen Instandsetzungsarbeiten etwa „wissenschaftlichen“ Anstrich geben. Die Voraussetzungen, auf denen die einzelnen Abhandlungen beim Leser aufbauen sollten, sind daher unterschiedliche. Der Herausgeber war jedoch bemüht, die stark verschiedene Stilistik soweit als möglich durch Umarbeitung zu glätten. Bis

auf einige wenige Buchabschnitte ist es auch dem reinen Praktiker möglich, sich in die ihm zunächst noch etwas abseits liegenden Gebiete einzuarbeiten, diese zu verstehen, um die hieraus gewonnenen Erkenntnisse praktisch verwerten zu können. Es sollte gerade der Vorzug der Darstellung und Themenauswahl sein, die verschiedenen Lesergruppen zusammenzuführen, damit die so oft gewünschte Einheit von — Praxis und Theorie — sich durch Erfahrungsaustausch befruchtet und vor allem die wertvollen Betriebsbeobachtungen an die Werkstofffachleute herangetragen und von diesen verarbeitet werden können. Andererseits aber mögen die nur wenigen „Nurpraktiker“ zumindest mit Verständnis sich einmal vor Augen halten, was an Überlegungsarbeit und Herstellungssorgfalt seitens der Halbzeuglieferer durchgeführt werden muß, damit auch auf der entlegensten Baustelle mit gleichbleibender Schweißgüte gearbeitet werden kann.

Die Arbeit am Buch wurde im Herbst 1945 unter großen äußeren Erschwernissen für Mitarbeiter und Herausgeber begonnen. Die damaligen besonderen Verhältnisse eines zunächst daniederliegenden Verlagswesens machten die Mitarbeit am Buch zunächst ohne sofortige feste Verlagsverträge notwendig. Bis auf eine kleine und für das Gedeihen des Buches unwesentliche Anzahl Rückschläge, hat die weitaus überwiegende Anzahl Mitarbeiter sehr selbstlos und dem Zweck dienend die umfangmäßig teilweise erheblichen Buchbeiträge erstellt. Das darin zum Ausdruck gekommene Vertrauen verpflichtet den Herausgeber all seinen Mitarbeitern gegenüber zu ganz besonderem und aufrichtigem Dank. Auch dem Akademie-Verlag möchte der Herausgeber seine Anerkennung aussprechen dafür, daß er sich zu einer Zeit zur Übernahme des Werkes entschlossen hat, in der der Ausführung noch eine Unzahl von Schwierigkeiten im Wege standen. Nur durch dieses dreiseitige gegenseitige Verständnis von Mitarbeitern, Verlag und Herausgeber konnte die Bearbeitung des Themas „Werkstoff und Schweißung“ im Verlauf von etwa $5\frac{1}{2}$ Jahren bewältigt werden.

Die werkstoffliche und spartenweise auch die verfahrenstechnische Entwicklung der Schweißtechnik ist jung und in aller Welt noch im Fluß. Deutschland hat seinen laufenden Anteil an dieser Entwicklung. Von Zeit zu Zeit erscheint es notwendig, Bestehendes und meist Verstreutes zusammenzufassen, von berufener Seite ordnen zu lassen, um die Grenzen des gesicherten Erfahrungsgutes erkennen und auf diesem weiter aufbauen zu können. Das vorliegende Buch sei dieser Art der Behandlung von Werkstofffragen der Schweißung gewidmet. Möge es die große Anzahl der Werkstofffachleute zur Mitarbeit anregen und die werkstoffausgerichtete Schulung des Praktikers vervollständigen. Die fortschreitende Entwicklung macht Kritik und Anregungen *aller* Fachleute notwendig. Mitarbeiter, Herausgeber und Verlag werden diese ebenso dankbar entgegennehmen, sie berücksichtigen, um gemeinsam voranzukommen.

