

Inhalt

1	Was ist Hartmetall – was sind Hartstoffe?	1
1.1	Definitionen, Nomenklatur, Begriffsabgrenzung	1
1.2	Hartstoffe	2
1.2.1	Karbide	4
1.2.2	Nitride	7
1.2.3	Boride	8
1.2.4	Nichtmetallische Hartstoffe	8
1.2.4.1	Diamant und kubisches Bornitrid	10
1.2.4.2	Borkarbid	13
1.2.4.3	Siliziumkarbid	13
1.2.4.4	Aluminiumoxid	13
1.2.5	Hartstoffsysteme	14
1.2.5.1	Mischkarbide	14
1.2.5.2	Karbonitride	16
1.2.5.3	Karbid-Borid-Kombinationen	16
1.2.5.4	Mischkeramik und Nitridkeramik	17
1.3	Bindemetalle	18
1.4	Gefügebau von Hartmetall	20
1.4.1	Gefüge und Sintervorgänge von WC-Co-Hartmetall	21
1.4.2	Andere Karbid-Binder-Kombinationen	28
1.4.3	Benetzbarkeit und Adhäsion zwischen Binder und Hartstoff	30
1.4.4	Innere Spannungen im Hartmetall	31
1.4.5	Gefügeparameter	31
1.4.5.1	Korngröße und Korngrößenverteilung	32
1.4.5.2	Kornform	35
1.4.5.3	Skelettbildungsgrad (Kontinuität, Kontiguität)	37
1.4.5.4	Porosität und andere Fehlstellen	39
1.5	Eigenschaften von Hartmetall im Vergleich zu anderen Werkstoffen	39
1.6	Veredelung von Hartmetall	41
1.6.1	Die Nachverdichtung von Hartmetall durch heißisostatisches Pressen (HIP)	41
1.6.2	Die Bearbeitung von Hartmetall auf engere Toleranzen und höhere Oberflächengüten	42
1.6.3	Die Beschichtung der Hartmetalloberfläche	42
1.6.4	Die Vergütung durch Wärmebehandlung	42
1.6.5	Oberflächliche Anreicherung und Verarmung von Gefügephasen	43
1.7	Anwendungsvielfalt und Klassifikationssysteme	43
1.7.1	Anwendungsbereiche von Hartmetallsortengruppen	43
1.7.2	Klassifikationssysteme	43

1.7.2.1	DIN 4990 Mai 1942	46
1.7.2.2	USA	46
1.7.2.3	ISO	46
1.7.2.4	Großbritannien	54
1.7.2.5	UdSSR	54
1.7.3	Handbuch von K. Brookes	57
1.8	Wirtschaftliches	57
1.8.1	Weltverbrauch von Hartmetall	58
1.8.2	Aufteilung der Hartmetallerzeugung	59
1.8.3	Hartmetallpreise	60
1.8.4	Recycling von Hartmetall	61
1.8.4.1	Chemische Umarbeitung zu oxidischen Wolframverbindungen	62
1.8.4.2	Mechanische Zerkleinerung	62
1.8.4.3	Mechanische Zerkleinerung nach chemischer oder thermischer Vorbehandlung	62
1.8.4.4	Zinkaufschlußverfahren	63
1.9	Toxikologie	63
2	Aus der Geschichte des Hartmetalls und der Hartstoffe	65
3	Herstellung von Hartmetall und Hartstoffen	73
3.1	Die Ausgangsstoffe der Hartmetallerzeugung	73
3.1.1	Wolframkarbid	75
3.1.1.1	Erzaufbereitung	75
3.1.1.2	Reduktion	76
3.1.1.3	Karburierung	78
3.1.2	Titankarbid	81
3.1.3	Tantal-Niob-Karbid	82
3.1.4	Mischkarbide	82
3.1.4.1	TiC-WC-Mischkarbide	82
3.1.4.2	TiC-Ta(Nb)C-WC-Mischkarbide	83
3.1.5	Sonstige Karbide und Mischkarbide	83
3.1.6	Kobalt und andere Bindemetalle	83
3.2	Prüfung der Ausgangsstoffe	84
3.3	Herstellung und Prüfung der Hartmetallansätze	85
3.3.1	Das Einwiegen	85
3.3.2	Naßmahlung	85
3.3.3	Trocknung	89
3.3.4	Prüfung	92
3.4	Formgebung	92
3.4.1	Direktpressen	92
3.4.2	Strangpressen	95
3.4.3	Indirekte Formgebung	95
3.4.4	Kaltisostatisches Pressen	98
3.4.5	Prüfung der Preßlinge und indirekt geformten Teile und Vorbereitung zum Sintern	101

