

Was Turbinenschaufeln, künstliche Kniegelenke und Autokarosserien gemeinsam haben – additive Fertigung in der Forschung

Autoren

Eric Jäggle, Dierk Raabe

Abteilungen

Mikrostrukturphysik und Legierungsdesign, Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH, Düsseldorf

DOI

10.17617/1.71

Zusammenfassung

Die additive Fertigung bietet viele Vorteile gegenüber herkömmlichen Produktionsverfahren, ihr Potenzial wird aber mangels passender Legierungen noch nicht vollständig ausgeschöpft. Einem Forscherteam am Max-Planck-Institut für Eisenforschung gelang es nun die Prozessparameter und das Legierungsdesign optimal an das neue Produktionsverfahren anzupassen; es ebnet so den Weg für neue Anwendungsmöglichkeiten.

Langlebige Turbinenschaufeln, auf den Patienten zugeschnittene Implantate und superleichte, dennoch stabile Autokarosserien – das sind nur einige potenzielle Anwendungsmöglichkeiten von Bauteilen, die sich mittels additiver Fertigung, also dem 3D-Druck, herstellen lassen. Als additive Fertigung werden alle Verfahren bezeichnet, bei denen Material Schicht für Schicht aufgetragen wird und somit ein dreidimensionaler Gegenstand entsteht. Ein spezielles Verfahren der additiven Fertigung ist das selektive Laserstrahlschmelzen. Hierbei rastert in Sekundenschnelle ein mehrere hundert Watt starker Laserstrahl über eine dünne Schicht aus metallischem Pulver. Das Pulver schmilzt und kühlt innerhalb von Millisekunden ab. Eine Bürste trägt neues Metallpulver auf und der Laser fährt die gerade erstarrte Metallspur erneut ab.

Am Max-Planck-Institut für Eisenforschung produzieren wir mit diesem Verfahren meist kleine metallische Probenkörper – diese und das Pulver aus denen sie gefertigt werden, stehen im Fokus der Forschung von Dr. Eric Jäggle und seinem Team.



Abb.1: Eric Jäggle (links), Leiter der Gruppe „Legierungen für die additive Fertigung“, und Priyanshu Bajaj, Doktorand in der Gruppe, befüllen die Kammer des 3D-Druckers mit Metallpulver. Dieses ist so feinkörnig, dass es leicht eingeatmet werden könnte. Um dieses Risiko zu vermeiden, tragen die Wissenschaftler eine entsprechende Schutzkleidung.

© Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH

Doch welche Vorteile bietet die additive Fertigung gegenüber herkömmlichen Produktionsverfahren? Mit dem Verfahren lassen sich komplexe Geometrien wie aus einem Guss erstellen, ohne Schweißen, Fräsen oder Kleben einzelner Bauteile. Gleichzeitig ist es möglich, Formen individuell anzupassen und sogenannte *art-to-part*-Konzepte zu realisieren, also Designs ohne vorherige Anpassung der Produktionslinie.

„Herkömmliche Verfahren bestimmen oft das Aussehen eines Bauteils. Denn so kreativ manche Bauteile auch konzipiert werden: Die Möglichkeit, das betreffende Bauteil exakt nach Plan herzustellen, ist oft nicht gegeben. Mit additiver Fertigung ist im Prinzip jedes noch so komplizierte Design möglich“, erklärt Jäggle. So

könnten zum Beispiel Turbinenschaufeln für Kraftwerke und Flugzeuge, die extrem hohen Temperaturen ausgesetzt sind, mit komplex geformten und damit besonders effizienten Kühlkanälen gedruckt werden. Die ständige Abkühlung während des Betriebs schützt das Material und macht höhere Betriebstemperaturen möglich, und spart Treibstoff. Auch Teile von Autokarosserien ließen sich mit Hohlräumen drucken, die einerseits Material und somit Gewicht einsparen, aber durch die richtige Statik trotzdem eine hohe Stabilität garantieren.

Allerdings ist der neue limitierende Faktor nicht mehr das Produktionsverfahren, sondern die Legierung, also das Material, aus dem das Bauteil hergestellt werden soll. Vorhandene Legierungen wurden für herkömmliche Verfahren entwickelt. Sie eignen sich zwar teils auch für die additive Fertigung, reizen das Potenzial dieses Verfahrens aber nicht vollständig aus. Gerade da sich der 3D-Druck noch in den Kinderschuhen befindet und ständig optimiert wird, sind speziell für diesen Prozess hergestellte Legierungen von extrem hoher Bedeutung. Genau an diesem Punkt setzt unsere Arbeit an.