Es ist mir eine angenehme Pflicht aus der Reihe derjenigen, die durch wertvollen Rat zum Gelingen beitragen, besonders zu danken den Herren Dr.-Ing. *R. Malisius*, Bierbach/Saar, Prof. Dr.-Ing. habil. *H. Koch*, Hannover, und Prof. Dr.-Ing. habil. *A. Matting*, Hannover/Madrid, Dir.-Obering. *H. Horn*, Berlin, und Dir.-Obering. *W. Anders*, Halle, und Mitarbeitern, Dir.-Obering. *E. Rietsch*, Dr.-Ing. habil. *W. Räddecker*, Mühlheim/Ruhr, Prof. Dr. *Gehlhof*, Berlin, für seine tatkräftige Mithilfe bei der Papiergestaltung, und der Metallographin Fräulein *R. Stienen*, Berlin, für umsichtige zeitweise Mitarbeit. Ebenso gedankt sei für die stets harmonische Zusammenarbeit mit den Herren des Akademie-Verlages. Wertvollste Anregungen erwuchsen dem Herausgeber aus Vortragsveranstaltungen, Tagungen und Diskussionsbeiträgen des Fachausschusses-Schweißtechnik der KdT, Berlin, der Arbeitsgemeinschaft-Schweißtechnik, Berlin, des Deutschen Verbandes für Schweißtechnik, sowie des Fachnormen-

VIII

ausschusses Schweißtechnik im DNA. Diese Anregungen sind an den betreffenden Buchstellen innerhalb der Buchbeiträge und zum Teil als Fußnoten bereits eingearbeitet worden. Da es bevorzugt auch unveröffentlichte Erprobungsberichte sind, die innerhalb der Beiträge verarbeitet wurden, erschließt das Buch die Ergebnisse der außerordentlich fruchtbaren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der Jahre 1930 bis 1945, die teilweise erst nach 1945 beendet oder auch weiterbearbeitet wurden. Der Herausgeber hat es sich frühzeitig nach 1945 neben der organisatorischen Vereinigung der Fachleute auch zur Aufgabe gesetzt, die Errichtung einer geeigneten hochqualifizierten zentralen Forschungs- und Entwicklungsstelle für Deutschland, die neben den zahlreichen neuen und altbewährten Betriebslaboratorien arbeiten soll, vorzuschlagen und an ihrer Verwirklichung mitzuarbeiten. Diese Stätte entsteht als nennenswerte Erweiterung der SLV-Halle zur Zeit als großes neues „Zentralinstitut für Schweißtechnik in Halle/Trotha“.

Möge dort, sowie in den Betriebslaboratorien, Werkstätten, Instituten der Hochschulen und schweißtechnischen Verbände im Sinne des vorliegenden Buches und zum Nutzen aller die Weiterentwicklung der Schweißtechnik erfolgreich sein.

Berlin, den 1. November 1950

Der Herausgeber

EINLEITUNG

Das Buch „Werkstoff und Schweißung“ stellt mit den zwei in sich fortlaufenden Teilen eine Sammlung einzelner Beiträge dar, deren Abfassung bekannte und verfügbare Fachkräfte übernahmen. Es lag nahe, die rein verfahrenstechnische Seite nur so weit mit auszuarbeiten, wie diese stark werkstoffabhängig ist, dagegen mußte auf neuere Verfahren näher eingegangen werden. Für die rein verfahrenstechnische Betrachtung liegen im übrigen genügend kleinere, sowie einige größere gute und auf die Praxis abgestellte Buchbearbeitungen vor. Der Bucheinteilung lag ein Themenplan zugrunde, dessen Aufstellung vorher mit Fachkollegen durchgesprochen wurde. Demzufolge wurde dem großen und literaturmäßig gesehen gut bearbeiteten Gebiet der Stähle gegenüber den Nichteisenmetallen der breiteste Raum von allen im Buch behandelten Metallen eingeräumt. Während derart für die Eisenwerkstoffe Herstellung und Schweißung einschließlich prüftechnischer und konstruktiver Fragen, Verfahren für Verfahren beschrieben und in zahlreichen Einzelbeiträgen bearbeitet wurden, ist die bereits seit langem schweißtechnisch wichtige Gruppe der Nichteisenmetalle einschließlich der verwandten Schweißverfahren jeweils in einem einzigen Beitrag behandelt worden. Nur teilweise, wie z. B. für die Leichtmetalle durchgeführt, erfolgte die Bearbeitung in nur wenige größere Abhandlungen aufgeteilt. Dieser Regelung entspricht der Stand und das Ausmaß unserer heutigen Erkenntnis. Um gedankliche Verbindungen für den Leser durchzuführen und Verbindendes zwischen Eisen- und Nichteisenmetallen hervorzuheben, sind an den in Frage kommenden Textstellen Seitenhinweise auf andere Buchbeiträge vom Herausgeber eingefügt. Jeder Buchbeitrag wurde mehreren, teilweise bis zu 10 Fachleuten, zur Stellungnahme übersandt. Kritik und Anregungen sowie einheitliche Stilistik sollten durch Überarbeitung, teilweise im Einvernehmen mit den Herren Mitarbeitern, seitens des Herausgebers erreicht sein. Die Autorenangaben erscheinen an der entsprechenden Textstelle, zur Erleichterung für den Leser außerdem ausführlich am Beitragsende, sowie auch später im Namensregister am Buchende. Die Literaturzitate wurden ohne die früher übliche Nummerierung durchgeführt und am Beitragsende alphabetisch geordnet. Werden Literaturstellen von mehreren Veröffentlichungen eines Autors im Text eines Beitrages herangezogen, so erscheinen für diese nach dem Namen des Autors runde Klammern (1), (2), (3) usw. Die gleichen Nummern stehen dann neben dem Namen des Autors vor den ausführlichen Literaturangaben am Beitragsende. Bei Neubearbeitungen wird dadurch eine Umnummerierung erspart. Außerdem konnten neuere Literaturzitate bequem noch bis zum Zeitpunkt der Umbruchkorrektur eingefügt werden, ohne Umnummerierungen zu verursachen. Die Bildnumerierung wurde je Beitrag gesondert durchgeführt. Zur herstellungsseitigen Erleichterung tragen die Klischees am linken unteren Bildrand Nummern. Sie waren so verlagsseitig bequem erfaßbar. Unter Benutzung dieser Klischeenummern ist die Herstellung entsprechender Lichtbildreihen vom „Zentralinstitut für Film und Bild in Unterricht, Erziehung und Wissenschaft“ für 1951 ff. vorgesehen, damit das Bildmaterial schweißtechnischen Vorträgen als Unterlage dienen kann. Das Buch mit den dazugehörigen Bildunterschriften nebst diesen Diapositiven der Buchabbildungen kann damit dem

