

Technologie der Maschinenbaustoffe

Werkstoffkunde – Werkstoffprüfung
Werkstoffverarbeitung

von Prof. Dr.-Ing. Paul Schimpke †
und Prof. Dr.-Ing. Hermann Schropp †

und Dipl.-Ing. Rolf König

Heinz-Piest-Institut für Handwerkstechnik
an der Technischen Universität Hannover

18., völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage

787 Abbildungen in 1424 Einzeldarstellungen,
24 Gefügebilder, 91 Tabellen



S. HIRZEL VERLAG STUTTGART
1977

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Wesentliche Einheiten, Formelgrößen, Abkürzungen und Zeichen . . .	XVII
Alte und neue Einheiten	XXI

I. Werkstoffkunde 1

A. Grundsätzliches aus der Feuerungskunde 1

1. Wärmeerzeugung	1
2. Temperaturbestimmungen	4
a) Theoretische Verbrennungstemperatur	4
b) Temperaturmessungen	4
3. Brennstoffe	6
a) Natürliche Brennstoffe	7
b) Künstliche Brennstoffe	8
4. Feuerungsanlagen	15
a) Arten der Wärme- und Schmelzöfen	15
b) Arten der Feuerungen	16
5. Luftbedarf der Brennstoffe, Rauchgasmenge	18
6. Ofenbaustoffe	19

B. Grundlagen der Metall- und Legierungskunde 21

1. Gasförmig – flüssig – kristallisiert	21
2. Gitteraufbau der reinen Metalle	22
3. Umkristallisieren durch Umwandlung im festen Zustand	23
4. Kristallbildung und -wachstum beim Erstarren	24
a) Submikroskopische und elektronenoptische Bereiche	24
b) Lichtmikroskopische Bereiche	25
5. Erhitzungs- und Abkühlkurve unlegierter Metalle	27
6. Legierungsbildung und dabei mögliche Kristallarten	28
7. Abkühlkurven und Zustandsdiagramme von Zweistoff-Legierungen	29
8. Magnetische Eigenschaften der Werkstoffe	34
9. Legierungen mit mehr als zwei Komponenten	34

VIII Inhaltsverzeichnis

10. Grundlagen der Eisenlegierungen	36
11. Das Eisen-Kohlenstoff-Zustandsschaubild	37
12. Theorie der Stahlhärtung	40
a) Martensithärtung	40
b) Theorie der Stahlhärtung	41
24 Gefügebilder, Bildtafeln I – IV	nach 42
13. Ausscheidungshärte	44
14. Zwischenstufen-Vergütung	44
15. ZTU-Diagramme	44
C. Die Wärmebehandlung des Stahls	48
1. Durchgreifende Wärmebehandlung der Eisenwerkstoffe	49
a) Glühen	49
b) Anlassen	51
c) Nachlassen	51
d) Härten	51
e) Vergüten	53
f) Altern	56
g) Aushärten	56
2. Oberflächenhärten	56
a) Oberflächenhärten durch reine Wärmebehandlung	56
b) Oberflächenhärten mit örtlicher Änderung der chemischen Zusammensetzung	60
D. Eisen und Stahl	64
1. Einteilung	64
2. Der Stofffluß im Eisenhüttenwerk	65
3. Das Roheisen	66
a) Die Rohstoffe	66
b) Der Hochofenbau	68
c) Der Hochofenbetrieb	72
d) Die Erzeugnisse des Hochofens	73
e) Der elektrische Hochofen	76
f) Synthetisches Roheisen	77
4. Der Stahl	77
a) Allgemeine Betrachtung der Frischvorgänge: metallurgische Grundlagen	77
b) Stahlerstellungsverfahren	79
c) Der Roheisenmischer	79
d) Die Windfrischverfahren	80
e) Das Flammofenfrischen	85
f) Der Elektrostahl	86