3.4.6	Heißpressen oder Drucksintern	101
3.4.7	Formabfallaufbereitung	101
3.5	Sintern	102
3.6	Heißisostatisches Pressen (HIP)	107
3.7	Sintertoleranzen und ihre Beeinflussung durch den Herstellprozeß	109
3.7.1	Der Sinterschwund	109
3.7.2	Toleranzbestimmende Faktoren	110
3.7.3	Sintertoleranzen und Bearbeitungszugaben	110
3.7.4	Geltungsbereich der Richtlinien	111
3.7.5	Toleranzbegriff nach ISO	111
3.7.6	Spezifikationsalternativen und -beispiele	113
3.7.7	Anwendung der Toleranztabellen	115
3.7.8	Anwendungsbeispiele	115
3.7.9	Fertigungstechnische Maßnahmen zur besseren Beherrschung des Sinterschwundes	117
3.8	Prüfung des Rohhartmetalls	117
3.8.1	Chemische Untersuchung	119
3.8.2	Physikalische Prüfungen	120
3.8.2.1	Dichte	120
3.8.2.2	Härte	120
3.8.2.3	Koerzitivkraft	122
3.8.2.4	Magnetische Sättigung	123
3.8.2.5	Biegebruchfestigkeit, Bruchzähigkeit, Brucharbeit	126
3.8.2.6	Zugfestigkeit, Druckfestigkeit, Poissonsche Zahl	130
3.8.2.7	Elastizitätsmodul, Schubmodul und Ultraschallprüfungen	131
3.8.2.8	Schlagfestigkeit	132
3.8.2.9	Warmfestigkeit	132
3.8.2.10	Elektrische Leitfähigkeit	134
3.8.2.11	Wärmeleitfähigkeit	134
3.8.2.12	Wärmeausdehnungskoeffizient	135
3.8.2.13	Spezifische Wärme (Wärmekapazität)	135
3.8.2.14	Wechselfestigkeit, Ermüdung	135
3.8.2.15	Sonstige physikalische Prüfungen	136
3.8.3	Metallographische Prüfung	136
3.8.3.1	Schliffherstellung	137
3.8.3.2	Untersuchung auf Porosität und freien Kohlenstoff	137
3.8.3.3	Ätzverfahren	137
3.8.3.4	Gefügephasen und Korngrößen	138
3.8.4	Zerspanungsprüfung	139
3.8.4.1	Verschleißprüfung	139
3.8.4.2	Zähigkeitsprüfung	142
3.8.5	Sonstige Verschleißprüfungen	142
4	Eigenschaften und Verwendungshinweise von unbeschichteten Hartmetallsorten und Hartstoffen	145
4.1	Eigenschaften von WC-Co-Hartmetallen	145
4.1.1	WC-Co-Hartmetalle, Korngrößenbereich fein bis sehr fein nach ISO 4499	145

4.1.2	WC-Co-Hartmetalle, Korngrößenbereich mittel bis mittelfein nach ISO 4499	152
4.1.3	WC-Co-Hartmetalle, Korngrößenbereich mittelgrob bis grob nach ISO 4499	152
4.2	Mehrkarbidhartmetalle mit WC als Hauptbestandteil	152
4.2.1	WC-TiC-Co-Hartmetalle	153
4.2.2	WC-TiC-Ta(Nb)C-Co-Hartmetalle	153
4.2.3	WC-Ta(Nb)C-TiC-Co-Hartmetalle	153
4.3	Hartmetalle auf TiC- und Ti(C,N)-Basis	157
4.3.1	TiC-Mo ₂ C-NiMo-Hartmetalle	158
4.3.2	Ti(C,N)-Mo(W)C-Ni(CoFe)-Hartmetalle	159
4.4	Korrosionsfeste Hartmetalle	160
4.4.1	Cr ₃ C ₂ mit Ni-Binder	160
4.4.2	Hartmetalle auf WC-Basis mit Ni, NiCr, CoCr als Bindemetall	162
4.4.3	Hartmetalle auf WC-Basis mit (Co, Ni)Cr-Binder und TaC- bzw. NbC-Zusätzen	162
4.4.4	Hartmetalle auf WC- bzw. TiC- oder TiCWC-Basis mit korrosionsfestem Binder aus der Gruppe der Platinmetalle	162
4.4.5	Hartmetalle auf WC-Co-Basis	162
4.4.6	Hartmetalle auf TiC(Mo ₂ C)-Basis mit NiMo- oder NiCrCo-Binder	163
4.5	Warm- und zunderfeste Hartmetalle	163
4.6	Vergütbare Hartmetalle	167
4.7	Nichtmetallische Hartstoffe	169
4.7.1	Monokristalliner Diamant	169
4.7.2	Polykristalliner Diamant	170
4.7.3	Kubisches Bornitrid	170
4.7.4	Oxidkeramik	170
4.7.5	Mischkeramik	170
4.7.6	Nitridkeramik (Siliciumnitrid und Sialone)	170
5	Bearbeitung von Hartmetall	171
5.1	Abrasives Bearbeitung (Schleifen, Läppen, Polieren)	171
5.1.1	Schleifen	172
5.1.1.1	Schleifen von Wendeplatten und anderen Serienteilen	179
5.1.1.2	Flachschliff	180
5.1.1.3	Profilschliff	181
5.1.1.4	Rundschliff	181
5.1.1.5	Trennschliff	184
5.1.2	Honen	184
5.1.3	Läppen	185
5.1.4	Polieren	187
5.1.5	Kantenverrunden und/oder Abfasen der Schneidkante	189
5.1.5.1	Trommelverrundung	189
5.1.5.2	Vibrationsverrundung	190
5.1.5.3	Strahlbehandlung	190
5.1.5.4	Verrundung durch Schleifen mit weichen Scheiben	190

