

Rapid Prototyping von Drahtseilen

Dipl.- Ing R. Verreet
Dr. Christoph Over

Wie der Name schon sagt, werden Drahtseile seit ihrer Erfindung vor 170 Jahren aus Draht hergestellt. Das soll nun anders werden - zumindest was die Herstellung von Prototypen betrifft.

Die konventionelle Herstellung von Drahtseilprototypen

Ein Seilhersteller kennt in der Regel die wichtigsten technischen Eigenschaften eines von ihm seit Jahren gefertigten Drahtseiles, z. B. eines Seiles der Machart 6 x 36 SES oder eines Seiles der Machart 18 x 7. Aber schon die Veränderung der Schlaglänge oder des geometrischen Aufbaus einer einzigen Litze dieser Seile würde alle diese Eigenschaften, zum Teil sogar dramatisch, verändern. Trotz aller Bemühungen sind die meisten Veränderungen, z. B. die des lastabhängigen Drehmomentes oder des Verdrehwinkels, die Veränderung des Verseilfaktors oder der Flexibilität des Drahtseiles, nicht mit genügend großer Genauigkeit vorausberechenbar. Die exakte Voraussage der Eigenschaften völlig neuer, bisher noch nicht hergestellter Seilkonstruktionen ist nahezu unmöglich.

Um eine neue Seilkonstruktion zu entwickeln oder eine bestehende Machart zu optimieren, fertigt der Hersteller deshalb in der Regel Varianten mit unterschiedlicher Geometrie, z. B. mit verschiedenen Litzenmacharten oder mit unterschiedlichen Schlaglängen. Diese Varianten werden dann empirisch getestet.

Diese Vorgehensweise hat verschiedene, zum Teil gravierende, Nachteile:

- Die Varianten bedingen in der Regel jeweils eine eigenständige Produktion und müssen nacheinander gefertigt werden. Obwohl von jeder Variante nur kurze Prüflängen benötigt werden, müssen maschinenbedingt große Seillängen gefertigt werden. Jeder einzelne Prüfkörper ist daher sehr teuer.
- Die Variantenfertigung bedingt einen großen logistischen Aufwand, ist sehr zeitaufwendig und stört die eigentliche Produktion der Serienseile.
- Die unterschiedlichen Varianten werden in der Regel aus unterschiedlichen Drähten und auf unterschiedlichen Maschinen gefertigt. Die Prüfergebnisse jeder Variante werden deshalb nicht nur durch die bewusst herbeigeführten Geometrieänderungen, sondern auch durch die zufälligen und nicht reproduzierbaren Streuungen der Drahteigenschaften und Maschinenparameter beeinflusst.
- Die Seile müssen in der Regel zum Zweck der Prüfung mit Endverbindungen versehen werden. Diese Endverbindungen beeinflussen die Prüfergebnisse der unterschiedlichen Varianten in unterschiedlicher und vor allem nicht reproduzierbarer Weise.

Aus diesen Gründen sollen Drahtseilprototypen (und vielleicht auch fertig konfektionierte Drahtseile für den praktischen Einsatz) in Zukunft mit Hilfe eines laserbasierten generativen Fertigungsverfahrens (Rapid Prototyping) hergestellt werden.

Die Verfahren des Rapid Prototyping

In den letzten Jahren sind zahlreiche sogenannte Rapid Prototyping (RP) Verfahren, wie z.B. das Selektive Laser Sintern, zum schichtweisen (generativen) Aufbau von Bauteilen entwickelt worden. Das gemeinsame Prinzip ist der aus drei Schritten bestehende und sich wiederholende

Prozessablauf. Zunächst wird eine verfahrbare Bauplattform um den durch die Schichtdicke vorgegebenen Betrag abgesenkt. Danach wird eine Werkstoffschicht (z.B. Pulver) aufgetragen, so dass sowohl die vorangegangenen Schichten als auch die Bauplattform vollständig bedeckt sind. Im abschließenden Schritt werden die Bauteilinformationen der aktuellen Schicht mittels Energiestrahlung in den Werkstoff übertragen. Die Prozessschritte wiederholen sich, bis das Bauteil komplett aufgebaut ist. Kommerziell existieren mehrere Systeme, die sich durch die zu verarbeitenden Werkstoffe, die Energiequelle sowie zusätzliche Prozessschritte unterscheiden.

