

› Spritzgiesswerkzeugreparatur

LMD bringt entscheidende Vorteile

Bei Werkzeugverschleiss in einer Serienproduktion ist eine schnelle und zuverlässige Reparatur zwingend. Für Reparaturen oder Werkzeugänderungen an den Werkzeugkomponenten schafft der Einsatz von LMD (Laser Metal Deposition) gegenüber anderen Verfahren entscheidende Vorteile.

› Prof. Dr. Mohammad Rabiey, Stefan Richle, Pascal Maerchy, Manuel Suarez¹

Zuverlässig gut funktionierende Spritzgiesswerkzeuge sind Voraussetzung für eine erfolgreiche Produktion. Trotz vorbeugender Instandhaltung und Wartung kommt es aber immer wieder vor, dass sich im Laufe der Zeit einige Komponenten abnutzen, was zu fehlerhaften Teilen oder höheren Produktionskosten durch Nacharbeit führen kann. LMD (Laser Metal Deposition) ist ein neuartiges Verfahren, bei dem im Zentrum ein Laser und radial zulaufend die Pulver- sowie die Schutzgaszuführung liegen. Mit dem Laser wird ein Schmelzbad erzeugt, das sich einerseits aus Substratmaterial und andererseits aus dem eingesprühten Pulvermaterial zusammensetzt. Die Vorteile gegenüber konventionellen Herstellungsmethoden liegen vor allem in der massiven Reduktion der Abfallmengen, höherer Energieeffizienz und Qualität im Vergleich zu anderen Schweißprozessen (Bilder 1 und 2).

Bild 1 zeigt die Hybridmaschine (LMD, Fräsen & Schleifen) der HSR mit eingebautem LMD-System. LMD kann in die folgenden vier Einsatzmöglichkeiten unterteilt werden:

1. Generieren: Umsetzung von Additiv Manufacturing zur gezielten Aufbringung von Verstärkungen oder Strukturelementen (z.B. Rippen).
2. Beschichten: Das Aufbringen von verschleiss- und korrosionsbeständigen Schichten.
3. Reparieren: Die Rekonstruktion von ver-



Bild 1: Hybridmaschine mit eingebautem LMD-System.

schlissenen Bauteil- oder Werkzeugstellen mittels gezieltem Laserauftrag.

4. Fügen: Das Schweißen von mehreren Teilen oder das Verbinden/Überbrücken von Lücken.

Diese Untersuchung widmet sich der Anbindung von aufgeschweisstem Pulvermaterial und Substratwerkstoff sowie der Optimierung der Prozesszeit und Kosten. Um Messungen mit Aussagekraft zu ermöglichen, werden Zugstäbe und Härteproben hergestellt (Bild 3). Der Hauptteil der Proben besteht dabei aus Substrat, also Grundkomponentenmaterial und nur die Nut wird mittels LMD mit Pulvermaterial gefüllt. Substrat- und Pulvermaterial sind chemisch identisch.

Es wäre aber auch eine Kombination von verschiedenen Werkstoffen möglich!

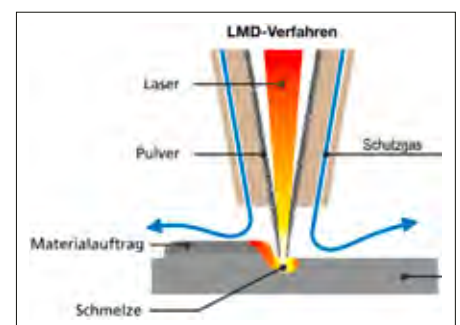


Bild 2: LMD-Verfahren schematisch dargestellt.

Zielsetzung

Ziel dieser Untersuchung ist es, das Know-how für die Spritzgiesswerkzeugreparatur mittels LMD zu generieren. Die Qualität des LMD-Auftrages besitzt eine Vielzahl von Abhängigkeiten, die drei Parameter

¹ Prof. Dr. Mohammad Rabiey, Leiter Fertigungstechnik Metall, und Team Stefan Richle, Pascal Maerchy, Manuel Suarez, alle am IWK der HSR

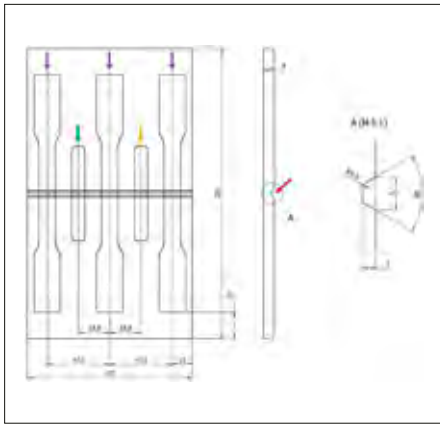


Bild 3: Mittels Zugstäben und Härteproben werden die Messungswerte untermauert.