5.1.5.5	Verrundung mittels rotierender, mit Schleifmittel beladener Bürsten	190
5.1.5.6	Abfasen der Schneidkanten	190
5.1.5.7	ISO-Bezeichnung der Kantenzurichtung	191
5.2	Funkenerosive Bearbeitung von Hartmetall	191
5.2.1	Verfahren	191
5.2.2	Elektrodenmaterial	194
5.2.3	Vorbohrung	194
5.2.4	Abtragleistung	195
5.2.5	Randzone	196
5.2.6	Rotierende Elektroden	196
5.2.7	Drahterodierverfahren	196
5.2.8	Planetärerodieren	198
5.2.9	Elektroerosives Schleifen	198
5.3	Spanabhebende Bearbeitung	198
5.4	Elektrochemische Bearbeitung, elektrolytisches Schleifen	199
5.5	Ultraschallbearbeitung, Schwing- und Vibrationsschleifen	200
5.6	Prüfung von bearbeitetem Hartmetall	201
5.6.1	Maßliche Prüfung	201
5.6.2	Oberflächenrauigkeit	201
5.6.3	Metallurgische Oberflächenfehler	201
5.7	Beschriftung von Hartmetallteilen	201
6	Die Hartstoffbeschichtung	205
6.1	Entwicklungsstufen der Hartstoffbeschichtung	205
6.2	Beschichtungsverfahren	211
6.2.1	CVD und aktiviertes CVD	211
6.2.2	PVD- und reaktive PVD-Verfahren	214
6.2.2.1	Aufdampfen im Hochvakuum	214
6.2.2.2	Reaktives Aufdampfen	214
6.2.2.3	Aktiviertes, reaktives Aufdampfen	214
6.2.2.4	Ionenplattieren	215
6.2.2.5	Reaktives Ionenplattieren	216
6.2.2.6	Aktiviertes reaktives Aufdampfen mit Saugpotential	216
6.2.2.7	Aktiviertes reaktives Aufdampfen mit Saugpotential und Inertgasaktivierung	218
6.2.2.8	Kathodenzerstäuben (Sputtern) und reaktives Sputtern	218
6.2.3	Vergleich von CVD- und PVD-Verfahren	220
6.2.4	Sonstige Beschichtungsverfahren	220
6.3	Beschichtung von Hartmetall	222
6.3.1	Vorbereitung der zu beschichtenden Teile und Einbau in den Rezipienten	222
6.3.2	Beschichtungszyklus	223
6.3.3	Gebräuchliche Hartstoffschichten	224
6.3.3.1	TiC-Schichten	224
6.3.3.2	TiN, Ti(C,N) und TiC/TiN-Schichten	224