g) Das Gießen des Flußstahls	89
h) Stahlsorten	93
i) Ferrolegerungen	112
5. Der Stahlformguß	112
6. Das Gußeisen	113
7. Der Temperguß	118
E. Die Nichteisenmetalle und ihre Legierungen	120
1. a) Kupfer	120
1. b) Kupferlegierungen	123
2. a) Blei.	145
2. b) Bleilegerungen.	146
3. a) Zink	148
3. b) Zinklegierungen	152
4. a) Zinn	152
4. b) Zinnlegierungen	154
5. a) Nickel	154
5. b) Nickel-Legierungen	156
6. Die Leichtmetalle	159
a – 1.) Aluminium	159
a – 2.) Aluminium-Legierungen	162
b – 1.) Magnesium.	169
b – 2.) Magnesium-Legierungen	170
c) Beryllium	172
7. Weitere technisch wichtige Metalle	173
8. Gleitlager-Werkstoffe	182
a) Die einzelnen Lagerwerkstoffe	183
b) Leichtmetall-Lagerlegierungen	185
9. Niedrig schmelzende Legierungen	187
10. Legierungen für bestimmte technologische Vorgänge	188
F. Betriebs- und Werkstoffe für den Kernreaktorbau	189
G. Korrosion und Korrosionsschutz der Metalle und Legierungen	191
1. Grundlagen des Metallangriffs durch Korrosion	191
a) Begriff und Grundgedanke der Korrosion	191
b) Spannungsreihe wichtiger Metalle, Legierungen und Verbindungen	192
c) Arten der Korrosion	193
d) Maßeinheiten bei Korrosionsangaben	196
2. Korrosionsschutz von Halbzeug und fertigen Konstruktionen	196
a) Korrosionsgerechte Konstruktion und Ausführung	196
b) Beseitigung oder Abschwächung einer Korrosionsursache	196
c) Richtige Wahl korrosionsbeständiger Werkstoffe	197
d) Korrosionsschutz durch Überzüge	198

X Inhaltsverzeichnis

α) Vorbehandlung zur Reinigung der Metalloberfläche	198
β) Schutz der Eisenwerkstoffe durch Überzüge	199
β ₁) Metallische Überzüge	199
β ₂) Nichtmetallische Überzüge: anorganisch	202
β ₃) Nichtmetallische Überzüge: organisch	204
γ ₁) Aluminium und seine Legierungen	207
γ ₂) Magnesium und seine Legierungen	208
γ ₃) Zink und seine Legierungen	209
3. Pflege und Reinigung	209

H. Technisch wichtige nichtmetallische Werkstoffe 210

1. Kunststoffe	210
a) Kunststoffe aus Naturstoffen	210
b) Klassische Kondensationsharz-Kunststoffe, Duromere	215
c) Polymerisationsharz-Kunststoffe, Polymerisate	218
d) In verschiedenen Reaktionsweisen aufgebaute Kunststoffe	226
e) Schaumstoffe auf Kunstharz-Basis	235
f) Kunststoff-Normung	236
g) Korrosion und Korrosionsbeständigkeit von Kunststoffen	237
2. Gummi	237
3. Leder und lederähnliche Stoffe	248
4. Holz	249
5. Mineralische Baustoffe	252
a) Natürliche Steine	252
b) Künstliche Steine	253
c) Mörtel, Zement, Beton	254
d) Keramische Werkstoffe	254
e) Glas	255
f) Kohle, Graphit	256
6. Isolierstoffe der Elektrotechnik	256
7. Metalloide als Werkstoffe	257
8. Halbleiter	257
9. Faserstoffe in der Technik	258
a) Naturfasern	258
b) Chemiefasern	258
c) Keramische Fasern	259
d) Whiskers	259
10. Verbundwerkstoffe	260
a) Metallverbundbleche	260
b) Kunststoffbeschichtung von Stahl	260
c) Kunststoffverbundwerkstoffe	260
d) Hochleistungs-Verbundwerkstoffe	261
e) Hochtemperaturbeständige Verbundwerkstoffe	261
f) Keramische Werkstoffe	261