Bild 4: Schematischer Ablauf einer künftigen Anwendung.

Laserleistung, Pulverfördertrate und Vorschub haben sich dabei als die Wichtigsten herauskristallisiert. Im Rahmen der Untersuchung sollten nun diese drei Parameter optimal aufeinander abgestimmt werden.

Das Erarbeiten der Parameter soll zum Ziel haben, dass verschlissene Spritzgiesswerkzeuge mittels LMD und anschließender spanender Bearbeitung repariert werden können [2]. Abbildung 4 soll den schematischen Ablauf von einer zukünftigen Anwendung zeigen. Zuerst wird das verschlissene Kronenelement abgefräst, um danach an derselben Stelle ein neues Kronenelement mittels LMD aufzubauen. Abschliessend wird das aufgetragene Element noch geschichtet und einem «Fining» unterzogen.

Strategie

Zuerst musste ein Verfahren zum Aufbau von Zugprüfkörpern mittels LMD entwickelt werden. Danach ging es darum, die wichtigsten Prozessparameter zu identifizieren und Variationsschemata nach Taguchi aufzustellen. Mit der Versuchsplanung nach Taguchi wurden sowohl die Versuchsanzahl als auch der Auswertungsaufwand auf ein

Minimum gebracht und trotzdem eine hohe Aussagequalität erreicht. Mit dem bisher generierten Wissen konnte nun die Parameterstudie, welche neben der reinen Parametervariation auch die Aufbauanordnung beinhaltet, gestartet werden. Sobald alle Variationen hergestellt waren, konnte die Analyse der Bauteilqualität beginnen. Dabei wurden zum einen Querschliffe für die Mikroskopie und Untersuchung des metallischen Gefüges angefertigt, zum anderen Zugversuche für die Spannungs-Dehnungs-Diagramme sowie Test zur Untersuchung der Haftung zwischen Substrat und Pulverauftrag erstellt.

Untersuchungsergebnisse

In der Tabelle 1 sind die 9 Versuchsparametersätze aufgelistet, welche die Einstellungen der Maschine für den LMD-Auftrag definieren. Alle Versuche wurden jeweils dreimal ausgeführt, um die Resultatkorrektheit zu gewährleisten.

Zugprüfung

Grundsätzlich spalten sich die Resultate der Zugprüfungen in zwei Gruppen. Zum einen in Adhäsionsbrüche zum anderen in Substratbrüche (Bild 5).

Bei allen Substratbrüchen (Parametersätze 5-9) kann deshalb nur eine halbe Aus-

sage bezüglich der Haftung zwischen Substrat und Schweissnaht getroffen werden. Die Haftung ist besser als die Zugfestigkeit des Substrates. Alle diese Parametersätze erfüllen die Anforderung an die Haftung.

Bei allen Adhäsionsbrüchen (Parametersätze 1-4) kann gesagt werden, dass die Anforderungen an die Haftung nicht erfüllt werden. Jedoch kann anhand der adhäsiven Brüche die Prozessstabilität mit Hilfe der Streuung bestimmt werden.

Die Prozessstabilität ist als gut einzustufen, da die Streuung im Mittelwert der Parametersätze 1-4 bei knapp über 9% liegt. [2]

Härteprüfung

In Bild 6 fällt auf, dass viele Proben in der Übergangzone von Substrat zu Schweissnaht und umgekehrt die höchsten Härtewerte erreichen. Dies entspricht nicht den Erwartungen. Erwartet wurde, dass durch das Martensitgefüge der Schweissnaht eine höhere Härte erreicht wird als in der WEZ (Wärmeeintragszone).

Dies ist kein Messfehler, sondern hängt mit dem lokalen Wärmeeintrag des Laserauftragschweissens zusammen.

