

MASCHINENBAUER TRAGEN DICK AUF

Mit innovativen Werkstoffen und Lasertechnologien zu neuartigen Konzepten in der Werkzeugherstellung und -reparatur

>> von Andreas Baum, Ursula Christian, Norbert Jost und Roland Wahl >

Im technischen Einsatz unterliegen viele Bauteile, insbesondere aus dem großen Bereich der Werkzeuge, neben vielen anderen Beanspruchungen vor allem hohen Druck- und/oder Reibbeanspruchungen. Daraus ergibt sich in der Regel ein hochkomplexes Beanspruchungsprofil an die Werkstoffe und die daraus gefertigten Bauteile. Um diesem gerecht zu werden, ist sowohl von technologischer Seite als auch zunehmend aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten eine zielgerichtete und stetige Anpassung und Optimierung von Werkstoffen, Verfahren und Bauteilen erforderlich.

Werkzeuge, die im besonderen Maße im Fokus des Anwenderinteresses stehen, sind Umform-, Stanz- und Zerspanungswerkzeuge. In der Regel kommen zur Herstellung dieser Werkzeuge spezielle, hoch verschleißfeste Werkstoffe zum Einsatz, die einerseits vergleichsweise teuer, andererseits fertigungstechnisch oftmals nicht ganz unproblematisch sind.

Um solche Werkzeuge, insbesondere Umformwerkzeuge, weiterzuentwickeln und zu optimieren, erhielten die werkstoffkundlichen und fertigungstechnischen Labore des Maschinenbaus der Hochschule Pforzheim einen recht hoch dotierten Forschungs- und Entwicklungsauftrag aus dem Kreis der mittelständischen Industrieunternehmen der Region. Über den aktuellen Zwischenstand dieser Untersuchungen soll in diesem Beitrag berichtet werden.

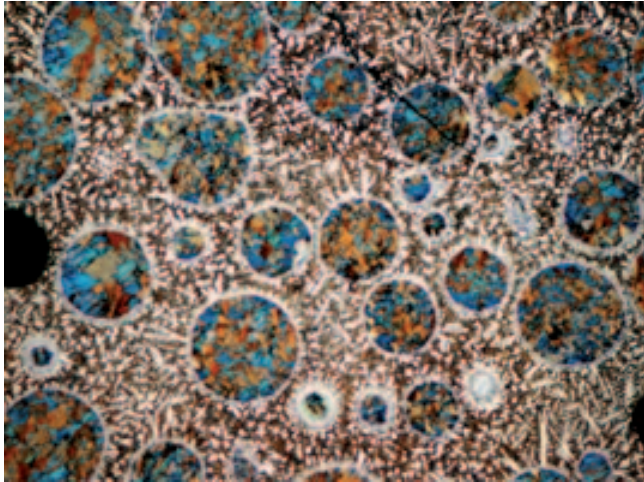
Die Werkstoffe

Bei technisch hochwertigen Umform-, Stanz- oder Zerspanungswerkzeugen kommen als Werkstoffe überwiegend spezielle Werkzeugstähle oder Hartmetalle zum Einsatz. Insbesondere in Zeiten weiter steigender Rohstoffpreise könnten solche hochwertigen Werkstoffe irgendwann unrentabel werden; bei größeren Werkzeugen ist ihre Verwendung aufgrund der Nichtverfügbarkeit von Sinter-Hartmetallen in größeren Formaten ohnehin teilweise technisch unmöglich. Darüber hinaus sind Sinter-Hartmetalle zwar sehr widerstandsfähig, müssen jedoch bei Erreichen der Verschleißgrenze mangels Reparaturmöglichkeit vollständig ersetzt werden.