J. Schmierstoffe 263

 1. Schmierstoffarten 263

 2. Anforderungen an Schmierstoffe 265

 3. Schmierstoffprüfung 265

 4. Verwendung der Schmierstoffe im Betrieb 266

II. Werkstoffprüfung 271

A. Werkstoffprüfung metallischer Werkstoffe 271

 1. Die wichtigsten Festigkeitsprüfungen 271

 a) Ruhende Beanspruchung 271

 b) Schlagartige Beanspruchung 281

 c) Schwingende Dauerbeanspruchung 284

 2. Technologische Prüfungen 287

 a) Grob- und Mittelbleche 287

 b) Feibleche 287

 c) Drähte 289

 d) Rohre 290

 e) Nieten, Schrauben, Muttern 290

 f) Formstahl 291

 g) Schmiedewerkstoffe 291

 h) Schmelzschweißnähte 292

 i) Preßschweißnähte 293

 k) Bruchgefüge-Beurteilung 293

 l) Funkenprobe 293

 3. Verschleißprüfung 293

 4. Zerspanbarkeitsprüfung 294

 5. Prüfung auf Korrosionsbeständigkeit 294

 6. Metallographische Prüfung 295

 7. Chemische Prüfung 296

 8. Physikalische Prüfungen 296

 9. Zerstörungsfreie Prüfverfahren 297

B. Werkstoffprüfung von Kunststoffen und Gummi 304

 1. Kunststoffe 304

 a) Mechanische Eigenschaften 304

 b) Thermische Eigenschaften 307

 c) Elektrische Eigenschaften 307

 2. Gummi 308

III. Werkstoffverarbeitung 311

A. Gießen 311

XII Inhaltsverzeichnis

1. Wichtigste Eigenschaften der Gußmetalle	311
2. Modelle	318
3. Sandformerei	321
a) Der Formsand und seine Aufbereitung	321
b) Werkzeuge und Hilfsstoffe	324
c) Herdformerei	325
d) Kastenformerei	326
e) Schablonenformerei	334
f) Herstellen gußeiserner Rohre; Schleuderguß	339
g) Maschinenformerei	344
h) Neuere Formverfahren auf Basis Sand	355
4. Lehmformerei	359
5. Trocknen der Formen und Kerne	361
6. Dauerformen, Kokillen-Formguß	363
a) Grauguß in Kokille	364
b) Stahlformguß in Kokille	366
c) Aluminium-Kokillenguß	366
d) Magnesium-Kokillenguß	367
e) Schwermetallguß in Kokille	367
f) Sturzguß, Tauchgießen	368
g) Ausgießen von Lagerschalen	368
7. Fertigmachen der Formen zum Abgießen	369
8. Der Schmelzbetrieb	372
a) Gießerei-Roheisen-Sorten	372
b) Metallische Zusätze zum Gießereiroheisen	373
c) Gattieren; Gattierungsberechnung	374
d) Gießereikoks	374
e) Zuschläge	375
9. Schmelzöfen	375
a) Der Gießerei-Schachtofen (Kupolofen)	375
b) Der Gießerei-Flammofen (Herdofen)	380
c) Elektro-Schmelzöfen	381
d) Tiegelöfen	382
e) Schmelzofen-Vergleich	382
10. Das Gießen	383
11. Das Gußputzen	385
a) Druckluft-Putzstrahlen	385
b) Schleuder-Putzstrahlen	386
c) Druckwasser-Putzstrahlen	386
d) Feste Strahlmittel	386
12. Stahlguß	388
13. Temperguß	390
14. NE-Metall-Formguß	394
15. Druckguß	397
16. Stranguß	404