Unterricht an Hoch-, Fach- und Schweißtechn. Schulen dienen. Es lassen sich so ausreichende Werkstoffkenntnisse über die Schweißtechnik in weiteste Kreise und vor allem durch betriebliche Vorträge der Schweißfachingenieure an die Schweißer und Lehrschweißer herantragen.

Die Lichtbildreihen können innerhalb der DDR über die zuständigen Landes- und Kreisbildstellen entliehen werden. Der Bezug für das Bundesgebiet erfolgt als Bestellung an das „Zentralinstitut für Film und Bild in Unterricht, Erziehung und Wissenschaft“, Berlin NW 7, Neue Wilhelmstraße 9 bis 11 (Fernruf 42 93 93).

In Strichätzungen, wie z. B. den Skizzen oder den graphischen Darstellungen, wurden Ordinaten und Abszissen sowie Kurvenbezeichnungen nur durch Buchstaben und Zahlen durchgeführt. Unterhalb der Bildunterschrift erscheint dafür erklärende die sogenannte Legende. Auf den ersten Blick erscheint dies für den Leser mehr Denkarbeit zu bedeuten. Für sorgfältige Durcharbeit entfällt jedoch der Einwand. Der Grund hierfür ist ein herstellungstechnischer. Diese Darstellungsart ermöglicht Übersetzungen in fremde Sprachen, ohne daß erneute und kostspielige Klischeezzeichnungen angefertigt werden müssen. Man kann von den vorhandenen Klischees vor allem schnell Galvanos (Kupferniederschlag mit Bleiausguß) herstellen. Andererseits konnte durch diese, nicht zu Lasten des Käufers fallende Einsparung der Bildumfang zum Nutzen des Buches erheblich erweitert werden. — Soweit es ohne wesentliche Eingriffe in die Darstellungsart des jeweiligen Autors zu ermöglichen war, wurden Überschneidungen vermieden. In Einzelfällen waren diese jedoch in geringem Maße auftretend sogar erwünscht. Patentfähige, d. h. genügend klar beschriebene Erfindungen verbleiben Eigentum der Bearbeiter.

