

Kurzfassung Masterarbeit

Auslegung des Binder Jettings von Zahnrädern aus 17-4PH unter Berücksichtigung der Zahnfußtragfähigkeit

Design of the binder jetting process for 17-4PH gears under consideration of the tooth root load capacity

In der Pulvermetallurgie werden aus metallischen Pulvern durch Formen und Sintern Bauteile erzeugt. Das Matrizenpressen ist das wirtschaftlich meistgenutzte Formgebungsverfahren in der Pulvermetallurgie. Vorteile sind die Möglichkeit der Fertigung komplexer Bauteilgeometrien mit einstellbaren Eigenschaften sowie eine hohe Werkstoffausnutzung und Ressourceneffizienz. Nachteil der Fertigung mittels Matrizenpressen sind die hohen Kosten der benötigten Anlagentechnik und der damit einhergehende Verlust der Flexibilität. Die Anwendung des Verfahrens ist erst bei Fertigung großer Losgrößen wirtschaftlich und bietet sich daher nur für die Serienfertigung an. Die zunehmenden Anforderungen an individualisierte Fertigung erfordern eine Flexibilisierung der Fertigung. Die additive Fertigung bietet die Möglichkeit der flexiblen Bauteilfertigung.

Das additive Fertigungsverfahren Binder Jetting (BJT) ist der pulvermetallurgischen Fertigung zuzuordnen. Das Verfahren ist als 3D-Druckverfahren metallischer Werkstoffe zu verstehen. Die Bauteile werden aus Pulverwerkstoff schichtweise mithilfe von Binderauftrag aufgebaut. Durch nachfolgende thermische Nachbehandlungsprozesse (Binderaushärtung, Entbindern und Sintern) wird der Stoffzusammenhalt geschaffen. Das Binder Jetting bietet gegenüber dem Matrizenpressen den Vorteil der wirtschaftlichen Fertigung kleiner Losgrößen. Gleichzeitig sind komplexe Bauteilgeometrien bei einer hohen Werkstoffausnutzung und Ressourceneffizienz fertigbar. Jedoch ist das Verfahren bisher noch nicht ausreichend untersucht - vor allem in Bezug auf die Zahnradfertigung. Die Prozesskette ist durch eine Vielzahl einstellbarer Parameter beeinflussbar.

Ziel dieser Arbeit ist die iterative Auslegung des Binder Jetting Verfahrens in der Zahnradfertigung über die gesamte Prozesskette. Dazu werden zunächst prozesssichere Parameter für den Druckprozess ermittelt. Anschließend werden die genannten thermischen Nachbehandlungsprozesse unter Berücksichtigung der resultierenden Bauteilqualität an die untersuchten Bauteile angepasst. Gefertigt werden zwei Zahnradvarianten unterschiedlicher relativer Dichte und gleicher Geometrie aus dem Werkstoff 17-4PH. Die relativen Dichten liegen bei 92 % und 98 %. Alle Zahnradvariationen werden hinsichtlich ihrer Zahnfußtragfähigkeit im Analogieversuch am Pulsatorprüfstand untersucht. Abschließend wird aus den erhaltenen Ergebnissen eine Auslegungsrichtlinie für die Fertigung von Zahnrädern aus 17-4PH unter Anwendung des Binder Jetting Verfahrens abgeleitet.

Aus der Prozessauslegung resultiert beim Vergleich der erstgefertigten Zahnradcharge nach bisherigen Standardprozesseinstellungen und der Zahnradcharge, welche nach final ausgelegtem Prozess gefertigt wurde, eine Steigerung der Zahnfußtragfähigkeit im dauerfesten Bereich von 52,21 %. Als wichtigste Einflussparameter werden im Druckprozess die Pulverauftragungsgeschwindigkeit, die einzubringende Bindermenge und die Auftragsstrategien von Pulver und Binder identifiziert. Die nachfolgenden thermischen Nachbehandlungsprozesse der Binderauhärtung, des Entbinderns und Sinterns werden zur Tragfähigkeitssteigerung hinsichtlich der Temperaturführung optimiert. Dabei leisten konstruktive, anwendungsspezifische Stützstrukturen, welche ebenfalls im Druckprozess generiert werden, Abhilfe zur Vermeidung der Rissausbildung. Zudem wird aus den Ergebnissen der Zahnfußtragfähigkeitsuntersuchungen, zur rechnerischen Abschätzung der porositätsabhängigen Zahnfußtragfähigkeit von 17-4PH Verzahnungen, ein Dichtexponent nach BEISS abgeleitet.