B. Metallkundliche Grundlagen der plastischen (spanlosen) Umformung	408
1. Plastische Kaltumformung	408
2. Kristallerholung, Rekristallisation und Sammelkristallisation	411
3. Warmumformung	414
4. Einflüsse auf plastische Umformbarkeit eines Metalls	415
5. Entstehung von Eigenspannungen	416
6. Bedingung für Kaltumformung	416
C. Warmumformung	417
1. Werkstoffe und Warmumformung des Stahls	417
2. Wärmeöfen	418
a) Schmiedeöfen	418
b) Walzwerksöfen	421
c) Härteöfen	422
3. Praxis des Härtens und Vergütens	424
4. Handwerkzeuge des Schmiedes	428
5. Maschinenhämmer.	429
a) Grundlagen	429
b) Stielhämmer (Winkelhämmer)	430
c) Fallhämmer	430
d) Federhämmer	431
e) Lufthämmer (Luftfederhämmer)	432
f) Dampf- und Preßlufthämmer	433
g) Vergleich der Maschinenhämmer	436
6. Schmiedepressen	437
a) Schrauben- oder Spindelpressen	437
b) Kurbel- und Exzenterpressen	438
c) Schmiedemaschinen (Stauchmaschinen)	439
d) Rein hydraulische Pressen	441
e) Dampfhydraulische Pressen	442
f) Normen und Druckgrenzen	444
g) Hammer oder Presse	444
h) Sondermaschinen	445
i) Hilfsmaschinen.	445
7. Schmiede- und Preßarbeiten	445
a) Allgemeines	445
b) Freiformschmieden	445
c) Gesenkschmieden	448
8. Walzen.	453
a) Grundlagen	453
b) Einteilung der Walzwerke	455
c) Einzelteile einer Walzenstraße	456
d) Zubehör einer Walzenstraße	457
e) Betrieb des Walzwerks	458

XIV Inhaltsverzeichnis

f) Zurichterei (Adjustage)	459
g) Besondere Walzwerke	459
9. Herstellung von Stahlrohren	465
a) Stumpfgeschweißte Rohre	465
b) Überlapptgeschweißte Rohre	466
c) Nahtlose Rohre	466
10. Rohre aus Nichteisenmetallen	469
D. Kaltumformung.	471
1. Einleitung	471
2. Biegeverfahren	473
a) Blechbiegen	473
b) Biegen von Rohren und Blechprofilen	484
c) Biegen von Walz- und Strangpreßprofilen	491
d) Biegen von Rundstangen und Draht	493
e) Richten	493
f) Absetzen und Durchsetzen	496
g) Bördeln	497
h) Rollen (Einrollen)	499
i) Sicken	500
k) Falzen	502
3. Tiefziehen und verwandte Blechumformung	504
a) Tiefziehen („Ziehen“)	504
b) Hohlprägen (Blechprägen, Prägeziehen)	511
c) Streckziehen (Streckformen)	511
d) Drücken (Metalldrücken)	514
e) Treiben	521
4. Draht-, Stangen- und Rohrziehen (Zieherei)	522
a) Drahtziehen	523
b) Stangenziehen (Blankstahlziehen)	528
c) Rohrziehen	532
5. Stauch-, Fließpreß- und verwandte Verfahren	536
a) Stauchen (Kaltstauchen)	536
b) Kaltpressen (Gesekpressen, „Kaltschmieden“)	543
c) Massivprägen	546
d) Kaltfließpressen	549
e) Kalteinsenken	555
f) Kaltrollen von Gewinden (früher „Gewinde-Kaltwalzen“)	557
g) Mikroumformung (Oberflächen-Feinumformung)	562
h) Rändeln (Randieren, Riffeln, Kordeln, Kordieren)	566
i) Blechstauchen (Blecheinziehen)	569
k) Rohreinziehen durch Stauchen	570
6. Streck- und Reckverfahren	571
a) Walzverfahren	571