Textauszüge und Bildwiedergaben sind bei Quellenangabe gestattet. — Der Beitrag zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung wird verabredungsgemäß als Teil einer größeren Buchbearbeitung nach Herausgabe des vorliegenden Buches erscheinen. Der Beitrag von *W. Baukloh* erschien bereits als Vorausdruck. Im Verlauf der langjährigen Arbeit des Sammelns und Sichtens wurden betr. Korrespondenz mit den nunmehr 56 Bearbeitern 8420 Briefe des Herausgebers notwendig. Die Arbeit an der Vervollkommnung des Werkes kann und darf nicht stillstehen. — Eine derartige Erstauflage wird darstellungsmäßig nie ohne stellenweise Schwächen sein, die, wenn vorhanden, sich auf die nicht immer genügende Verarbeitung schwer beschaffbarer Auslandsliteratur beziehen. Etwa bestehende Mängel durch positive Kritik seitens der Leser sowie vor allem durch das Zurverfügungstellen entsprechender guter weiterer Bildunterlagen, Erprobungs- und Forschungsberichte, Fotokopien und Hinweise für Auslandsarbeiten und Mitteilungen von praktischen Betriebsbeobachtungen sowie durch laufenden direkten Kontakt mit den Bearbeitern auszugleichen, liegt im Gesamtinteresse der Entwicklung der Schweißtechnik, deren Förderung in Deutschland seit langem durch eine harmonische Gemeinschaftsarbeit getragen ist.

Freiberg, den 1. November 1950

Der Herausgeber

WERKSTOFF UND SCHWEISSUNG

Bearbeitet und herausgegeben von

DR.-ING. HABIL.

FRIEDRICH ERDMANN-JESNITZER

o. Professor und Direktor des Instituts für Metallkunde
und Materialprüfung an der Bergakademie Freiberg

Unter Mitwirkung von Dr.-Ing. W. Ahlert · Obering. W. Anders · Chemikerin L. Apelt
Dipl.-Ing. W. Baer · Prof. Dr.-Ing. habil. W. Baukloh † · Dr.
Ing. K. Bayer · Dr.-Ing. G. Becker · Ing. H. J. Bejach · Dipl.-
Ing. W. Bleicher · Prof. Dr.-Ing. habil. P. Brenner · Dr.-Ing.
H. Le Comte · Dr.-Ing. H. v. Conrady · Doz. Dr.-Ing. habil.
W. Dawihl · Prof. Dr. Dr.-Ing. habil. F. Eisenkolb · Prof. Dr.-
Ing. habil. F. Erdmann-Jesnitzer · Dr.-Ing. A. Erker · Obering.
F. Gehrmann · Dipl.-Ing. W. Glage · Prof. Dr. phil. nat. Th.
Haase · Dr.-Ing. H. Hagen · Prof. Dr. phil. habil. M. Han-
sen · Obering. C. Hase · Dr.-Ing. G. Hoch · Dipl.-Ing. K.
Höland · Prof. Dr.-Ing. habil. W. Hofmann · Ing. G.
Hunold · Dipl.-Ing. O. Kaufmann · Dr.-Ing. H. Kem-
per † · Dr.-Ing. H. Kostron † · Ing. H. Kowalkowski
Obering. P. Krug † · Prof. Dr.-Ing. W. Küntschner · Dipl.-Ing.
H. Leins · Dipl.-Ing. W. Liebig · Dr.-Phys. W. Lorenz · Doz.
Dr.-Ing. E. Lüder · Dr.-Ing. R. Malisius · Dr.-Ing. W. Man-
tel · Prof. Dr.-Ing. habil. A. Matting · Dr.-Ing. H. Neese
Dr.-Ing. habil. W. Rädiker · Prof. Dr. E. Raub · Dipl.-
Chem. H. Reinicke · Ing. Kurt Renner · Chefing. F. Richter
Obering. E. Rietsch · Dr.-Ing. W. Röhl · Dr.-Ing. L. Rostosky
Prof. Dr. phil. habil. E. Schiebold · Prof. Dr. G. Schikorr
Prof. Dr. P. Schimpke · Prof. Dr.-Ing. C. Stieler · Obering.
E. Thiemer · Prof. Dr.-Ing. habil. A. Thum · Doz. Dr.-Ing.
F. Thümmeler · Obering. P. Voigt · Dr.-Ing. L. Wolff
Dr.-Ing. K. L. Zeyen · Doz. Dr.-Ing. habil. E. Zorn

AKADEMIE-VERLAG · BERLIN 1954

EINLEITUNG ZU BAND II UND III

Die ebenso wohlwollende wie interessierte Aufnahme, die der Band I durch die Fachwelt des In- und Auslandes bislang erfahren hat, lassen eine kurze Einleitung zu den zwei weiteren Bänden ratsam erscheinen, für die sich der Stoff als zu umfangreich erwies, um wie zunächst geplant in nur einem einzigen Band untergebracht zu werden.

