

Original

Aust, E.; Elsaesser, M.:

**Einsatzpotenzial des Hochdruckwasserstrahls fuer die
Verarbeitung von Leichtmetall-Verbundwerkstoffen**

In: Schweißen und Schneiden (2006) DVS-Verlag

2006 Vol. 58(2): 79-83

Einsatzpotenzial des Hochdruckwasserstrahls für die Bearbeitung von Leichtmetall-Verbundwerkstoffen

In der modernen Leichtbautechnik gewinnen die Metallmatrix-Verbundwerkstoffe, kurz MMC (Metal Matrix Composites), aufgrund ihrer außerordentlich günstigen gewichtsspezifischen Festigkeitseigenschaften zunehmend an Bedeutung. Dabei spielt für die wirtschaftliche Anwendung und Akzeptanz dieser innovativen Werkstoffgruppe mit ihren harten, abrasiv wirkenden Faser- und Partikeleinlagerungen die Zerspanbarkeit mit modernen Schneidwerkzeugen eine besondere Rolle. In dieser Arbeit wird am Beispiel der hybridverstärkten Magnesiumlegierung AE42 das Einsatzpotenzial des abrasiven Hochdruckwasserstrahls für die Zerspannung von MMC untersucht, die erarbeiteten Schneidparameter werden vorgestellt und diskutiert.

Dr.-Ing. Eckhard Aust und Dipl.-Ing. Maxim Elsässer, Geesthacht

1 Einleitung

Die Leichtmetallmatrix-Verbundwerkstoffe auf der Basis von Aluminium und Magnesium (MMC) erobern aufgrund ihrer außerordentlich günstigen mechanischen Eigenschaften ständig neue Einsatzgebiete. Hervorzuheben sind hohe Zugfestigkeit, Steifigkeit und Verschleißbeständigkeit sowie die sehr gute Temperaturwechselfestigkeit. Dabei wurden bei der Weiterentwicklung der Herstellungsverfahren der MMC im letzten Jahrzehnt erhebliche Fortschritte in der wirtschaftlichen Anwendung dieser Werkstoffgruppe erzielt. Hervorzuheben ist die Automobilindustrie mit dem kommerziellen Einsatz von MMC zum Beispiel in Aluminiumkolben für LKW-Dieselmotoren, in Aluminium-Motorgehäusen mit faserverstärkten Zylinderlaufflächen sowie für partikelverstärkte Bremscheiben. Diese innovative Werkstoffgruppe besitzt ein hohes Entwicklungspotenzial, da sich je nach Anwenderwunsch das Anforderungsprofil des Werkstoffs maßgeschneidert einstellen lässt. Diese Anforderungen werden fast ausschließlich durch nicht metallische anorganische Partikel bzw. Fasern als Verstärkungskomponenten erfüllt, die der Metallmatrix beigefügt werden. Dabei werden bei der Hybridverstärkung sowohl Partikel als auch Fasern verwendet [1; 2].

Dem günstigen Eigenschaftsprofil von MMC steht ein erhebliches Problem bei ihrer Zerspanbarkeit gegenüber: Es zeigt sich ein enorm hoher Werkzeugverschleiß, der durch die extrem harten und abrasiv wirkenden keramischen Verstärkungen aus den Partikeln und Fasern verursacht wird. Dabei lässt sich dieser extreme Werkzeugverschleiß nur durch eine angepasste Wahl des Schneidstoffs, der Schneidenform und der Zerspanungsparameter auf ein wirtschaftlich akzeptables Maß reduzieren. Hierfür sind nur wenige Schneidstoffe geeignet. Hervorzuheben sind der polykristalline Diamant (PKD) mit hohen Werkzeugkosten bei komplizierteren Schneidengeometrien und Schneidwerkzeuge mit einer CVD-Diamant-Dickbeschich-

tung, mit denen heute praxisrelevante Standzeiten erzielt werden können [3].

Vor diesem Hintergrund wurde das Einsatzpotenzial des abrasiven Hochdruckwasserstrahls für die spanende Bearbeitung von Leichtmetall-Verbundwerkstoffen auf Magnesiumbasis untersucht, da sich dieses innovative Werkzeug zunehmend für die Bearbeitung harter und spröder Werkstoffe auszeichnet [4...6].

Den Untersuchungen wurde als Metallmatrix-Verbundwerkstoff die Magnesium-Gusslegierung AE42 mit einer Hybridverstärkung aus Al_2O_3 -Fasern (Saffil) und SiC-Partikeln zugrunde gelegt, wobei die Schneidversuche an dieser Matrixlegierung mit drei unterschiedlichen Anteilen an Verstärkungskomponenten durchgeführt wurden (siehe Tabelle 3).