b)	Strecken durch einzelne Querstauchdrücke	584
c)	Reckverfahren	589
7.	Hochenergie- bzw. Hochgeschwindigkeits-Umformung	592
a)	Explosiv-Umformen (Explosionsformung, Sprengformen)	593
b)	Elektromagnetisches Umformen	596
c)	Umformen durch Unterwasser-Funkenentladung bzw. Drahtexplosion	597
d)	Pneumatisch-mechanisches Umformen („Dynamak“-Verfahren)	599
E.	Kunststoff-Verarbeitung	600
1.	Gießverfahren	601
a)	Spritzgießen	601
b)	Fließgießen	604
c)	Filmgießen (Foliengießen)	604
d)	Schleudergießen	605
e)	Rotationsgießen (Drehgießformen, Drehformen)	605
f)	Formgießen und Umgießen (Imprägnieren, Tränken)	606
g)	Stranggießen	606
h)	Schäumgießen	607
2.	Gießharz-Verarbeitung mit Glasfaser-Verstärkung (GFK)	607
a)	Handauflegeverfahren (Handverfahren, Kontaktmethode)	607
b)	MAS-Faser-Harz-Spritzverfahren	608
c)	Vakuum-Verfahren (Tuchverfahren)	608
d)	Drucksack-Verfahren	609
e)	Autoklaven-Verfahren	609
f)	Vakuum-Saug- oder Marco-Verfahren	610
g)	Gummistempel-Verfahren	610
h)	Niederdruck-Preßverfahren mit Metall- oder GFK-Form	610
i)	Wickelverfahren	611
k)	Profilziehverfahren	612
3.	Hochdruck-Preßverfahren für Formkörper, gewickelt- und ebenflächig-geschichtetes Halbzeug	613
a)	Warm-Formpreßverfahren („Heißpressen“) für Formteile	613
b)	Spritzpreß-Verfahren	614
c)	Kaltpreßverfahren	616
d)	Schlagpreßverfahren	616
e)	Schichtpreßverfahren	616
f)	Schaumstoff-Formteile	618
4.	Strangpreßverfahren (Extrudieren)	618
a)	Kontinuierliches Strangpressen	619
b)	Diskontinuierliches Strangpressen	623
5.	Verfahren der Umformtechnik	624
a)	Abkanten und Rundbiegen	624
b)	Spannverfahren (Überleg-Verfahren)	625

XVI Inhaltsverzeichnis

c) Ziehformen	625
d) Streckformen	625
e) Recken	630
6. Kalandrieren (Kalandern)	631
7. Beschichten	632
F. Verbindungsverfahren	634
1. Löten	634
2. Nieten	640
a) Niete, Nietlöcher, Niet erwärmung	640
b) Handnietung	640
c) Nietung mit Preßluftschlämmern	641
d) Nietmaschinen	643
3. Schweißen von Metallen	643
a) Schweißbarkeit der Metalle	644
b) Metalle und Legierungen	644
c) Schweißfolgeplan	653
d) Schweißverfahren	654
e) Das elektrische Widerstands-Schmelzschweißen	672
f) Gießschweißen	674
g) Funkenentladungsschweißen	674
h) Preßschweißen	674
i) Das Kalt-Preßschweißen	678
k) Ultraschall-Schweißen	679
l) Reibschweißen	679
m) Kondensator-Entladungsschweißen	680
n) Diffusionsschweißen	680
o) Sprengschweißen	680
p) Magnet-Impulsschweißen	680
q) Das Kunststoffschweißen	681
r) Technik und Anwendungsgebiete der Gas- und Elektro-Schweißung	682
s) Leistungen, Wirtschaftlichkeit	685
4. Thermisches Trennen und Trennen mit Wasserstrahl	689
5. Klebverbindungen von Metallen	696
IV. Wirtschaftliches	709
A. Roheisen- und Stahlerzeugung der Hauptindustrieländer	709
B. Die Eisenindustrie der wichtigsten Länder	710
Sachverzeichnis	711