Einsatzmöglichkeiten des Laserauftragschweißens und des Selektiven Laserschmelzen im Werkzeugbau für Bauteile aus Kupfer im Bereich der Spritzgießtechnik

Maischner; D.; Ocylok, S.; Becker, D.; Weisheit, A. (1)

Laserschweißverfahren finden vielfältigen Einsatz im Werkzeugbau. Im Bereich von Kupferwerkstoffen werden durch Laserstrahlschweißen (Verbindungsschweißen) artgleiche und artungleiche Kupferwerkstoffe z.B. von elektrischen Kontakten oder Widerständen im I-Stoß oder durch Überlappschweißungen verbunden. Anwendungen des Laserauftragschweißens (LA) sind der Verschleißschutz von Maschinenkomponenten. Das Selektive Laserschmelzen (SLM) erlaubt auf Basis von CAD-Daten die direkte Fertigung von Bauteilen aus einem Pulverbett. Im Folgenden werden Ergebnisse und Anwendungen zum Laserauftragschweißen auf Kupferwerkstoffe im Bereich der Spritzgießtechnik gezeigt. Ein Anwendungsbeispiel zum Selektiven Laserschmelzen im Bereich der Spritzgießtechnik ist die Kombination von SLM und LA. Ein Formkern aus einer Kupferlegierung der durch SLM aufgebaut wurde, wird mittels LA gegen Verschleiß geschützt [1]. Die Arbeiten wurden unter anderem im Rahmen des ZIM-Projektes INKULAS II in Zusammenarbeit mit den Firmen Schmelzmetall Deutschland GmbH und Pallas GmbH & Co. KG.

Laserauftragschweißen auf Kupferlegierungen im Bereich der Spritzgießtechnik

Problemstellung

Bauteile für Spritzgießmaschinen werden insbesondere in der Heißkanaltechnik aus Kupferwerkstoffen gefertigt, da Kupferwerkstoffe eine hohe Wärmeleitfähigkeit besitzen (z.B. Cu-Co-Ni-Be-Legierung Hovadur® K265: 230 – 250 W/mK) und damit ein exaktes Wärmemanagement der Bauteile möglich ist. Das Angusssystem ist bei Heißkanalsystemen thermisch vom Rest des Werkzeuges getrennt und kann separat beheizt werden. Die Temperatur des Angusssystems kann aufgrund der guten Wärmeleitfähigkeit von Kupfer so eingestellt werden, dass der flüssige Kunststoff auf Verarbeitungstemperatur gehalten wird und damit einspritzfertig vorgehalten wird. Angussdüse und Angussspitze sind Funktionsbauteile des Angusssystems. Durch die Angussdüse wird der Kunststoff in die Form gespritzt, die Angussspitze verschließt das Angusssystem. Die Bauteile des Angusssystems sind im industriellen Einsatz infolge hoher Strömungsgeschwindigkeiten des flüssigen Kunststoffes und den auftretenden hohen Einspritzdrücken bis 2.500 bar einem starken abrasiven Verschleiß ausgesetzt. Dem Kunststoff sind darüber hinaus häufig Hartstoffe (z.B. Glasfasern, mineralische Füllstoffe) beigefügt, wodurch der Verschleiß weiter erhöht wird. Die Folge sind geringe Standzeiten der Bauteile. Konventionelle Lösungen zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit sind klassische Beschichtungen (Hart-Chemisch-Nickel, DLC-Beschichtung, PVD bzw. CVD-Beschichtung) mit dem Nachteil geringer Schichtdicken (3 – 20 µm) und der damit verbundenen begrenzten Standzeit. Weitere umgesetzte Lösungen sind das Einpressen von Buchsen und das Einlöten von Spitzen aus Werkzeugstahl. Nachteile sind hier Wärmeleitungsverluste infolge der nicht vermeidbaren Spaltbildung (Einpressen) sowie die Gefahr des Lösens der Lotverbindung bei thermischer Beaufschlagung der Bauteile. Bild 1 zeigt schematisch ein Heißkanalsystem für die Herstellung von Schraubkappen [1] [2] [3].