Das momentan verwendete Metallpulver für das selektive Laserstrahlschmelzen ist vorgefertigt und besteht aus sehr feinen Partikeln unterschiedlicher Elemente, die zu einer Legierung verschmolzen wurden. Um nun schnell und effizient neue Legierungen für die additive Fertigung entwickeln zu können, verfolgen wir zwei Ansätze parallel: erstens eine Möglichkeit zu entwickeln, mit der sich nicht nur sehr feines, sondern auch grobes Metallpulver verwenden lässt. Durch die Anpassung des Durchmessers des Laserstrahls klappte dies auf Anhieb.



Abb. 2: Links: Mischung aus verschiedenen Metallpulvern – das Ausgangsmaterial für den Laserstrahl-Schmelzprozess. Mitte: Innerhalb der 3D-Druck-Kammer: Der Laserstrahl trifft auf die Pulverschicht und bringt diese zum Schmelzen. Dabei entstehen auch Funken, die durch einen Schutzgasstrom fortgetragen werden. Rechts: Lichtmikroskopische Aufnahme einer 3D-gedruckten Probe. Die unvollständige Vermischung der Elemente Eisen, Nickel und Chrom wurde durch eine chemische Ätzung sichtbar gemacht.

© Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH

Im zweiten Ansatz haben wir die Idee verfolgt, statt vorgefertigtem Metallpulver hauptsächlich Pulver aus reinen Elementen zu verwenden, die erst während des Drucks selbst zu einer Legierung verschmelzen. Dazu verwendeten wir Metallpulver aus Eisen, Chrom und Nickel und testeten den Einfluss verschiedener Parameter vor und während des Druckprozesses. Die gedruckten Metallwürfel haben wir mittels Lichtmikroskopie, Rasterelektronenmikroskopie, Röntgenspektroskopie und chemischen Analyseverfahren untersucht. Die Analysen ergaben, dass zwar die Geschwindigkeit mit der der Laser über das Pulverbett fährt, die Stärke des Laserstrahls und dessen Durchmesser, sowie die Dicke der Pulverschicht die Mikrostrukturen beeinflussen. Aber der eigentlich ausschlaggebende Faktor ist die über Modellrechnungen ermittelte Zeitspanne, in der die einzelnen Pulver flüssig „im Schmelzbad“ vorliegen, bevor sie erstarren, um ein chemisch homogenes Bauteil zu entwickeln.

Mit diesem sogenannten *in-situ* (=während des Prozesses) Legierungsdesign lässt sich viel Zeit sparen und es bietet Flexibilität für die Forschung. Zugleich ergeben sich damit auch ganz neue Herstellungswege für Verbundwerkstoffe. Edeltähle für Hochtemperaturanwendungen, die sogenannten ODS-Stähle, müssen normalerweise über den zeit- und arbeitsaufwändigen Prozess des mechanischen Legierens hergestellt werden. Unserem Team gelang es vor kurzem, über den Ansatz des *in-situ*-Legierungsdesigns, die für die Eigenschaften unabdingbaren, nanometergroßen Oxidpartikel in den Grundwerkstoff einzubringen. Dazu wurde das sonst im Prozess verwendete Schutzgas gezielt durch ein oxidierendes Gasgemisch ausgetauscht. Die fein verteilten Oxidpartikel entstanden daraufhin ganz von selbst im Material. Das Ergebnis: ein Werkstoff, der sich ohne mechanisches Legieren herstellen lässt und der bei hohen Einsatztemperaturen bis 900°C ungefähr 25 Prozent fester ist als der Grundwerkstoff ohne verstärkende Oxidpartikel.

Die bisherigen Ergebnisse sind vielversprechend, gerade da unser Team die ausschlaggebenden Parameter feststellen und beeinflussen konnten. Gelingt es den Max-Planck-Forschern, ihre Arbeiten an Aluminium-, Nickel- und Hochentropie-Legierungen speziell für die additive Fertigung zu entwickeln, so ist der Weg offen für langlebigere Turbinenschaufeln, individuelle Implantate und leichtere Autokarosserien.

Text: Yasmin Ahmed Salem

© 2003–2019, Max-Planck-Gesellschaft