6.3.3.3	TiC/Ti (C,N)/TiN-Schichten	225
6.3.3.4	Ti(C,O,N)-Schichten	226
6.3.3.5	HfN-Schichten	226
6.3.3.6	NbC-Schichten	227
6.3.3.7	Al ₂ O ₃ -Schichten	227
6.3.3.8	Mehrlagige Keramikbeschichtungen	227
6.3.3.9	Sonstige Beschichtungen	228
6.3.4	Basishartmetalle und -hartstoffe und Substrate auf der Basis refraktärer Metalle	229
6.4	Beschichtung von Stahl	330
6.4.1	Beschichtung und Nachschliff	231
6.4.2	Bevorzugte Beschichtungsverfahren	231
6.4.3	Beschichtungshartstoffe	232
6.4.4	Stahlbasis	232
6.5	Prüfung der Beschichtung	232
6.5.1	Schichtdicke und Schichtaufbau	232
6.5.2	Prüfung auf Mikrorisse und Poren	233
6.5.3	Haftfestigkeit	233
6.5.4	Zerspanungstest	235
6.5.5	Sonstige Prüfungen	235
6.6	Anwendungsbereiche von Beschichtungssorten	236
6.6.1	Anwendungsbeispiele für beschichtete Hartmetalle	239
6.6.2	Anwendungsbeispiele für beschichtete Stähle	249
7	Verarbeitung zu Werkzeugen und Verschleißteilen	257
7.1	Konstruktionshinweise (Voraussetzungen für die konstruktive Gestaltung)	257
7.2	Abstützung durch Stahlträgerkörper	260
7.3	Verbindungstechnik – Befestigung von Hartmetallteilen auf Trägerkörpern	262
7.3.1	Löten	262
7.3.1.1	Lötspannungen	263
7.3.1.2	Benetzbarkeit durch Lote	268
7.3.1.3	Lote und Flußmittel	271
7.3.1.4	Trägerwerkstoffe	273
7.3.1.5	Ausführung der Lötung	274
7.3.1.6	Prüfung der Lötung	275
7.3.1.7	Lötverfahren	275
7.3.1.8	Beispiele für gelötete Hartmetall-Werkzeuge	276
7.3.2	Vergießen	277
7.3.3	Kleben	278
7.3.4	Klemmen und Verschrauben	278
7.3.5	Schrumpf- und Preßverbindungen	287
7.3.5.1	Spannungsverhältnisse in gefaßten Hartmetall-Werkzeugen	287
7.3.5.2	Vorspannung in den Kopfen von Matrizen und Kopfpreß- stempeln	293
7.3.5.3	Trägerwerkstoffe	294
7.3.5.4	Herstellung der Schrumpf- und Preßverbindungen	295

7.4	Auftragsschweißungen mit Hartstoffen	296
7.5	Hartaufspritzschichten und sonstige Beschichtungsarten (außer der in Abschn. 6 behandelten Hartstoffbeschichtung)	298
8	Anwendung von Hartmetall und Hartstoffen	301
8.1	Spanabhebende Bearbeitung	301
8.1.1	Einteilung der spanenden Fertigungsverfahren	302
8.1.1.1	Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneidenform	302
8.1.1.2	Spanen mit geometrisch bestimmter Schneidenform	303
8.1.2	Die Auswirkung der Hartmetall- und Hartstoff-Entwicklung auf die Zerspanungstechnik	305
8.1.3	Grundlagen der Zerspanung mit geometrisch bestimmter Schneidenform	306
8.1.3.1	Arbeitsbewegungen und -winkel	307
8.1.3.2	Werkzeugwinkel und -flächen	310
8.1.3.3	Spanbildung	313
8.1.3.4	Spanarten und -formen	319
8.1.3.5	Aufbauschneide	325
8.1.3.6	Zerspankraft, Schnittkraft, Leistungsbedarf	327
8.1.3.7	Zerspanungswärme	340
8.1.3.8	Verschleißerscheinungen und Verschleißursachen	343
8.1.3.9	Zerspanbarkeit der Werkstückstoffe	346
8.1.3.10	Anforderungen an die Werkzeugmaschinen	348
8.1.3.11	Standzeit, Standmenge, Taylor-Gleichung	349
8.1.3.12	Wahl kostenoptimaler Schnittwerte	352
8.1.4	Drehen	359
8.1.4.1	Längsdrehen	361
8.1.4.2	Plandrehen	363
8.1.4.3	Schäldrehen	364
8.1.4.4	Gewindedrehen	364
8.1.4.5	Stechdrehen	367
8.1.4.6	Profil- bzw. Kopierdrehen	368
8.1.5	Fräsen	369
8.1.5.1	Stirn- und Umfangfräsen	370
8.1.5.2	Gleich- und Gegenlaufräsen	370
8.1.5.3	Winkel am Fräswerkzeug	371
8.1.5.4	Auftreffkontakt der Schneide, Schneidenaustritt	372
8.1.5.5	Schneidrichtung	373
8.1.5.6	Oberflächenbeschaffenheit	374
8.1.5.7	Fräswerkzeugaufnahmen	376
8.1.5.8	Schneidenteilung	377
8.1.5.9	Werkzeugwahl	377
8.1.5.10	Wahl der Schnittdaten	379
8.1.5.11	Maßnahmen bei Fräsproblemen	385
8.1.5.12	Plan- und Eckfräser, Stirnfräser	388
8.1.5.13	Walzenstirnfräser	389
8.1.5.14	Scheibenfräser, Satzfräser, Walzenfräser	390
8.1.5.15	Kreissägen	393
8.1.5.16	Wälzfräser	395