2 Versuchsaufbau, Versuchsbedingungen und Werkstoffkennwerte

2.1 Versuchstechnik

Die Schneidversuche wurden auf der in Bild 1 dargestellten Schneidanlage durchgeführt. Hierbei handelt es sich um eine Anlage, die nach dem Wasserabrasivinjektorstrahl-Prinzip (WAIS-Prinzip) arbeitet. Der Schneidkopf ist in einem x-y-Führungssystem gelagert und wird mit einer Konturauflösung von $\pm 0,05$ mm präzise über die im Schneidbecken fixierte Schneidprobe geführt. Dabei werden die Versuche überwiegend mit Wasserüberdeckung der Proben durchgeführt, um die Aerosolbildung zu reduzieren und den Geräuschpegel während des Schneidens gering zu halten. Zwei flexible Schläuche verbinden den Schneidkopf mit dem Pum-

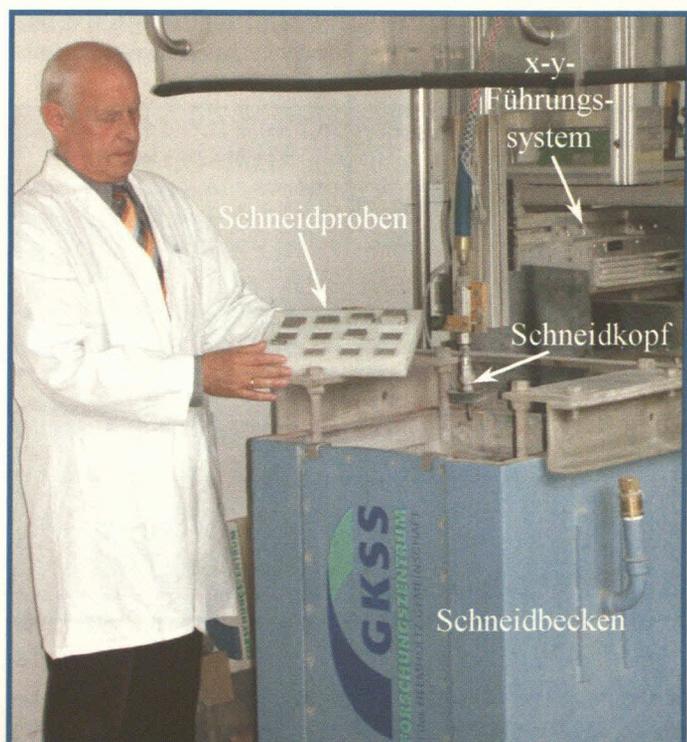


Bild 1. Aufbau der Versuchsanlage und Haltevorrichtung für die Schneidproben zum Hochdruckwasserstrahl-Schneiden von faser- und partikelverstärktem Verbundwerkstoff auf der Basis der Magnesiumlegierung AE42.

Mitteilung aus dem GKSS-Forschungszentrum Geesthacht, Institut für Werkstofforschung.

Tabelle 1. Verfahrensparameter zum Wasserabrasivstrahlschneiden von Verbundwerkstoffen der Matrixlegierung AE42.

Wasserdruck vor der Schneiddüse für die beiden Versuchsreihen	220 und 330 MPa
Wasserdüsendurchmesser	0,3 mm
Fokussier(Abrasive)-Düsendurchmesser	1 mm
Arbeitsabstand	2,0 mm
Abrasivmittel	Granat, Körnungen von 150 bis 300 µm (80 Mesh)
Abrasivmittellrate	200 g/min

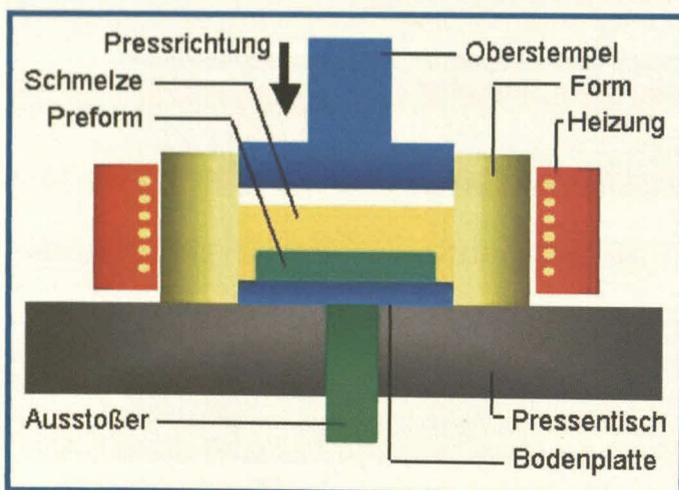


Bild 2. Prinzipieller Aufbau eines Werkzeugs zur Herstellung von Halbzeug nach dem Squeeze-Casting-Verfahren.

	Massenanteil %
Magnesium:	92,6 bis 94
Aluminium:	3,6 bis 4,4
Seltene Erden:	2,0 bis 3,0

Tabelle 2. Zusammenstellung der Legierungselemente des Magnesiumbasiswerkstoffs AE42.