Das am weitesten verbreitete Verfahren zur Herstellung metallischer Bauteile ist das Selektive Laser Sintern (SLS), welches kommerziell von der Firma 3D-Systems und der Firma EOS angeboten wird. Dabei wird eine pulverförmige Werkstoffkombination bestehend aus einer hoch- und einer niedrighschmelzenden Komponente verwendet. Der Prozess ist ein Flüssigphasensintern, wobei lediglich die niedrighschmelzende Komponente aufgeschmolzen wird und als Binder bzw. Matrix für die hochschmelzenden Strukturpartikel dient. Ein weiteres System zur generativen Erzeugung metallischer Bauteile im kommerziellen Bereich ist das auf dem 3D-Printing des MIT beruhende 3D-Metal-Printing der Firma ProMetal. Die genannten Verfahren bringen den Nachteil mit sich, dass speziell auf das Verfahren zugeschnittene Werkstoffe oder Werkstoffkombinationen verwendet werden. Dieser Umstand bedingt, dass die hergestellten Bauteile nicht die mechanischen Eigenschaften (z.B. Zugfestigkeit, Bruchdehnung) der Serienbauteile aufweisen und daher nur beschränkt eingesetzt werden können.

Daher wurde seit 1996 am Fraunhofer Institut für Lasertechnik in Aachen das Direkte Laserformen (DLF) entwickelt, ein neuartiges generatives Fertigungsverfahren für metallische Bauteile. Das Bauteil wird schichtweise durch lokales Verschmelzen eines Pulverwerkstoffs mit Laserstrahlung aufgebaut, womit der Verfahrensablauf mit den oben genannten Verfahren identisch ist.

Die wesentlichen Merkmale des DLF Verfahrens und Unterschiede zu kommerziellen Verfahren sind:

- Verwendung einkomponentiger metallischer Serienwerkstoffe
 - Stahl: Werkzeugstahl 1.2343, Edelstahl 1.4404, Stahl 42CrMo4
 - Titan: Titan Gd II, TiAl6V4
 - Aluminium: AlSi10Mg, AlSi25
- Vollständiges Aufschmelzen des Pulverwerkstoffs
- Erzeugung von Bauteilen mit einer Dichte von ca. 100 % direkt durch den DLF Prozess
- Mechanische Festigkeit der Bauteile im Bereich der Materialspezifikationen
- Typische Oberflächenrauheiten im Bereich von Rz ca. 30 – 50 µm.

Aufgrund der geometrischen Freiheiten bedingt durch den schichtweisen Aufbau sowie der Verwendung von Serienwerkstoffen ergeben sich unterschiedlichste Anwendungsbereiche für das DLF Verfahren:

- Schnelle Herstellung von serienidentischen Funktionsprototypen
- Einsätze mit konturangepassten Kühlkanälen für den Werkzeug- und Formenbau
- Fertigung von Einzelteilen und Kleinserien, z.B. medizinische Individualimplantate
- Fertigung von Bauteilen mit interner Hohlstruktur, z.B. für den Ultraleichtbau

Die Herstellung von Drahtseilprototypen mit dem Direkten Laserformen

Mit Hilfe des oben geschilderten Verfahrens sollen in Zukunft jeweils einzelne oder mehrere Versuchskörper gleichzeitig schichtweise aufgebaut werden.