Seit dem Erscheinen des ersten Bandes ist geraume Zeit vergangen. War es schon beschwerlich, die zahlreichen Einzelbeiträge zur Schweißung der Eisenwerkstoffe termingerecht zu vereinen, so war dies für die Nichteisenmetalle noch schwieriger. Die Ursache liegt im unterschiedlichen Entwicklungsstand der Schweißung beider. Mit wenigen Ausnahmen, wie es die Leichtmetalle, das Kupfer einschließlich seiner Legierungen, sowie die Kunststoffe darstellen, sind einer großen Anzahl NE-Metalle ungleich weniger werkstofflich ausgerichtete, speziell die Schweißbarkeit betreffende und damit verwertbare Forschungs- und Betriebsversuche gewidmet worden. Dies ist deshalb um so bedauerlicher, weil sich einerseits dadurch für manche NE-Metalle und ihre Legierungen in ihren Ursachen nicht erkannte Fehlererscheinungen über die Jahre gesehen laufend wiederholen, andererseits aber auch wichtige Erkenntnisse, die sich dabei zum Studium der Erstarrungs-, Schrumpfungs- und Spannungsvorgänge ergeben, zumindest qualitativ gedeutet auf Konstruktionen mit anderen Werkstoffen, z. B. den Stählen, übertragbar erscheinen.

Von den durchweg positiven, Verlag und Herausgeber bekanntgewordenen Buchbesprechungen zu Band I waren diejenigen besonders aufschlußreich, die neben den anerkennenden Worten gleichzeitig auch eine förderliche Kritik erkennen ließen. Dafür fühlt sich der Herausgeber besonders verpflichtet gegenüber den Herren Prof. Dr.-Ing. E. H. Schulz, Prof. Dr. W. Große, Dr.-Ing. Hummitzsch, Dr.-Ing. W. Lohmann, Dir. H. A. Horn, Dr. v. Hofe u. a. sowie den Herren Prof. Herpol (Belgien), Dr. W. Ruff (Italien), Dr. G. Haim (England) und besonders Herrn Dr.-Ing. Weck (England), der den Band I sehr ins Einzelgehende besprach. Soweit es für den Band II ermöglicht werden konnte, wurden den darin ausgesprochenen Wünschen Rechnung getragen. Auf alle Fälle sind diese Anregungen sorgsam vermerkt und werden, falls sie nicht mehr durchführbar waren, in weiteren Bearbeitungen berücksichtigt. Verlangt wurde u. a. eine stärkere Betonung der konstruktiven Belange, einschließlich Sprödbruch und Tief-temperaturverhalten. Am Beispiel der Schweißung im Schiffbau sowie durch Behandlung der Festigkeitsprüffragen wurde versucht, dem Rechnung zu tragen. Verwiesen sei auch auf die Behandlung praktischer Fragen des Schrumpfens und Verwerfens am Anfang des 2. Bandes, erläutert an einfachen Versuchsbeispielen. Eine über den Rahmen der vorliegenden Darstellungen im Bd. I u. II hinausgehende Behandlung der Schweißbarkeit einschließlich Sprödbruchverhalten der Stahlgrobbleche erscheint jedoch dem Herausgeber ebenso wie noch eingehendere Diskussionen zur Prüfung der Schweißbarkeit verfrüht. Beide Begriffe scheinen nicht völlig abgeklärt, wengleich auch in ihren wesentlichen Einflußgrößen erkannt. Erinnert sei nur an trügerische Hoffnungen, die mit dem Erscheinen der sogenannten *Schnad-*Probe zunächst auftraten. Zum Problem „Schweißbarkeit“ sowie „Sprödbruch“ werden die an zahlreichen Stellen z. Z. noch intensiv laufenden Versuche erst später Endgültiges liefern. Dabei wird sich zeigen, ob für die Stahlgrobblech-Prüfung die bewährte Aufschweißbiegeprobe (s. Bd. I) durch andere Prüfungen, wie die von Prof. Dr.-Ing. J. Čabelka (Bratislava) sowie Prof. Dr.-Ing. habil. A. Matting*) (Hannover) vorgeschlagenen, in ihrer Anwendung oder Form modifizierten Kerbschlagprüfungen einzeln oder sich gegenseitig ergänzend ersetzt werden kann. Der Herausgeber ist im Einvernehmen mit Stahlherstellern und Verbrauchern gewissen primitiven Patentlösungen, wie sie durch sogenannte „Universalgeräte“ zur Prüfung der Schweißbarkeit von Erfindern immer wieder angeboten werden, skeptisch gegenüberstehend, da der Einflußfaktoren zu viele sind (Zusatzwerkstoff, Grundwerkstoff, Zusammensetzung, Alterung, Konstruktion, Schweißfolge und Spannungen).