Motivation für die Anwendung des Laserrauftragschweißens und Verfahrensprinzip

Beim Laserauftragschweißen wird in die Wechselwirkungszone zwischen Laserstrahlung und Werkstückoberfläche Pulver appliziert. Das Pulver wird im Laserstrahl und über die erwärmte Oberfläche geschmolzen und bindet schmelzmetallurgisch an den Kupferwerkstoff an [5] [6]. Bis zu mehreren Millimetern können Schichten lokal in Bereichen erhöhter Belastung des Bauteils aufgetragen wer-

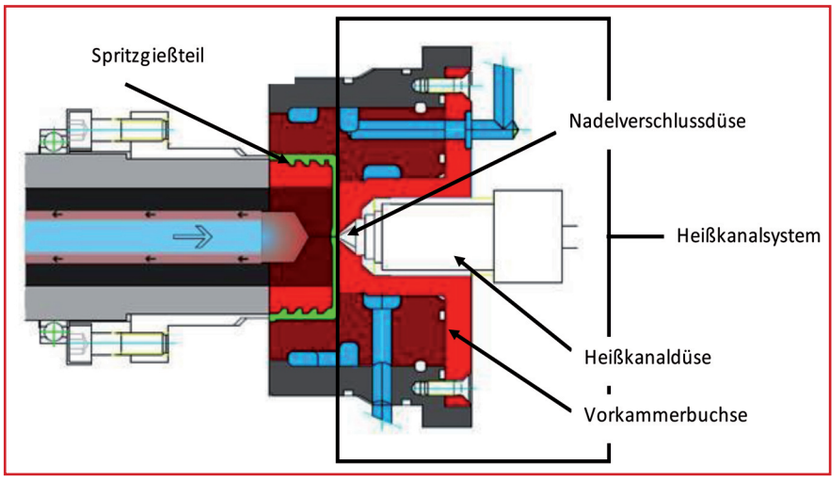

Bild 1: Heißkanalsystem für die Herstellung von Schraubkappen

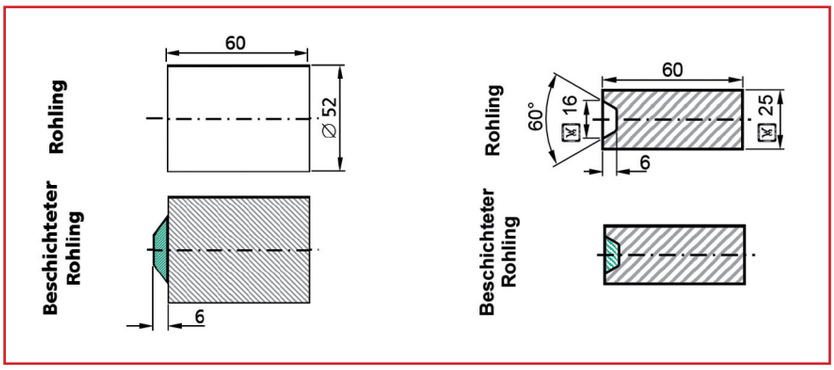

Bild 2: Schematische Darstellung der Lösungsansätze: links Lösungsansatz 1, rechts Lösungsansatz 2

den. Durch die schmelzmetallurgische Anbindung wird eine optimale Haftung der Schichten gewährleistet, außerdem werden Wärmeleitungsverluste zwischen Substrat und Schicht vermieden, wie sie z.B. beim Einpressen von Buchsen infolge einer Spaltbildung entstehen können.