Zunächst wird für jeden Prüfkörper schichtweise die gewünschte erste Seilendverbindung hergestellt, aus der dann nahtlos das eigentliche zu prüfende Drahtseil herauswächst. Als Abschluss wird dann jeweils die zweite Seilendverbindung aufgebaut.

Die Prüfkörper können dann bereits wenige Stunden nach ihrer Berechnung der Maschine entnommen und geprüft werden. Die Vorteile des Verfahrens sind offenkundig:

- Alle Prototypen werden gleichzeitig gefertigt.
- Die Prototypen sind bereits nach wenigen Stunden verfügbar.
- Die Produktion der Serienseile wird nicht gestört.
- Die Prototypen werden trotz der derzeit noch hohen Kosten für das DLF für nur ein Bruchteil der bisherigen Kosten hergestellt.
- Während bei der konventionellen Prototypenfertigung alle Drähte Qualitätsschwankungen ihres Vormaterials und Fertigungstoleranzen beim Drahtzug unterworfen sind, ist beim DLF das Vormaterial für alle Varianten identisch. Alle Drähte haben daher die gleichen Eigenschaften.
- Während bei der konventionellen Prototypenfertigung alle Varianten mit unterschiedlichen Maschineneinstellungen gefertigt werden, sind beim DLF alle Maschinenparameter für alle Varianten gleich.
- Es wird ein „Platonischer Urkörper“ ohne Material- oder Fertigungseinflüsse erstellt.
- Die Anbringung der Endverbindung stört nicht das Seilgefüge des Prüfkörpers. Es können sogar Übergänge mit reproduzierbaren Eigenschaften zwischen der starren Endverbindung und dem elastischen Seil erzeugt werden.
- Das „Vormateriallager“ besteht nur aus einer einzigen Substanz: Metallpulver. Jeder gewünschte Drahtdurchmesser wird daher immer „ab Lager“ verfügbar sein.

Die Grenzen des Verfahrens

Es ist zu erwarten, dass einige der Eigenschaften generativ aufgebauter Seile, wie zum Beispiel die Drehmomentfaktoren, identisch sein werden mit den Eigenschaften von konventionell hergestellten Drahtseilen.

Andere Eigenschaften, wie zum Beispiel die Elastizitätsmoduln der Seile, sollten relativ einfach in die Eigenschaften konventionell hergestellter Seile umgerechnet werden können.

Einige Seileigenschaften, wie zum Beispiel der Biege widerstand, sind jedoch stark von der Oberflächenrauigkeit der Seildrähte abhängig. Diese ist nach heutigem Stand der Technologie noch deutlich größer als bei gezogenen Seildrähten. Die gemessenen Werte dieser Seileigenschaften werden sich daher nicht direkt auf konventionell hergestellte Drahtseile übertragen lassen. Die ersten Versuche werden zeigen, ob es möglich sein wird, dennoch Korrelationen zwischen den gemessenen Werten generativ gefertigter und konventionell hergestellter Seile zu finden. Selbst wenn dies nicht der Fall sein sollte, werden aber immer noch qualitative Unterschiede zwischen verschiedenen Varianten messbar sein.

Es ist zu erwarten, dass die geschilderten Nachteile des Verfahrens sich mit weiterem Fortschreiten der Technologie verbessern werden.

Ein Ausblick in die noch fernere Zukunft

Das DLF-Verfahren erlaubt es, Drahtseile ohne Draht als Vormaterial herzustellen. Es erlaubt somit auch, Drahtseile aus Elementen herzustellen, die nicht gezwungenermaßen zylindrisch oder von gleichbleibendem Querschnittsprofil sind, wie dies der konventionelle Drahtzug vorgibt.

Dies könnte es in ferner Zukunft erlauben, gewichtsoptimierte Drahtseile herzustellen, in denen alle Elemente zum einen nicht gezwungenermaßen zylindrisch sind und zum anderen an jeder Stelle im Seil genau den Querschnitt ausweisen, den die dort vorherrschenden Spannungen gerade erfordern.