Aus der Härte können Rückschlüsse auf die Zugfestigkeit gemacht werden. In den

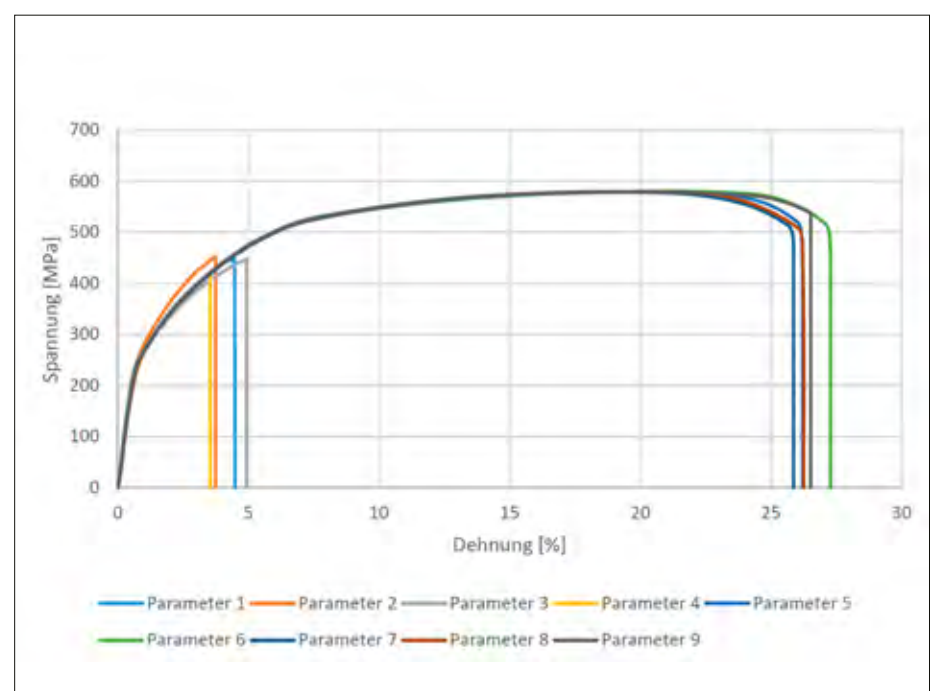


Bild 5: Spannungsdehnungsdiagramm aus Mittelwerten.

Taguchi-Plan	Parametersatz	Laserleistung [W]	Pulverförder-rate [g/min]	Vorschubgeschwindigkeit [mm/min]	Energiedichte [J/mm ²]
1	600	3.6	400	45	
2	600	7.6	500	36	
3	600	10	600	30	
4	800	3.6	500	48	
5	800	7.6	600	40	
6	800	10	400	60	
7	1000	3.6	600	50	
8	1000	7.6	400	75	
9	1000	10	500	60	

Tabelle 1: 9 Versuchsparametersätze nach Taguchi.

Parameter	Grösse, Merkmal
Laserleistung	1000W
Pulverförder-rate	3.6g/min
Vorschub	600 mm/min
Energiedichte	50 J/mm ²
Schutzgas	20 l/min
Überlappung der Schweissbahn	70%
Schweisstrategie	Zig
Fokusslage	10mm

Tabelle 2: Die optimalen Parameter für den LMD-Auftrag.