8.1.5.17	Gewindewirbeln	397
8.1.5.18	Schaftfräser	399
8.1.5.19	Rotierfräser (Rotierfeilen)	404
8.1.6	Bohren, Senken, Reiben	404
8.1.6.1	Bohren	406
8.1.6.2	Senken	413
8.1.6.3	Reiben	415
8.1.7	Hobeln und Stoßen	418
8.1.8	Räumen	420
8.1.9	Schaben	422
8.1.10	Sonderwerkzeuge für kombinierte Arbeitsgänge	424
8.1.11	Holzbearbeitung	425
8.2	Spanlose Formgebung (Umform- und Schnitttechnik)	430
8.2.1	Ziehen	430
8.2.1.1	Ziehholgeometrie und Normabmessungen	431
8.2.1.2	Verschleißcharakteristik	448
8.2.1.3	Schmierung	448
8.2.1.4	Ziehbedingungen und -leistung	450
8.2.1.5	Drahtzug	451
8.2.1.6	Stangenzug	454
8.2.1.7	Rohrzug	455
8.2.2	Tiefziehen	460
8.2.3	Fließpressen	463
8.2.3.1	Hartmetallwerkzeuge für die Herstellung von Schrauben und Muttern	464
8.2.3.2	Hartmetallwerkzeuge für die Herstellung von Tuben und anderen Hohlkörpern	470
8.2.3.3	Sonstige Kaltfließpreßwerkzeuge	471
8.2.3.4	Warmpreßwerkzeuge	471
8.2.4	Hämmern und Schmieden	473
8.2.5	Walzen	474
8.2.5.1	Flachdraht- und Bandwalzen	475
8.2.5.2	Feinblech- und Folienwalzen	476
8.2.5.3	Stangen- und Drahtwalzen	477
8.2.5.4	Profilwalzen	482
8.2.5.5	Führungs-, Umlenk- und Richtrollen	486
8.2.6	Schnitt- und Stanzwerkzeuge	486
8.2.6.1	Schneidspalt und Verschleißangriff	487
8.2.6.2	Freiwinkel, Nachschliff und Standzeit	488
8.2.6.3	Sonstige Konstruktions- und Einsatzhinweise	488
8.2.6.4	Kraftbedarf	492
8.2.7	Scherwerkzeuge	492
8.3	Bergbau und Gesteinsbearbeitung	494
8.3.1	Drehbohren	494
8.3.2	Kernbohren	496
8.3.3	Schrämen und Fräsen	499
8.3.4	Tiefbohren	501
8.3.5	Großlochbohren und Tunnelvortriebsmaschinen	504
8.3.6	Schlagbohren	510

8.3.6.1	Monoblockbohrer	511
8.3.6.2	Schlag-Bohrkronen	513
8.3.6.3	Installationsbohrer	515
8.3.7	Hartmetallbestückte Handwerkzeuge für die Steinbearbeitung . .	516
8.4	Hartmetall in der Hochdrucktechnik	518
8.4.1	Hartmetallkomponenten für die Herstellung von Diamant und kubischem Bornitrid	518
8.4.2	Hartmetallzylinderbüchsen und Druckkolben („Plunger“)	521
8.4.3	Sonstige Hartmetallteile für die Hochdrucktechnik	522
8.5	Sonstige Verschleißteile	523
8.5.1	Verschleißteile im Maschinen- und Gerätebau	523
8.5.2	Hartmetallverschleißteile in der Bautechnik	523
8.5.3	Hartmetallverschleißteile in der Textilindustrie	524
8.5.4	Hartmetallverschleißteile in der chemischen und keramischen Industrie	526
8.5.5	Hartmetallverschleißteile in anderen Industrien	527
8.6	Schmuckhartmetall	528
	Schrifttum	531
	Autorenverzeichnis zum Schrifttum mit Schrifttum-Fundstellen	543
	Sachwortverzeichnis	551