Das Thema des Buches ist trotz seines schon relativ großen Umfanges titelmäßig beschränkt auf die „Werkstoff- und verfahrensbedingte Werkstofftechnik“. Trotzdem war unumgänglich die Aufnahme eines die Randgebiete umfassenden Anhangs. In diesem fanden neben der Lötung und dem Brennschneiden auch die Schweißung der Kunststoffe und das Kleben u. a. Aufnahme. Da in zunehmendem Maße

*) Matting, A. u. E. Robo, z. Z. noch unveröffentlicht. „Kerbschlagprobe mit axialer Zusatzspannung“, D. R. P. angem.

werkstofflich-technische Erscheinungen und Probleme in der Schweißtechnik und ihren Randgebieten auch Anwendungsfeld physikalischer und physiko-chemischer Betrachtungen werden, konnte auf eine metallphysikalische Analyse der Preßschweiß- und Sintervorgänge am Buchende nicht verzichtet werden. Damit erscheinen Empirie und Theorie, soweit vorhanden auch auf diesem Gebiet zum Wohl beider miteinander gepaart. Das gilt besonders für die Deutung der Kaltpreßschweißung.

Seit dem Erscheinen des ersten Buchbandes haben sich einige darin bereits angedeutete Entwicklungen revolutionsartig durchgesetzt. Diese sind vor allem die *Argonarc-Schutzgasschweißung* in verschiedenen Formen sowie das *Tiefbrand-* und *Auflegierungsprinzip ummantelter Elektroden*. Besonders letztgenanntes ist ein treffendes Beispiel dafür, daß Stagnation in der Entwicklung durch den Mut zu Neuem überwunden wird, wobei einerseits mit Arbeitshypothese oder auch empirisch in zäher Konsequenz Entwicklungsarbeit geleistet werden muß, mit eintretenden Erfolgen aber auch andererseits kommerzielle Beengungen zum Nutzen einer technischen Weiterentwicklung gesprengt werden.

Im Einzelnen zum Stoff der Bände II und III sei noch erwähnt:

Die wichtige Reparaturschweißung konnte, wie es zu erwarten war, vernünftigerweise nur auszugsweise behandelt werden, da sie letztendlich fast alles wieder in sich schließt.

Innerhalb der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung, die besonders ausführlich behandelt wurde, sind bereits für die nahe Zukunft Umwälzungen zu erwarten. Wie dort angegeben, werden diese durch die Verwendung radioaktiver Isotope, sowie durch die Ausnutzung weiterer physikalischer Werkstoffkennwerte für die praktische Prüftechnik gekennzeichnet sein. Bestrebungen, Vergleichsmaßstäbe für die Praxis der Grobstrukturuntersuchungen in Form von speziellen Atlanten herauszubringen sind wertvoll, deren Abdruck überschreitet aber den vorliegenden Buchumfang.

Die Schweißung der ausgesprochen hochschmelzenden Metalle war leider seit langem zu Unrecht gehütete Firmenkenntnis. Dies spiegelt sich auch in der Patentlage wieder und hemmte die Entwicklung außerordentlich. Die trotzdem durchgeführte erste Behandlung dieses Gebietes muß nun weitere Erprobungsversuche einleiten, da außer der reinen Röhrentechnik des Verstärker- und Senderöhrenbaus auch die chemische Industrie steigendes Interesse für Schweißbarkeitsfragen dieser Sonderwerkstoffe zeigt. Wegen der durch Gase dabei oft auftretenden Versprödungserscheinungen erscheint für die Zukunft die Mitarbeit von Metallphysikern oder Physikochemikern ratsam.

Die Entwicklung der Legierungen auf Titanbasis befindet sich trotz erster Erprobungsberichte noch im Anfangsstadium. Das gleiche gilt für das Schweißen dieser in den USA zwar langsam aber deutlich vordringenden Legierungsgruppe, die leider in Deutschland u. a. wegen der hohen Herstellungskosten noch nicht im Gesichtsbereich industrieller Anwendungen sich befinden. Sowohl als Werkstoff wie im Hinblick auf Schweißbarkeit erscheinen Titan und Titanlegierungen sehr zukunftsreich und es ist zu hoffen, daß die Aufschlußmethoden vereinfacht und verbilligt werden, damit das Titan als festigkeitsmäßiges Zwischenglied von Stahl und Leichtmetall uns neue Möglichkeiten erschließt.

Es war schwierig, die Eingliederung der Argonarc-Schutzgasschweißung, die ja für viele verschiedene Werkstoffe mit leichtoxydierbaren Elementen heute bereits breite Anwendung findet, sachlich richtig durchzuführen. Hier war nur ein Kompromiß möglich, derart, diese innerhalb des Hauptanwendungsgebietes bei den Leichtmetallen unterzubringen und dort auf andere Werkstoffe entsprechend hinzuweisen. Das gleiche gilt für die Kalt-Preßschweißung, die am Beitragsende der Widerstandsschweißung der Leichtmetalle eingefügt wurde, und die sich steigend für verschiedenste kaltplastische Werkstoffe einführt (besonders in England und UdSSR).

Wiederum sei den Mitarbeitern des Akademie-Verlages und der Buchdruckredaktion der Sächsischen Zeitung sowohl für ihr Verständnis wie für ihre Langmut gedankt, die es dem Herausgeber ermöglichten, auch die längerwährenden Bearbeitungen mit neuen Gesichtspunkten durchführen zu lassen, die dafür aber über das Maß des in der Literatur Bekannten oft wesentlich hinausgehen.

Die verständnisvolle, überaus umsichtige und tatkräftige Hilfe meiner Mitarbeiterin, der Metallographin Fräulein R. *Slanina* trug wesentlich zum Gelingen bei, wofür ich ihr ebenso danke, wie all denen, die ungenannt dem vorliegenden Werk Förderung gaben.

Mögen auch die Bände II und III ebenso wie der Band I wieder dazu beitragen, der Empirie in der Schweißtechnik ein Gerüst der ursächlichen Zusammenhänge zu geben, ohne daß die Vielzahl werkstofflicher Erscheinungen nicht erkannt, beherrscht und damit technisch nutzbringend angewendet werden können.

INHALTSVERZEICHNIS*)

Das Schweißen der Eisenwerkstoffe **)

A. Herstellung und Schweißbarkeit

1. Allgemeines über die Schweißbarkeit von Stahl von W. Mantel	3—6
2. Die Herstellung der Feibleche und ihre Schweißbarkeit von F. Eisenkolb	7—62
A. Begriffsbestimmungen	7
B. Die Stahlauswahl für Feibleche	8
1. Das Windfrischverfahren	8
2. Das Herdfrischverfahren	9
3. Der Elektro Stahl	9
4. Das Gießen der Blöcke	10
5. Unberuhigter und beruhigter Stahl	10
6. Seigerungen	11
7. Die Lunkerbildung	12
C. Das Walzen der Feibleche	13
1. Das Auswalzen der Blöcke zu Platinen	13
2. Das Warmwalzen der Bleche	16
3. Das Beizen und Glühen der Bleche	17
4. Das Kaltwalzen von Feiblechen	17
5. Die Herstellung von Karosserieblechen	19
6. Das Walzen von Festigkeits- und Sonderstahlblechen	20
7. Das Walzen von Bandstahl	20
D. Die Eigenschaften der Feibleche	21
1. Handelsbleche	21
2. Qualitätsbleche	23
3. Bleche mit vorgeschriebener Festigkeit	24
4. Sonderstahlbleche	24
5. Blechfehler und Schweißbarkeit	27
6. Das Prüfen der Feibleche	30
7. Der Einfluß besonderer Maßnahmen bei der Stahlgewinnung auf die Blechqualität	32
a) Beruhigter und unberuhigter Stahl	32
b) Bleche aus windgefrischtem Austauschstahl	33
c) Verbesserter SM-Stahl	34
E. Schweißverfahren für Feibleche	34
1. Das Widerstandsschweißen	35
2. Das Gasschmelzschweißen	37

*) Das gesamte Inhaltsverzeichnis wurde bewußt sehr ausführlich gehalten, um ein schnelles Finden der Textstelle zu ermöglichen.

**) Fortsetzung in Teil II.

F. Die Metallurgie der Feinblechschweißungen	38
1. Besonderheiten beim Schweißen von Feinblechen	38
2. Die metallurgischen Vorgänge beim Feinblechschweißen	38
3. Schweißrissigkeit	44
G. Die Schweißbarkeit der Feinbleche	49
1. Der Einfluß der chemischen Zusammensetzung	49
2. Die Bedeutung der allgemeinen Beschaffenheit der Bleche für die Schweißbarkeit	52
3. Nachweis der Schweißbarkeit	52
3. Die Prüfung der Schweißbarkeit (und der Schweißverbindungen) von Feinblechen	
von F. Eisenkolb	63—78
A. Einleitung	63
B. Allgemein geltende Prüfverfahren (Vorbemerkung)	63
C. Allgemein geltende Prüfverfahren	65
1. Chemische Untersuchung	65
a) Anforderungen an den Ausgangswerkstoff	65
b) Prüfung des chemischen Verhaltens von Schweißnähten	66
2. Metallographische Prüfung	67
3. Zerstörungsfreie Prüfung	68
a) Röntgenprüfung	69
b) Magnetpulverprüfung	69
c) Die Kenntlichmachung von Rißstellen	69
4. Festigkeitsuntersuchungen	69
D. Sonderverfahren zur Beurteilung der Schweißbarkeit von Feinblechen	70
1. Abbrennversuch	70
2. Schweißnahttiefsversuch	70
3. Schweißrissigkeitsprüfung	72
4. Die Prüfung von Widerstandsschweißungen	76
4. Werkstofffragen der Schmelzschweißung größerer Dicken	
von W. Mantel	79—93
5. Fehlerscheinungen an Schmelzschweißverbindungen größerer Dicken	
von W. Mantel	94—105
6. Prüfung der Schweißseignung von Eisenwerkstoffen größerer Dicken	
von W. Mantel	106—113
7. Die Entwicklung des Baustahles St 52 als Schweißqualität	
von W. Mantel	114—128
8. Die Schweißung warmfester Stähle	
von W. Mantel	129—134
9. Die Schweißung der korrosionsbeständigen Stähle	
von G. Hoch	135—160
A. Einleitung	135
B. Hauptteil	135
C. Besondere mechanische und physikalische Eigenschaften	141
D. Besondere Korrosionserscheinungen bei den korrosionsbeständigen Stählen	147
E. Das Schweißen der korrosionsbeständigen Stähle	145
F. Die Schweißzusatzwerkstoffe	153

G. Schweißrissigkeit	155
H. Die praktisch angewandten Schweißverfahren	156
1. Allgemeines	156
2. Die Gasschmelzschweißung	156
3. Die Lichtbogenschweißung	157
4. Die Arcatomschweißung	157
5. Die Punkt- und Rollnahtschweißung	157
6. Die Abbrennschweißung	158
J. Das Schweißen plattierter Werkstoffe	158
K. Ausblick	158

B. Schweißung

I. Hauptverfahren

10. Das Gasschmelz-(Autogen-)Schweißverfahren von P. Krug	161—165
11. Einfluß der Reinheit von Azetylen und Sauerstoff auf die Güte und Wirtschaftlichkeit der Schweißnaht und des Brennschnittes von H. Kemper	166—175
A. Das Schweißen	166
1. Verunreinigungen im Azetylen	166
2. Verunreinigungen im Sauerstoff	170
B. Das Brennschneiden	171
12. Das Arcatom-Schweißverfahren von E. Thiemer	176—196
A. Einleitung	176
B. 1. Das Verfahren	176
2. Zünden des Lichtbogens	177
3. Lichtbogeneinstellung	178
4. Arcatomgerät	178
5. Schaltung	179
6. Schweißbrenner für Handbetrieb	179
7. Schweißkopf für maschinellen Betrieb	180
C. 1. Das Schweißen	181
2. Schweißen ohne Zusatz	183
3. Schweißen mit Zusatz	183
4. Vorrichtungen	183
5. Allgemeine Schweißleistungswerte	186
6. Schweißleistungswerte für bestimmte Nahtformen	188
7. Bedarf an Zusatzwerkstoff	192
D. Schweißen verschiedener Werkstoffe	192
1. Sonderstähle	192
2. Fertigung und Instandsetzung von Werkzeugen	193
3. Schweißen von Gußeisen	194
4. Schweißen von Buntmetallen	194
5. Schweißen von Leichtmetallen	194
E. Allgemeine Beurteilung	195