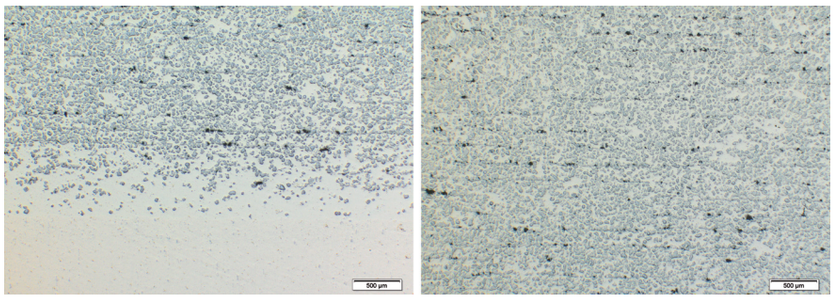

Bild 3: Schliff des gradiert aufgebauten Matrix aus K220 und TiC

Lösungsansätze

Die Beschichtung mittels Laserauftragschweißens erfolgt auf Rohlingen vor Endfertigung der Bauteile. Die Beschichtung wird auf die Stirnflächen von zylindrischen Proben (Lösungsansatz 1) oder alternativ in Kavitäten (Lösungsansatz 2) eingebracht (siehe Bild 2). Bei der Beschichtung auf Stirnflächen wird eine kleinere Bauteilpalette abgedeckt, verfahrenstechnisch ist diese Lösung aber einfacher zu realisieren. Bei Einbringung der Beschichtung in Kavitäten ist die Beschichtung wie bei den konventionellen Ansätzen (Einbringung von Buchsen) von Kupfer umgeben, wodurch das Wärmemanagement der Bauteile verbessert wird. Verfahrenstechnisch ist der Beschichtungsprozess aufwändiger (Zugänglichkeit) und es besteht eine erhöhte Rissneigung aufgrund induzierter Spannungen.

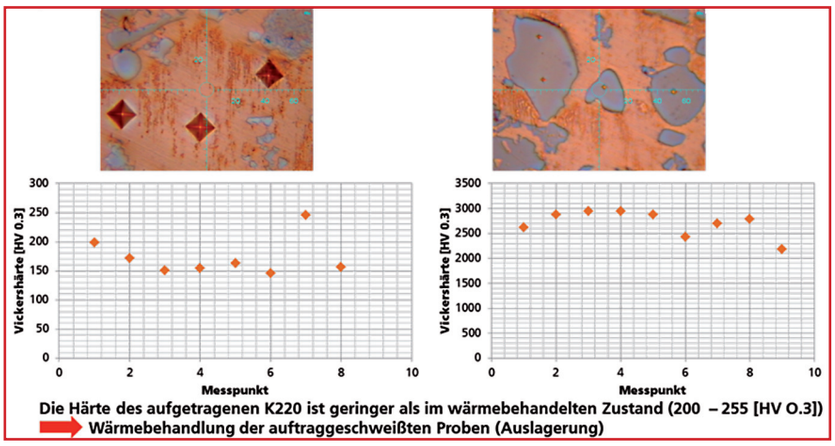

Bild 4: Härtemessung mittels Nanoindenter in der Matrix aus K220 und TiC

Verfahrensentwicklung Angussdüse

Angussdüsen sind insbesondere im Bereich der Austrittsöffnung für den Kunststoff hohem Verschleiß ausgesetzt. Zur Erhöhung der Standzeiten dieser Bauteile werden konventionell Stahlbuchsen eingesetzt. Bei der Einbringung von Kobalt-Chrom-Hartlegierungen (Stellit 21 und 6) in Kavitäten (Lösungsansatz 2) mittels Laserauftragschweißens entstehen Risse vorzugsweise im Anbindungsbereich Schicht-Substrat infolge der unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der Werkstoffe. Selbst weiche Nickelbasislegierungen (um 20 HRC) können nicht rissfrei eingebracht werden. Beim LA der Stirnflächen (Lösungsansatz 2) mit Stellit 21 werden dagegen porenarme und rissfreie Schichten erzielt. Labortests der mit Stellit 21 laserbeschichteten Angussdüsen (Bild 5) zeigen jedoch eine unzureichende Wärmeleitung der Schicht. Mögliche Folge ist ein Einfrieren der Schmelze bei Austritt aus der Düse.

Aus den genannten Gründen soll daher ein Verbundwerkstoff aus einer Kupferlegierung (K220) mit eingebrachten Hartpartikeln aus Titankarbid mittels LA aufgetragen werden. Das Kupfer sorgt für eine ausreichende Wärmeleitfähigkeit, die Hartstoffe verbessern den Verschleißwiderstand. Untersucht wurde der Einfluss der Laserleistung, der Vorschubgeschwindigkeit, des Pulvermassenstroms und des Anteils an TiC in der Cu-Ni-Cr-Si-Matrix (K220). Nur bei Applizieren eines TiC-Anteils von 7 Massenprozenten wurde ein rissfreier Auftrag des Verbundwerkstoffes erzielt. Zur Erhöhung des TiC-Anteils in der Schicht wurde der Verbundwerkstoff aus diesem Grund in den ersten vier Lagen der Schicht gradiert aufgebaut. Der Anteil des TiC in der Schicht (ab Lage fünf) konnte so um fast den Faktor 3 auf 20 Massenprozente erhöht werden. Bild 3 zeigt links das Gefüge im Übergangsbereich zwischen dem Grundwerkstoff und der Schicht. Zu erkennen ist ein Anstieg des TiC-Gehaltes. In der Schicht (ab der fünften Lage) sind die TiC-Partikel in der Cu-Ni-Cr-Si-Matrix homogen verteilt (Bild 3 rechts). Die Schichten enthalten Mikroporen (schwarz), die wahrscheinlich aus Hohlpartikeln des TiC entstanden sind.