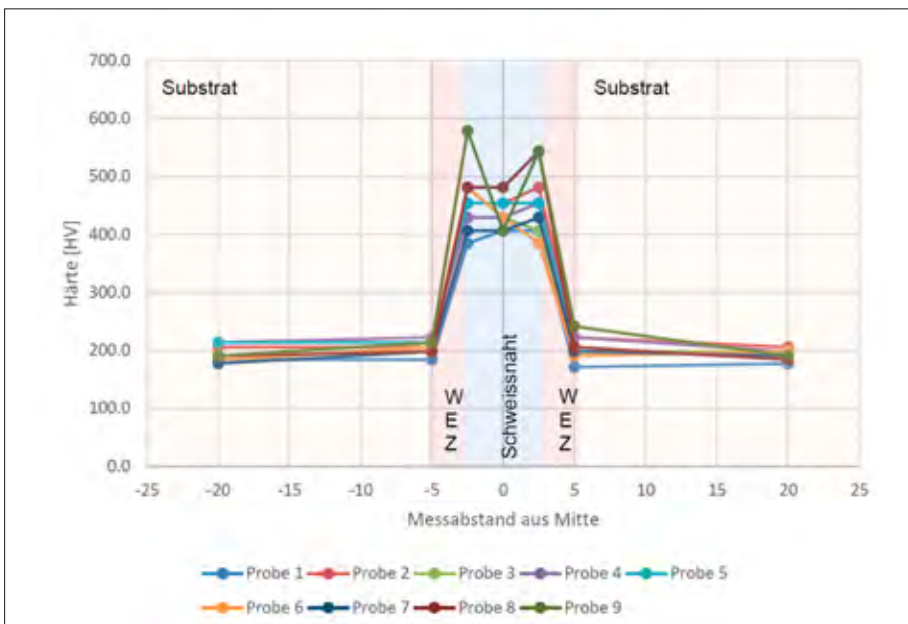


Bild 6: Härteverlauf über Schweissnaht.



Bild 7: Übergang zwischen Schweissnaht und Substrat (links); Gefügeverlauf einer Laserstrahlhärtung (rechts).

härtesten Zonen wird eine Härte um das Dreifache der Substratfestigkeit erreicht. [2]

Metallographie

In Bild 7, links, ist ein Übergang zwischen Schweissnaht und Substrat ersichtlich. Direkt an der Grenze der Schweissnaht ist eine komplett schwarze Schicht zu erkennen. Diese entsteht dadurch, dass der heisse Laserstrahl (über Austenittemperatur, 1030°C) auf die 20°C kalte Sub-

stratplatte trifft. Dadurch wird die aufgeschmolzene Schicht schlagartig abgekühlt. Zudem steigt der Kohlenstoffgehalt kurzzeitig an. Dies ist möglich, da das Pulver ebenfalls Kohlenstoff enthält. Durch anschliessende Diffusion wird der C-Gehalt wieder gesenkt. Durch den schnellen Abkühlvorgang «verklemt» der Kohlenstoff und bildet eine harte Randschicht. Beim Laserstrahlhärten ist der Effekt erwünscht, um harte Randzonen mit einem zähen Kern zu erreichen. Im Falle des Reparaturschweissens, ist dies ein nachteiliger Effekt.

Als Referenzabbildung ist ein Bild aus einer Laserstrahlhärtung dargestellt (Bild 7, rechts). Der Gefügeverlauf deckt sich mit jenem aus dem Auftragsschweissen. Die roten Pfeile in den Abbildungen dienen der Orientierung, damit die Gefügeänderungsrichtung verglichen werden kann. Da es sich bei einer Überkohlung

um «fest erstarrten» Kohlenstoff handelt, kann das Gefüge durch Normalisieren (Weichglühen) wieder entspannt werden.

Umso grösser die Entfernung zur Schweissnaht wird, desto mehr Ferrit kommt zurück ins Gefüge, bis sich im linken oberen Bildrand in etwa das Substratgefüge zeigt. [2]

Fazit

Mit den Erkenntnissen aus allen Versuchen und Auswertungen konnte mittels des Einsatzes der Taguchi Methode der optimale Parametersatz für den LMD-Auftrag auf Basis von Warmarbeitsstahl 1.2343 für die Spritzgiesswerkzeugreparatur eruiert werden. Die dadurch gefundenen optimalen Parameter sind in der Tabelle 2 abgebildet.

Literatur

- [1] L. Leuenberger: Wirtschaftliche und technische Bewertung von LMD-gefertigten Teilen, Bachelorarbeit an der HSR, Rapperswil, Betreuer Prof. Dr.-Ing. Mohammad Rabiey; 2019
- [2] P. Schiesser: Reparieren von Spritzgusswerkzeugen mit dem Laserauftragsschweissen, Bachelorarbeit an der HSR, Betreuer Prof. Dr.-Ing. Mohammad Rabiey; Rapperswil, 2019

Kontakt

IWK Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung
 Prof. Dr.-Ing. Mohammad Rabiey
 Oberseestrasse 10
 CH-8640 Rapperswil
 +41 55 222 47 69
 mohammad.rabiey@hsr.ch
 www.iwk.hsr.ch