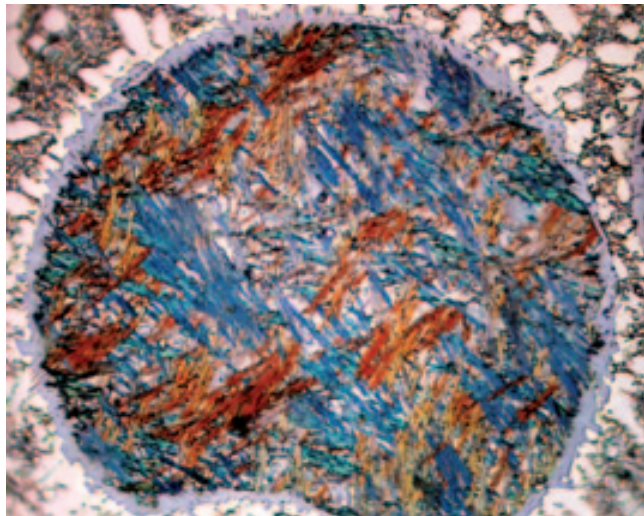
Hartmetalle zählen zur Gruppe der metallischen Verbundwerkstoffe. Sie bestehen aus zwei Phasen: zum einen aus der sogenannten Matrix, die als Binder fungiert und für den inneren Zusammenhalt der Hartmetallschicht und für deren Anbindung zum Grundwerkstoff sorgt. Ihr Anteil bestimmt die Duktilität des Hartmetalls. Die andere Phase sind die Hartstoffpartikel, die wiederum aus unterschiedlichen Elementen in spezifischen stöchiometrischen Mischungsverhältnissen zusammengesetzt sein können.

Diese winzigen Partikel stellen die eigentlichen Verschleißträger in einem auf Verschleiß beanspruchten Werkstoffsystem dar. Sie nehmen dabei über ihre Form, ihre Verteilung, ihre Größe und natürlich ihre Härte ganz besonderen Einfluss auf das gesamte Verhalten des Werkstoffes bzw. des mit ihm beschichteten Bauteiles. Eine weitere wichtige Größe in diesem System ist die Schichtdicke. Sehr dünne und harte Schichten sind als PVD- und/oder CVD Schichten bekannt. Diese Schichten bestehen ebenfalls aus sehr harten, atomaren Verbindungen spezifischer Elemente und werden durch ein Abscheidungsverfahren aus der gasförmigen Phase (Plasma) mit dem Substrat fest verbunden. Die Dicken solcher Schichten betragen jedoch nur wenige Mikrometer und versagen bei entsprechend massiver Verschleißbeanspruchung. Unter anderem für solche Fälle rücken nunmehr Schichtsysteme in den Blickpunkt, die durch ihre höhere Dicke auch eine bessere Tragfähigkeit und damit auch spezifische Verschleißfestigkeit mitbringen. Während es bis vor kurzem gar nicht möglich war, Hartstoffschichten von mehr als 1cm Dicke rissfrei aufzubringen, sind mit den in den Pforzheimer Laboren entwickelten Werkstoffkombinationen und Verfahren (s.u.) heute Schichtdicken von 2 cm und mehr möglich. Die Schichten können sogar so zusammengesetzt und aufgebracht werden, dass Eigenschaftsgradienten über die Schichtdicke reproduzierbar möglich sind (also z.B. eine linear abnehmende Härte oder eine optimale Kombination aus Zähigkeit und Härte, ähnlich wie bei biologischen Systemen).

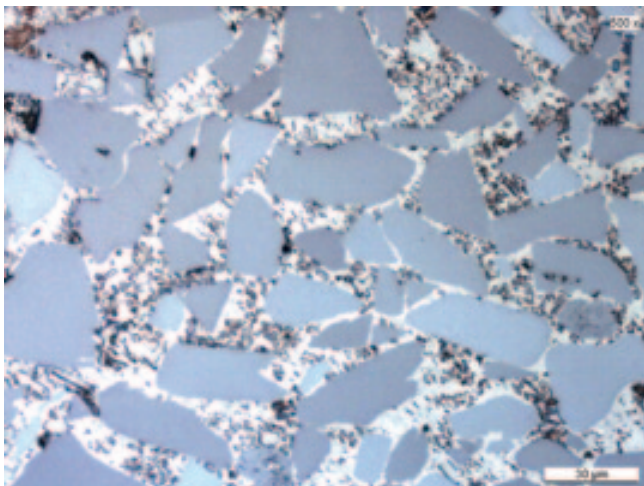
Die folgenden Abbildungen zeigen einige sehr schöne Ansichten von Mikrogefügen solcher Hartmetalle, die für eine zunehmende Zahl von Betrachtern sogar einen gewissen ästhetischen Wert besitzen.



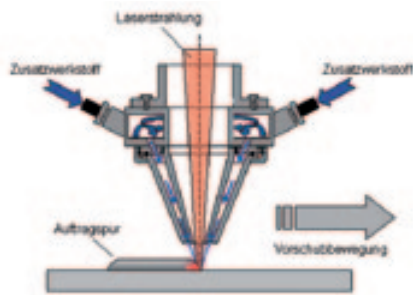
*Sphärolitische Wolframschmelzkarbide
in einer eutektischen Matrix.*



*Hartstoffpartikel (hier Wolframkarbid)
bei höherer Vergrößerung.*



*Kantige Wolframkarbide mit hohem
Volumenanteil in der Matrix.*



Bearbeitungskopf für das Laserauftragschweißen.



Kompakter Werkzeugaufbau beim Laserauftragschweißen ermöglicht den Einsatz von Industrierobotern.

Das Verfahren

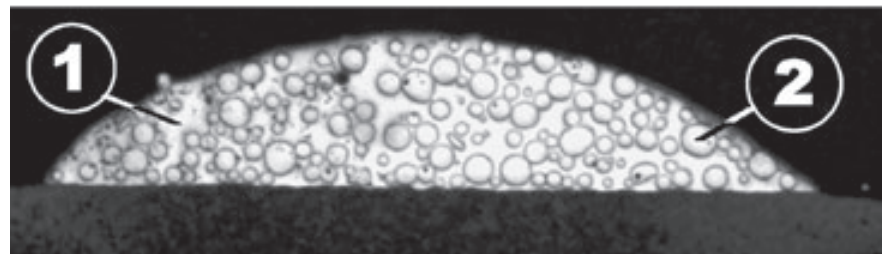
Das Laserauftragschweißen ist eine relativ junge Technologie und eröffnet in Kombination mit den richtigen Werkstoffen wissenschaftlich ebenso reizvolle wie technologisch hochinnovative neue Möglichkeiten bei der Werkzeugherstellung. Das Verfahren bietet u.a. neue Ansätze zur lokalen Reparatur und zum selektiven Verschleißschutz an hochbelasteten Zonen von Werkzeugen. Beim Laserauftragschweißen wird durch kontinuierliche Laserstrahlung der für die jeweilige Anwendung geeignete Zusatzwerkstoff pulverförmig riss- und porenfrei aufgetragen. Das Pulver schmilzt dabei auf und verbindet sich mit der Grundschicht, dem Substrat. Durch eine robotergeführte Vorschubbewegung des Bearbeitungskopfes (siehe Abb. links und oben) entsteht dabei eine unterbrechungsfreie, raupenförmige Auftragsschicht. Deren Abmessungen können über die Prozessparameter beeinflusst werden. So können die Auftragspuren mit Breiten zwischen 0,1 mm und 6 mm und – durch mehrlagiges Auftragen – mit beliebigen Höhen bis in den Zentimeterbereich (!) erzeugt werden. In der Übergangszone vermischen sich Grund- und aufgeschmolzener Pulverwerkstoff, wodurch eine feste schweiß-metallurgische Schichtanbindung entsteht. Durch mehrfache Spurerzeugung lassen sich so schichtweise beliebige Geometrien erzeugen.

Die Möglichkeiten

Zum Laserauftragschweißen eignen sich theoretisch alle verfügbaren metallischen Pulverwerkstoffe. Die Verträglichkeit (Schweißbeignung) der Werkstoffkombinationen ist jedoch – wie stets bei Beschichtungsverfahren – im Einzelfall zu prüfen. Grenzen ergeben sich beispielsweise durch Entmischungen, große Eigenschaftsunterschiede zwischen Schicht- und Substratwerkstoff, Bildung spröder Phasen, Verdampfung eines der beiden Fügepartner oder Rissbildung.

Interessant sind insbesondere mit dem Laser aufgetragene Hartmetallbeschichtungen. Hier lassen sich Schichten mit hohen Härten und besten Verschleißeigenschaften erzeugen.

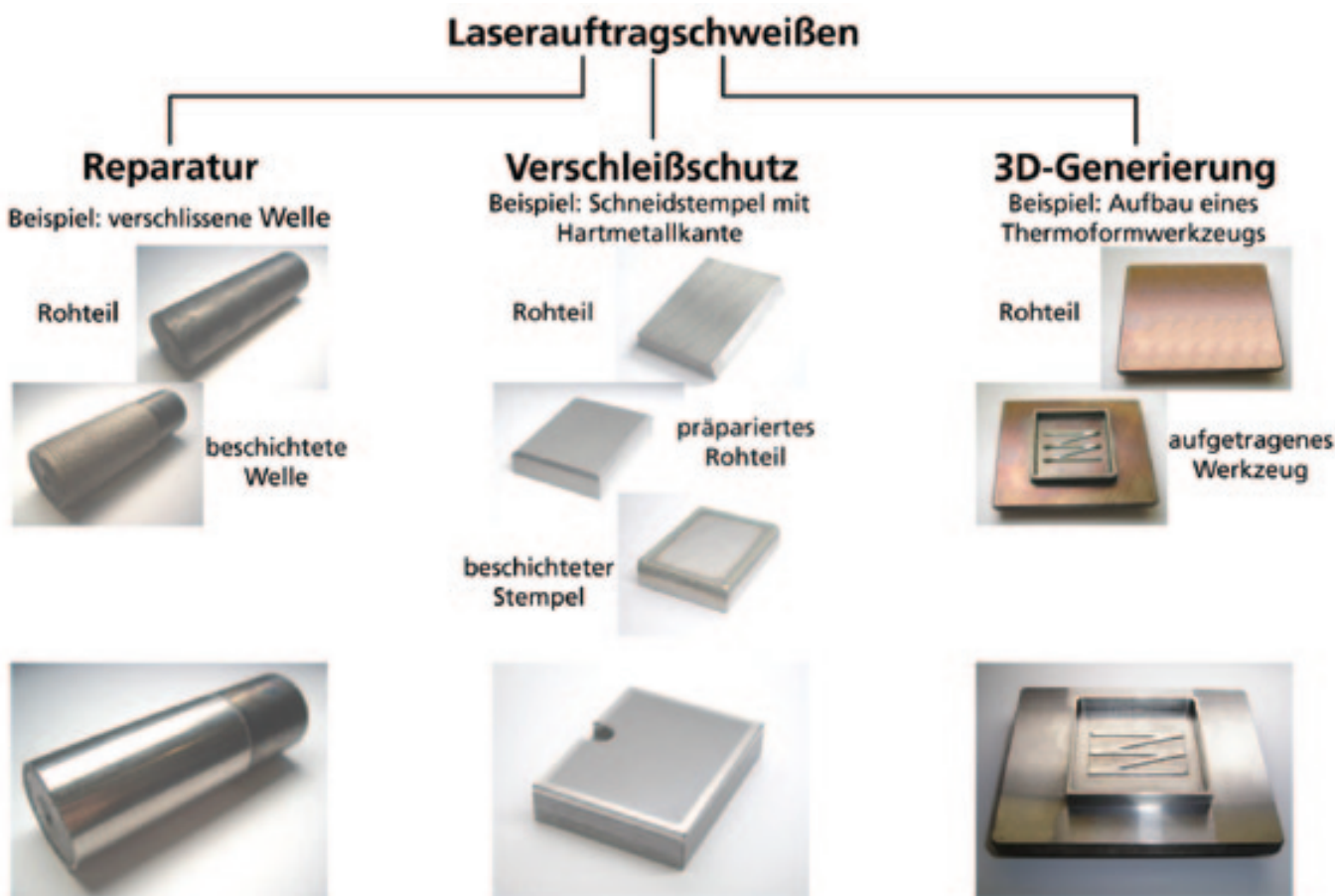
Im Rahmen der Forschungsarbeiten an der Hochschule Pforzheim konnten ganz aktuell auf diese Weise Schichten mit einer Härte bis zu 1.600 HV rissfrei hergestellt werden. Die Abb. unten zeigt beispielhaft das Schliffbild einer solchen Hartmetallschicht.



Schliffbild einer Hartmetallschicht (1:Matrix, 2:Karbid).

Die Anwendungen

Das Anwendungsspektrum für das Laserauftragschweißen gliedert sich in drei Hauptanwendungsgebiete.



Neben dem reinen Verschleißschutz wird das Laserauftragschweißen auch zur Oberflächenveredelung (z.B. Korrosionsschutz) eingesetzt.

Insbesondere die Reparatur und der Verschleißschutz von Werkzeugen sind Anwendungsgebiete, die enormes Potential bergen. Dabei kann der Verschleißschutz sowohl bei der Erstfertigung als auch im Zuge einer Reparatur durchgeführt werden. Die Einsparpotentiale, die das Laserverfahren ermöglicht, zeigt das Beispiel eines Stanzwerkzeugs: Im industriellen Einsatz bestehen kleinere Stanzwerkzeuge zu einem hohen Prozentsatz aus gesintertem Vollhartmetall bzw. Vollhartmetalleinsätzen. Das Beanspruchungsprofil eines solchen Vollhartmetalleinsatzes beim Stanzen zeigt, dass sich die hochbelasteten Werkzeugbereiche im Prinzip nur an den Schneidkanten befinden, die in Bezug auf das Volumen nur einen sehr geringen Anteil des Einsatzes ausmachen. Mit Hilfe des Laserauftragschweißens kann nun erstmals ein völlig neues, kostengünstiges Werkzeugkonzept umgesetzt werden.

Der Grundkörper des Werkzeugs wird dabei aus einem kostengünstigen Grundmaterial hergestellt, das die Festigkeit des Werkzeugs gewährleistet. Die hochbelasteten Bereiche werden dann mittels Laserauftragschweißen mit einem ent-

sprechenden, auf die Anwendung abgestimmten Hartmetall beschichtet. Dieses Werkzeugkonzept bietet nicht nur hinsichtlich der Herstellkosten Vorteile. Während ein verschlissener oder defekter Vollhartmetalleinsatz kostenintensiv ersetzt werden muss, besteht bei laserbeschichteten Werkzeugen die Möglichkeit einer Reparatur. Dabei wird die verschlissene Hartmetallschicht vom Grundmaterial entfernt und neu aufgebracht. Mit Hilfe dieser kostengünstigen Reparatur ist das Werkzeug innerhalb kurzer Zeit wieder einsatzfähig.

Bei größeren Stanzwerkzeugen sind, wie schon eingangs erwähnt, ohnehin keine ausreichend großen Sinter-Hartmetallhalbzuge verfügbar, so dass bislang dort schlicht keine Hartmetallverwendung möglich war. Mit diesem Verfahren wird nun, abgesehen von aufwendig aufgelöteten Hartmetalleinsätzen, erstmals ein partieller Einsatz von Hartmetallen gezielt an den belasteten Zonen möglich.

Der Ausblick

Ein in die Zukunft gerichteter Gedanke wäre, mittels dieses technologischen Ansatzes Werkzeuge komplett aus solchen „funktionellen“ Schichten aufzubauen, also ein 3D-Generieren von Werkzeugen durch Laserauftragschweißen zu betreiben. Solche folgerichtigen Gedanken können nach erfolgreicher Optimierung der grundsätzlichen Schichtgenerierung, wie sie in den Arbeiten der Hochschule Pforzheim verfolgt werden, aufgegriffen werden.

Im Zuge der Forschung werden stetig neue Anwendungen erkannt, da das Laserauftragschweißen ein sehr flexibles Verfahren ist und auch bisher nicht beachtete Kombinationen aus Schichtwerkstoff und Substrat hergestellt werden können. Die mit diesem Verfahren herstellbaren Schichten lassen sich sehr spezifisch an die jeweiligen Anforderungen anpassen. Durch diese neuen Möglichkeiten bei der Werkzeugherstellung können deutliche Kostenvorteile erzielt werden. Hohe Auftragsraten von bis zu 9 cm³/min machen das Verfahren zudem äußerst wirtschaftlich.

Zum heutigen Zeitpunkt existieren noch keine universell einsetzbaren Standardschichten, so dass der erfolgreiche industrielle Einsatz eine detaillierte Abstimmung der Schichten auf das Beanspruchungsprofil der jeweiligen Anwendung erfordert.

Hierzu ist ebenso fundiertes werkstoffkundliches Wissen als auch Know How über die spezifische Fertigungstechnologie erforderlich, wie es an der Hochschule Pforzheim in genau dieser Kombination vorhanden ist und in diesem Projekt höchst erfolgreich eingesetzt wird.

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Baum
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Angewandte Forschung.
Ursula Christian
ist Metallografin und wissenschaftliche Mitarbeiterin am IAF.
Dr. Norbert Jost und Dr. Roland Wahl
forschen und lehren als Professoren im Studiengang Maschinenbau der Fakultät für Technik.

Der bereits zum fünften Mal vergebene Research Excellence Award des Instituts für Angewandte Forschung geht in diesem Jahr an die Professoren Norbert Jost und Roland Wahl. Beide sind seit vielen Jahren erfolgreich am IAF tätig und konnten in dieser Zeit fortlaufend umfangreiche Drittmittelprojekte akquirieren.

Besonders hervorzuheben ist das von der Max- und Ernie-Bühler-Stiftung geförderte Projekt „Grundlagenuntersuchungen zur Kaltverformung von Metallen“ mit den Schwerpunkten Werkstoff (Projektleitung: Professor Dr. Jost) und Produktion (Projektleitung: Professor Dr. Wahl), welches sie gemeinsam vorantreiben und für das sie auch gemeinsam ausgezeichnet werden.