Bild 4 zeigt die Ergebnisse der Härtemessung in der aufgetragenen Schicht, durchgeführt mit einem Nanoindenter. Die TiC-Partikel weisen eine mittlere Härte von 2500 HV0.3 auf. Die Kupfermatrix zeigt eine mittlere Härte von 150 HV0.3 und liegt damit unterhalb der Härte des K220

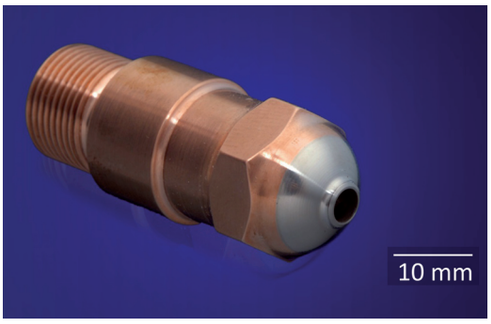

Bild 5: Laserbeschichtete Heißkanaldüse (Stellit 21): Prozessparameter: Laser: 3 KW Nd:YAG; P = 650 W – 800 W; Strahldurchnesser: d = 1 mm; v = 500 mm / min Lage 1 und 2: 1,14 g / min K220 und 0,09 g / min TiC Lage 3: 0,91 g / min K220 und 0,15 g / min TiC ab Lage 4: 0,81 g / min K220 und 0,20 g / min TiC

im wärmebehandelten Zustand (200 – 250 HV0.3). Dies liegt darin begründet, das die durch Laserauftragschweißen aufgebrachte Kupfermatrix (K220) aufgrund der hohen Abkühlraten im Prozess (typisch: 10^3 bis 10^6 K/s) eine lösungsgeglühte Gefügestruktur aufweist. Glühversuche haben jedoch gezeigt dass die Härte der Kupfermatrix durch eine Wärmebehandlung wieder auf die Härte des Ausgangszustandes (200 – 250 HV0.3) gebracht werden kann. Die endgefertigen Angussdüsen zeigen im Labortest die geforderte Wärmeleitung. Zurzeit werden Angussdüsen für Feldversuche gefertigt. In Feldversuchen wird die Verschleißfestigkeit der Bauteile getestet.

Verfahrensentwicklung Angussspitze

Konventionelle Lösung zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit und damit der Standzeiten von Angussspitzen ist das Einlöten von Spitzen aus Stahl, mit den oben genannten Nachteilen (Wärmeleitungsverluste, Lösens der Lotverbindung) bei thermischer Beaufschlagung der Bauteile. Ein neuer Ansatz ist der Auftrag von Kobalt-Chrom-Hartlegierungen (Stellit 6) mittels Laserauftragschweißen. Die Schichten werden auf die Stirnflächen von Kupferrohlingen aufgebracht. Dem Stellit 6 wurde in den ersten vier Lagen Stellit 21 zugemischt (gradierter Aufbau), um eine Rissbildung in der Anbindungszone zu vermeiden. Die Schichten sind porenarm und rissfrei und binden schmelzmetallurgisch an den Kupferwerkstoff an. Die mittlere Härte in der Schicht beträgt 530 HV[0.3] und ist damit größer als die vom Hersteller angegebene Härte von 350 – 470HV[0.3]. Ursache sind die kurzen Temperatur-Zeit-Zyklen beim Laserauftragschweißen im Vergleich zu anderen Bearbeitungsverfahren. Im Gegensatz zu der Heißkanaldüse können bei der Angussspitze die Wärmeleitungsverluste durch die Beschichtung vernachlässigt werden, da nur ein kleines Volumen aufgebaut wird. Der Nachweis der Standzeiterhöhung der laserbeschichteten Angussspitzen (Bild 6) durch industriellen Einsatz im Feldversuch ist Gegenstand laufender Untersuchungen. Da die Feldversuche über mehrere Monate laufen, werden Ergebnisse im ersten Quartal 2015 erwartet.