Tabelle 3. Anteile der Verstärkungskomponenten aus Al₂O₃-Kurzfasern und SiC-Partikeln in der Preform.

Preformkennzeichnung	Volumenanteil Al ₂ O ₃ (Saffil)-Faser %	Volumenanteil SiC-Partikel %
10/10	10	10
10/15	10	15
15/5	15	5

penaggregat und dem Abrasivmittelzugabesystem. Dabei arbeitet das Pumpenaggregat mit einem Wassernendruck von 350 MPa bei einer Förderrate von 170 l/h. Das Abrasivmittelzugabesystem ist ein frequenz geregelter Schwingförderer, der im Arbeitsbereich bei 200 g/min betrieben wird. Als Abrasivmittel wird australischer Gra-

nat verwendet. Der eingesetzte Schneidkopf arbeitet mit einer sahirbestückten Wasserdüse und einem Hartmetall-Fokussierrohr.

Die in den Experimenten verwendeten Verfahrensparameter sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Versuche richteten sich auf die Ermittlung der Vorschubgeschwindigkeit des Schneidkopfs zur Erzielung eines technisch sauberen Trennschnitts, wobei in der Wasserstrahltechnik die Vorschubgeschwindigkeit des Schneidkopfs mit der Schneidgeschwindigkeit des Wasserstrahls gleichgesetzt wird. Dabei unterscheidet man zwischen dem Trenn-, dem Qualitäts- und dem Feinschnitt. Beim Trennschnitt ist die Vorschubgeschwindigkeit gerade so gewählt, dass das Werkstück durchtrennt wird, wobei es an den Schnittflächen im unteren Bereich der Trennfuge zu einer ausgeprägten Riefenbildung kommt. Beim Qualitätsschnitt besteht die Forderung nach einer glatten Schnittfläche mit nur geringer Riefenbildung. Hier liegt die Vorschubgeschwindigkeit etwa bei der Hälfte der Trennschneidgeschwindigkeit. Beim Feinschnitt mit einer sehr glatten Schnittfläche beträgt die Vorschubgeschwindigkeit noch etwa ein Viertel der Geschwindigkeit des Trennschnitts. Ein weiteres Kennzeichen der gewählten Schneidgeschwindigkeit ist das Profil der Schnittfuge. Theoretisch weist dieses Profil bei zu hoher Schneidgeschwindigkeit eine V-Form und bei zu geringer Geschwindigkeit eine A-Form auf, die im Wesentlichen die Form des divergierenden Wasserstrahls widerspiegelt. Da in diesen Versuchen die Trennschneidgeschwindigkeit für Halbzeug aus der verstärkten AE42-Legierung ermittelt wurde, sind für die Herstellung von Qualitäts- und Feinschnitten die angegebenen Schneiddaten entsprechend zu reduzieren.

2.2 Werkstoffkennwerte und Probengeometrie

Für die Schneidversuche wurde die bereits erwähnte Magnesium-Matrixlegierung AE42 mit den Legierungselementen nach Tabelle 2 sowie mit einer Hybridverstärkung aus Al₂O₃ (Saffil) und aus SiC-Partikeln zugrunde gelegt, wobei die Schneidproben unterschiedliche Volumenanteile dieser beiden Verstärkungskomponenten aufwiesen.

Charakteristisch für die Verstärkungskomponenten sind die Al₂O₃-Kurzfasern mit einer Länge von rund 180 µm und einem Durchmesser von 8 µm sowie die SiC-Partikel mit einem Durchmesser bis zu 30 µm. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Volumenanteile. Die Fasern und Partikel werden zu Formkörpern, den Preforms verarbeitet, die mit etwa 4% Massenanteil SiO₂-Binder zusammengehalten werden. Die Preforms werden anschließend mittels des Squeeze-Cast-Verfahrens mit der Magnesiumlegierung infiltriert. Dabei ist die Faserverteilung in den Preforms planar isotrop, was im Bauteil zu isotropen Werkstoffeigenschaften in der Ebene senkrecht zur Infiltrationsrichtung und zur Anisotropie in allen anderen Richtungen führt. Das Squeeze-Cast-Verfahren oder Pressgießen ist das verbreitetste Herstellungsverfahren für Metallmatrix-Verbundwerkstoffe. Bild 2 zeigt den grundsätzlichen Aufbau eines Werkzeugs zur Anwendung des Squeeze-Cast-Verfahrens. Nach der Infiltration der Preform erstarrt die Magnesiumschmelze unter sehr hohem Druck, was zu einem feinkörnigen Gefüge führt.

Bild 3 zeigt einen nach dem Squeeze-Casting hergestellten und in der Mitte durchtrennten Rohling. Der dunkle Kern ist die von der Magnesiumlegierung infiltrierte Preform. Die helle Einfassung des

Infiltrats besteht aus unverstärkter Magnesiumlegierung, wobei das eingezeichnete Koordinatensystem zur späteren Definition der jeweils gewählten Schnittlage und -richtung dient.

Bild 4 zeigt das Schlibbild einer mit dem abrasiven Hochdruckwasserstrahl hergestellten Schneidprobe aus AE42-15/5 (15% Volumenanteil Al_2O_3 -Kurzfasern, 5% Volumenanteil SiC-Partikel). Der Schliff (x-y-Ebene) erfolgte senkrecht zur Infiltrationsrichtung (z-Achse) und schneidet die meisten der Kurzfasern in ihrer Längsachse.

Die Ermittlung der Trennschneid- bzw. Vorschubgeschwindigkeit des Schneidkopfs erfolgte an Schneidproben mit unterschiedlichem Gehalt an Verstärkungskomponenten entsprechend den Angaben in Tabelle 3 sowie an Proben mit unterschiedlichen Dicken. Alle Proben wurden mit denselben Rechteckabmessungen 40 mm \times 25 mm ausgeführt, jedoch mit den unterschiedlichen Dicken von 2, 8, 16 und 25 mm. Ferner wurden die Schneidproben so aus dem Rohling herausgearbeitet, dass sich Schnitte in den drei Hauptachsen x, y und z herstellen ließen, um insbesondere den Einfluss der planar isotropen Faserlage in der Probe auf die Schneidgeschwindigkeit herauszuarbeiten. Die Schnittführungen wurden wie folgt definiert:

- x-y-Schnitt: Strahlrichtung x parallel zur Faserlage, Schneidkopfvorschub y parallel zur Faserlage,
- z-y-Schnitt: Strahlrichtung z senkrecht zur Faserlage, Schneidkopfvorschub y parallel zur Faserlage,
- y-z-Schnitt: Strahlrichtung y parallel zur Faserlage, Schneidkopfvorschub z senkrecht zur Faserlage.

3 Ermittlung der Schneiddaten

Zur versuchstechnischen Ermittlung der Vorschubgeschwindigkeit des Schneidstrahls für einen technisch einwandfreien Trennschnitt wurden an den MMC-Probekörpern mit unterschiedlicher Dicke sogenannte Kammschnitte hergestellt. Dabei wurde von Zinken zu Zinken des Kamms die Schneidleistung um $160 \text{ mm}^2/\text{min}$ gesteigert, sodass bei einer niedrig gewählten Startgeschwindigkeit und 15 Zinken je Schneidprobe ein relativ breites Geschwindigkeitsspektrum für die Festlegung des Trennschnitts zur Verfügung stand. Nach dieser Vorgehensweise wurden die Schneidversuche bei 220 und bei 330 MPa durchgeführt, wobei für jede Druckstufe die drei unterschiedlich verstärkten Werkstoffproben sowie die drei möglichen Orientierungen des Schneidkopfs zur Lage der Fasern im Probekörper berücksichtigt wurden.

Bild 5 zeigt beispielhaft die vier Kammproben mit den Dicken von 2, 8, 16 und 25 mm von der Ober- und Unterseite. Dabei sind die dargestellten Proben aus dem Verbundwerkstoff AE42-10/10 und nach einem y-z-Schnitt hergestellt, das heißt, der Schneidstrahl wies beim Schneiden parallel zur Faserlage mit einem Vorschub senkrecht dazu.

An den Proben sind sehr gut die scharfkantigen Schnittfugen strahleintrittsseitig (Oberseite) zu erkennen. Auf der Strahlaustrittsseite (Unterseite) sind die Schnittkanten anfangs bei geringer Schneidgeschwindigkeit und Probendicke ebenfalls noch relativ gradlinig. Sie werden aber mit zunehmender Schneidgeschwindigkeit unregelmäßiger und mit wachsender Probendicke zusätzlich von Ausfransungen gekennzeichnet, die deutlich auf starke kurzzeitige Strahlablenkungen hinweisen. Hier macht sich vermutlich zum

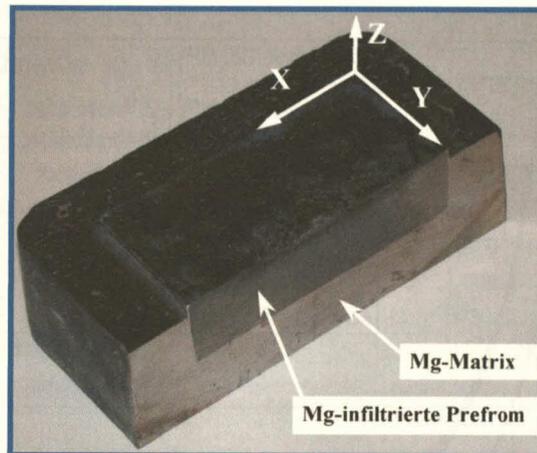


Bild 3. Der Rohling mit der faser- und partikelverstärkten infiltrierten Preform, von unverstärktem Magnesium-Matrix-Werkstoff AE42 umgeben (Unterseite oben liegend).

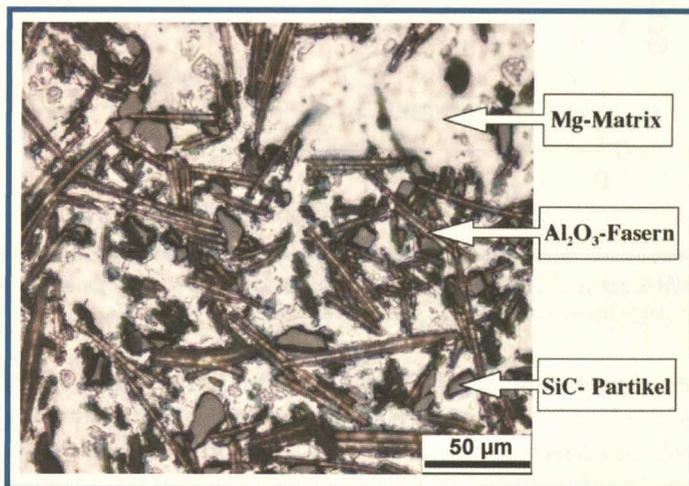


Bild 4. Schlibbild einer Schneidprobe mit Partikel- und Faserverstärkung (500fache Vergrößerung, x-y-Schnitt).

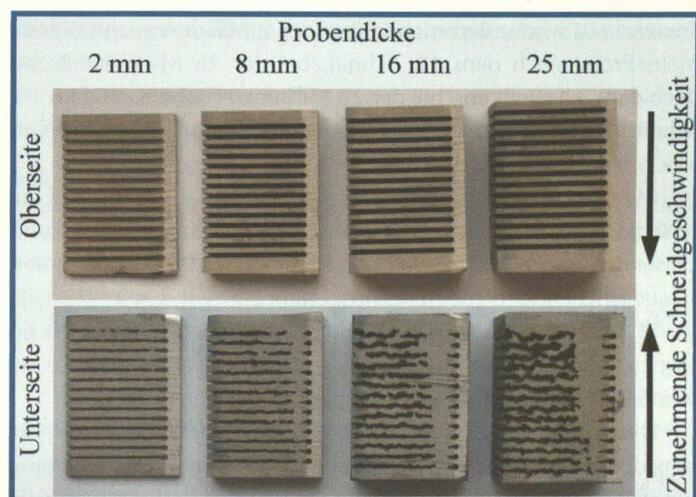


Bild 5. Vier Schneidproben aus AE42-10/10 nach Ausführung der Kammschnitte (Ober- und Unterseite).

einen der Einfluss der harten Verstärkungskomponenten in der weichen Magnesiummatrix bemerkbar, die den Strahl zu einer laufenden Richtungsänderung zwingen. Zum anderen weisen die Austrittskanten auf ein Erscheinungsbild hin, wie es der „frei fliegende“

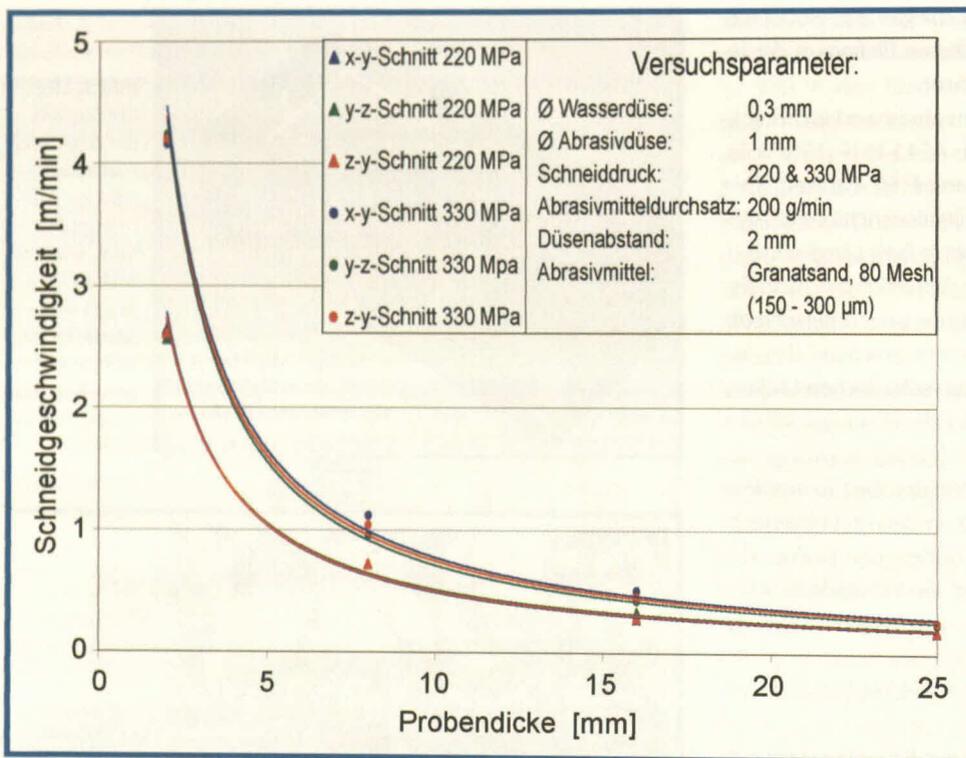


Bild 6. Schneiddiagramm für den Verbundwerkstoff AE42-10/10 unter Berücksichtigung der Lage der Fasern in der Schneidprobe.

Wasserstrahl beim Schneiden dicker Werkstücke erzeugt. Vermutlich sind beide Effekte an den Ausfransungen der Schnittkanten beteiligt. Sie lassen sich jedoch durch eine Reduzierung der Schneidgeschwindigkeit hin zum Qualitätsschnitt weitgehend vermeiden. In der Darstellung in Bild 5 lässt sich an der Unterseite der Proben das Erreichen des Trennschnitts erkennen. Danach treten im Schnittverlauf Brückenbildungen zwischen einzelnen Zinken auf, und der Trennschnitt wird unterbrochen (bei der 2 Millimeter- und 8 Millimeter-Probe nach dem 12. Schnitt, bei der 16 Millimeter-Probe nach dem 8. Schnitt und bei der 25 Millimeter-Probe nach dem 10. Schnitt). Die Ausfransungen traten auch bei einem Schneidkopfvorschub parallel zur Faserlage auf.

Mit den Parametern „2 Druckstufen“ (siehe Tabelle 1), „drei unterschiedlich verstärkte Verbundwerkstoffe“ (siehe Tabelle 3), und „Faserlage“ (x-, y- und z-Schnitt) sowie den vier Proben mit unterschiedlicher Dicke ergeben sich insgesamt $2 \times 3 \times 3 \times 4 = 72$. Diese 72 Schneidversuche wurden durchgeführt. Zum Vergleich erfolgten ferner Schnitte an vier unterschiedlich dicken Proben aus unverstärkter AE42-Legierung und aus AlMg3.

Die Versuche haben gezeigt, dass die planar isotrope Ausrichtung der Fasern in der Matrix in Bezug auf die Schneidstrahlrichtung nur einen geringen Einfluss auf die Strahlvorschubgeschwindigkeit besitzt. Dabei liegen die Abweichungen für die drei Werkstoffvarianten in der Größe von 5%, sodass eine ausgeprägte Abhängigkeit der Schneidgeschwindigkeit nicht erkennbar ist.

Bild 6 zeigt beispielhaft für den Werkstoff AE42-10/10 die Vorschubgeschwindigkeit des Schneidstrahls in Abhängigkeit von der Probendicke für die beiden gewählten Druckstufen von 220 und 330 MPa unter Berücksichtigung der Faserlage. Deutlich ist die ge-

ringe Abhängigkeit der Schneidgeschwindigkeit von der Lage der Fasern in der Schneidprobe zu erkennen. Fast identische Werte liefern die Schneidversuche zum Einfluss der Faserlage auch für die Schneidproben aus AE42-15/5 und AE42-10/15. Vor diesem Hintergrund wurden für die weiteren Auswertungen aus den Einzelmessungen zum Einfluss der Faserlage arithmetische Mittelwerte gebildet und die Einzelkurven für jede Verbundwerkstoff-Variante zu einer Gesamtkurve zusammengefasst. Bild 7 zeigt die Abhängigkeit der Schneidgeschwindigkeit von der Probendicke für AE42 unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Anteile von Verstärkungskomponenten aus Al_2O_3 und SiC. Für jede Druckstufe liegen die Kurven für die drei Werkstoffvarianten sehr dicht beieinander. Leicht erhöhte Werte zeigt lediglich der Werkstoff AE-10/10.

Die Schneidleistung als Produkt aus Schneidgeschwindigkeit und Probendicke liegt für die drei Werkstoffvarianten in der Druckstufe 220 MPa bei rund $51 \text{ cm}^2/\text{min}$ und für 330 MPa bei rund $74 \text{ cm}^2/\text{min}$. Diese Leistungsdaten sind für die Schneidproben mit 25 mm Dicke um etwa 10% niedriger und um rund 5% größer für die Proben mit 2 mm Dicke, was mit dem Schneidleistungsverlauf von konventionellen Werkstoffen übereinstimmt. Zum Vergleich sind die Schneidgeschwindigkeiten für Proben aus der unverstärkten AE42-Legierung eingetragen. Hier wird der Einfluss der Verstärkungskomponenten auf die Schneidleistung deutlich: Anhebung der Leistung ohne Werkstoffverstärkung bei 220 MPa um rund 14% und um rund 18% bei der Druckstufe von 330 MPa.

4 Bewertung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Schneidversuche an den faser- und partikelverstärkten Magnesium-Verbundwerkstoffen auf der Basis von AE42 haben gezeigt, dass sich dieser außerordentlich schwer spanbare und abrasiv wirkende Werkstoff mit Hilfe des abrasiven Hochdruckwasserstrahls sehr gut spanend bearbeiten lässt. Dabei liegen die erzielbaren Schneidgeschwindigkeiten im Spektrum der Werte für technische Werkstoffe, wie Bild 7 beispielhaft im Vergleich mit den Werten von Schneidproben aus der Aluminiumlegierung AlMg3 zeigt. Die ermittelten Schneidkurven zeigen, dass der Schneiddruck den erwarteten hohen Einfluss auf die Vorschubgeschwindigkeit besitzt und annähernd linear in die Geschwindigkeitserhöhung eingeht, das heißt die Anhebung des Schneiddrucks um 50% bringt eine Schneidgeschwindigkeitserhöhung in der gleichen Größenordnung.

Auffällig sind die erhöhten Vorschubgeschwindigkeiten für AE42-10/10 mit 10% Volumenanteil Faseranteil und 10% Volu-

menanteil Partikelanteil gegenüber den beiden Werkstoffvarianten mit 15 und 10% Volumenanteil Faseranteil sowie 5 und 15% Volumenanteil Partikelanteil. Es ist zu vermuten, dass die Anhebung des Faseranteils von 10 auf 15% und die Anhebung des Partikelanteils von 5 auf 15% eine messbare Senkung der Schneidgeschwindigkeit bewirkt. Allerdings liegt dieser Leistungsabfall deutlich unter 10%.

Hervorzuheben sind hinsichtlich der Schnittqualität die starken Ausfransungen der Schneidproben an der Strahlaustrittskante, unabhängig von der Lage des Faserwerkstoffs in der Matrix. Es wird vermutet, dass diese unsaubere Ausbildung der Schnittkanten maßgeblich durch die Verstärkungskomponenten verursacht wird, die den Schneidstrahl kurzfristig aus seiner Bahn lenken. Um einen technisch einwandfreien Schnitt zu erhalten, ist hier die Trennschneidgeschwindigkeit in Richtung der Schneidgeschwindigkeit für den Qualitätsschnitt zu reduzieren.

Hinsichtlich der Korrosion der Schnittflächen durch das Schneidmedium „Wasser“ haben die Versuche gezeigt, dass der Kontakt mit Wasser während des Schneidvorgangs zu keinen sichtbaren Korrosionsangriffen führt. Lediglich an den Schnittflächen von Proben, die rund vier Stunden im Wasser lagen, waren punktförmige Korrosionsangriffstellen erkennbar, Bild 8.

Ein weiterer Aspekt beim Schneiden von Magnesium ist die Bildung von Wasserstoff durch die Reaktion der Magnesiumspäne mit dem Wasser im Schneidbecken. Während des Schneidens stiegen millimetergroße Gasblasen zur Wasseroberfläche empor, die auf die Entstehung des Wasserstoffs hinwiesen. Nach Abschluss des Schneidvorgangs kam jedoch die Gasblasenentwicklung innerhalb von Minuten wieder zum Erliegen, was auf eine Passivierung der Oberfläche der einzelnen Späne durch die Bildung einer Magnesiumhydroxidschicht hindeutet. Die untere Explosionsgrenze (UEG) für eine Knallgasbildung liegt bei 4% Volumenanteil, wobei die handelsüblichen Gaswarnanlagen für Wasserstoff üblicherweise bei 20% UEG Voralarm und bei 40% UEG Alarm auslösen [7]. Vor diesem Hintergrund ist der Schneidraum mit einer Gaswarnanlage auszustatten und gut zu belüften.

Zusammengefasst zeigen die Schneidversuche, dass der abrasive Hochdruckwasserstrahl ein sehr innovatives Werkzeug für die spanende Bearbeitung von partikel- und/oder faserverstärkten Leichtmetall-Verbundwerkstoffen darstellt und in Konkurrenz zu den diamantbesetzten Schneidwerkzeugen mit geometrisch definierter Schneide treten kann. Der abrasive Wasserstrahl besitzt ein breites Anwendungsspektrum für die Bearbeitung der gesamten Palette vom MMC-Dünnsblech bis hin zum zentimeterdicken Werk-

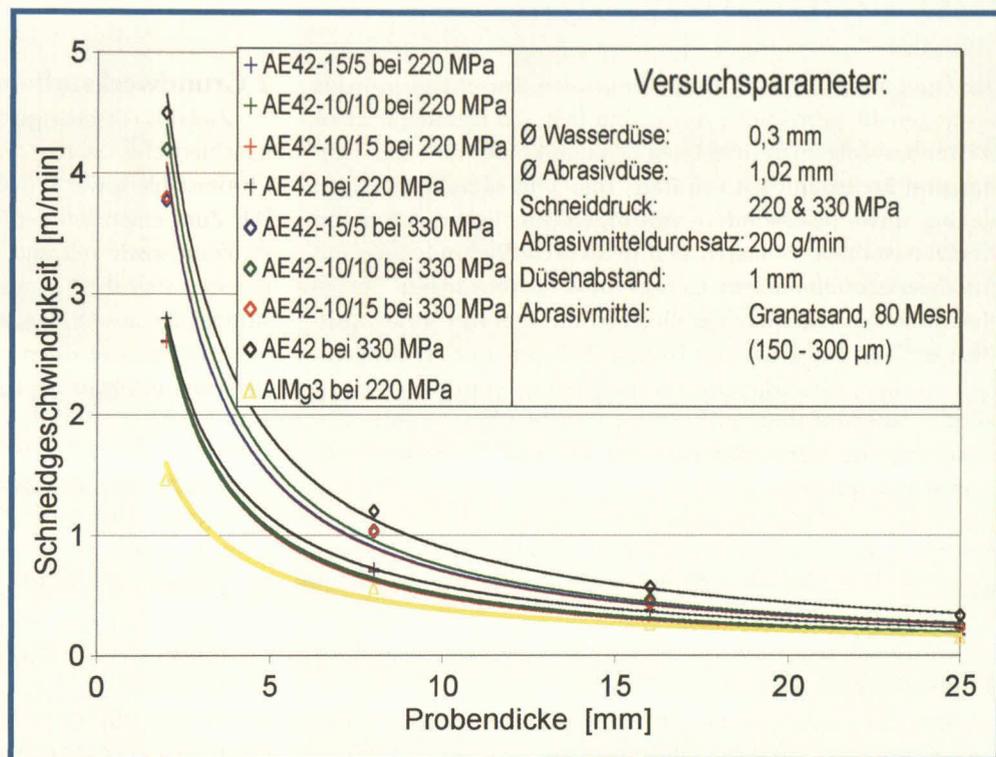


Bild 7. Schneiddiagramm für den Verbundwerkstoff der Legierung AE42 mit unterschiedlichen Anteilen an Verstärkungskomponenten, für den unverstärkten Werkstoff sowie zum Vergleich für die Legierung AlMg3.

stück mit einer Faser- und Partikelverstärkung von insgesamt bis zu 25% Volumenanteil, ohne dass störende Gefügeveränderungen verbunden mit Spannungseintrag und Haarrissbildung in den Schnittflächen des Werkstücks zu beobachten sind. Die Entstehung von Wasserstoff bei der nassen Zerspannung von Magnesium und seinen Legierungen mit einer zündfähigen Konzentration lässt sich technisch einfach und zuverlässig im Schneidlabor durch eine kontinuierliche Raumbelüftung in Kombination mit einer Gaswarnanlage vermeiden.

Literatur

- [1] Kainer, K. U.: Grundlagen der Metallmatrix-Verbundwerkstoffe, Metallische Verbundwerkstoffe (Hrsg.: K. U. Kainer). Wiley-VCH Verlag, 2003, S. 1/65.
- [2] Kainer, K. U.: Partikel, Fasern und Kurzfasern zur Verstärkung von metallischen Werkstoffen (Hrsg.: K. U. Kainer). Wiley-VCH Verlag, 2003, S. 66/88.
- [3] Weinert, K., u. a.: Mechanische Bearbeitung von Komponenten aus Leichtmetallverbundwerkstoffen. In: Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde (Hrsg.: Schulte, K., Kainer, K. U.). Wiley-VCH Verlag, 1999, S. 207/12.
- [4] Aust, E., u. a.: Der abrasive Hochdruck-Wasserstrahl als Werkzeug zum Gussputzen. Gießerei 83 (1996), Nr. 20, S. 21/27.
- [5] Aust, E., u. H.-R. Niemann: Fertigungspotentiale für die spanende Bearbeitung von γ -TiAl. Mat.-wiss. U. Werkstofftechnik. 30 (1999). Wiley-VCH Verlag, 1999, S. 43/50.
- [6] Aust, E., u. a.: Einsatzmöglichkeiten des Hochdruckwasserstrahls zur Herstellung von Mikrobauteilen. Schw. Schn. 54 (2002), H. 12, S. 696/701.
- [7] Weck, M., u. a.: Wasserstoffbildung bei der Magnesiumbearbeitung. VDI-Z 144, Nr. 5, Mai 2002, S. 83/86.