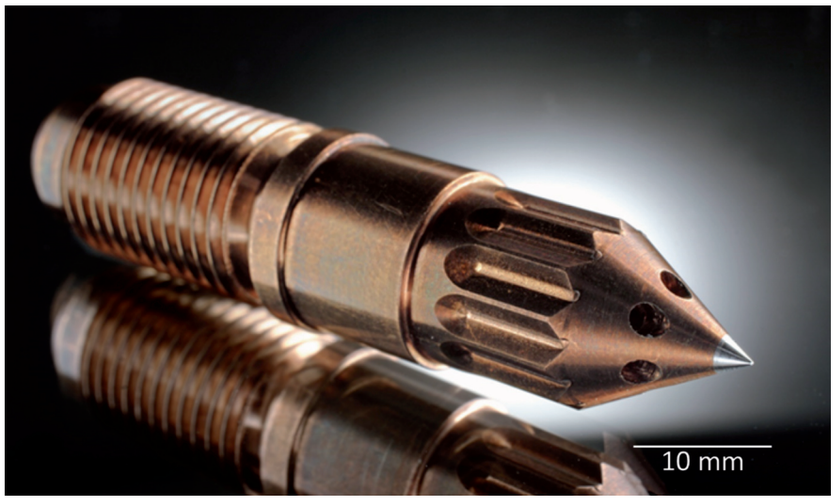

Bild 6: Laserbeschichtete endbearbeitete Angussspitze

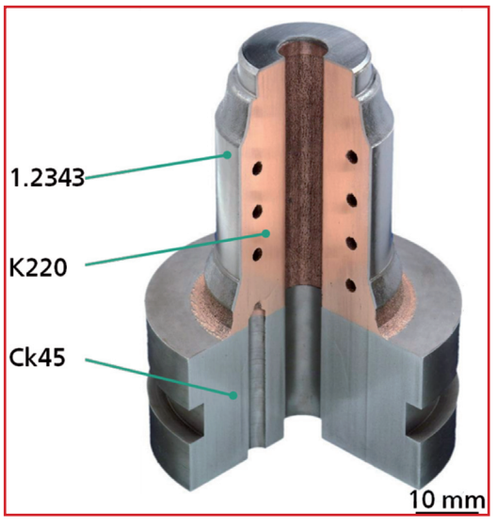

Bild 7: Formkern für ein Spritzgießwerkzeug, hergestellt mittels SLM und LA

Formkern – Kombinationsverfahren SLM und LA

Beim selektiven Laserschmelzen (SLM) werden Bauteile auf Basis von CAD Daten aus einem Pulverbett hergestellt. Das Bauteil entsteht durch schichtweisen Pulverauftrag, Schmelzen des Pulvers und Absenken der Bauplattform. Dieses Verfahren erlaubt die Herstellung von Bauteilen mit z.B. konturangepassten Kühlstrukturen, die mit keinem anderen Verfahren herstellbar sind.

Vorteile des SLM sind darüber hinaus die Flexibilität des Verfahrens, die kurzen Produktionszyklen vom CAD-Modell zum Bauteil, die Verwendbarkeit von Serienwerkzeugen sowie die Energie- und Ressourceneffizienz des Verfahrens. Bild 7 zeigt einen Formkern der mittels SLM aus einer Kupferlegierung auf einer Preform aus Ck45 aufgebaut wurde. Zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit wurde das Bauteil mittels LA mit einem Werkzeugstahl (1.2343) beschichtet. [1]

Literatur

[1] Goldbach, H.; Heißkanal-Werkzeuge für die Verarbeitung technischer Thermoplaste
[2] Menges, Michaeli, Mohren; Spritzgießwerkzeuge, Auslegung, Bau, Anwendung
[3] Maischner,D; Gut gerüstet für langen Einsatz; Form und Werkzeug 1/2013
[4] Poprawe, R.; Lasertechnik 2, Lehrstuhl für Lasertechnik der RWTH Aachen und Fraunhofer Institut für Lasertechnik, 2003
[5] Gasser, A.; Backes, G.: Systemtechnik für das pulverbasierte Laserauftragschweißen , Fraunhofer Institut für Lasertechnik, 2009
[6] Becker,D.;Selektives Laserschmelzen von Kupfer und Kupferlegierungen; Dissertation RWTH Aachen; Fakultät Maschinenbau

(1) Dipl.-Ing. Dora Maischner, Dipl.-Ing., Dipl.-Wirt.-Ing. Sörn Ocylok, Dr.-Ing. David Becker, Dr.-Ing. Andreas Weisheit, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen