

Rapid Tooling - Schnelle Herstellung von Prototypenwerkzeugen für den Formbau

Klemp, E.

Der Einsatz von Rapid Prototyping Werkzeugen im Formbau gewinnt immer größere Bedeutung. Zur schnellen Herstellung von Prototypenwerkzeugen ist es notwendig, die Einsatz- und Nachbearbeitungsmöglichkeiten und die erreichbaren Qualitäten zu kennen. Dazu wurden im Rahmen des EU Projektes RPTOOL Untersuchungen zur Erodierbarkeit und zum Werkstoffverhalten durchgeführt.

The use of Rapid Prototyping Tools is steadily increasing. In order to use these materials in industrial applications as tools, it is vital to know about the post-processing methods and capabilities of the material. In the frame of the European project RPTOOL investigations were carried out in order to prove the application with Electric discharging method (EDM) and the metallurgical behaviour.

1 Einleitung

Neben dem Rapid Prototyping findet das Rapid Tooling immer mehr Anwendungsbereiche und Nutzer. Dies ist nicht nur auf die Zeiteinsparungen in der Produktentwicklung und den damit einhergehenden Kostenreduzierungen zurückzuführen, die Qualität der Produkte hat hier einen ebenso großen Einfluß. In diesem Dreieck zwischen Kosten, Zeit und Qualität verspricht das Rapid Tooling dem Anwender einen erheblichen Wettbewerbsvorteil. Auch am IMW hat sich in dem vergangenen Jahr einiges zu diesem Themengebiet getan. Neben den Bestrebungen der Beschaffung einer Rapid Prototyping Maschine, wurde in Zusammenarbeit mit der Universität Cardiff ein Europäisches Forschungsprojekt im Bereich CRAFT erfolgreich beantragt, dessen Ziel es ist, das Verfahren des Rapid Tooling in Hinsicht auf mögliche Anwendungen beim Bau von Werkzeugen zu verbessern, und diese Technik bei den beteiligten Unternehmen zu integrieren.

2 Projektinhalt

Industrieprojekte, die von der Europäischen Kommission im Bereich CRAFT gefördert werden, haben das primäre Ziel, für die beteiligten KMU einen wirtschaftlichen Nutzen zu erbringen. Da den KMU meist keine Mittel zur Verfügung stehen, um eigene Forschung zu betreiben, übernimmt diese Aufgabe

ein oder mehrere Forschungsdienstleister. Das Projekt RPTOOL hat die Zielsetzung, den beteiligten Unternehmen den Zugang zu Forschung zu verschaffen, damit sie einen Wettbewerbsvorteil erlangen. Daher wurde bei der Projektbeantragung mit den beteiligten Industriepartnern ein Projektplan ausgearbeitet, der die folgenden Ziele verfolgt: Zu Beginn wird eine Analyse der Anforderungen an die Herstellung von LMT- Produkten durchgeführt (LMT – Layer Manufacturing Technique). Die anschließende Analyse liefert die möglichen Parameter wie zum Beispiel Genauigkeit und Oberflächenbeschaffenheit, insbesondere der Nachbearbeitungsmöglichkeiten der im Rapid Tooling hergestellten Bauteile oder Werkzeuge. Auf Basis dieses Wissens wird dann eine Simulation des Spritzverfahrens für verschiedene Werkstoffe durchgeführt und die Erstellung eines Auswahlsystemes für die Nutzung von Rapid Tooling Produkten bildet dann zusammen mit der Evaluation der Ergebnisse den Projektabschluß. In jedem dieser Schritte wird unter Berücksichtigung der Aufgabenstellung und der firmenpezifischen Probleme, eine Lösung gefunden.

Das Projekt mit der Laufzeit von 2 Jahren befindet sich zur Zeit noch im Anfangsstadium, so daß bisher nur grundlegende Untersuchungen durchgeführt wurden, die sich mit der Verwendung von RP Produkten beschäftigten. Ziel dieser Untersuchungen war es bisher, die Eigenschaften des Materials zu bestimmen und mögliche nachfolgende Bearbeitungsmethoden zu untersuchen. Bei diesen grundlegenden Untersuchungen hat es sich herausgestellt, daß eine Nachbearbeitung der Rapid Tooling Werkzeuge mit Hilfe des funkenerosiven Abtragens und Untersuchungen der Materialeigenschaften relevante Schwerpunkte sind. Im Folgenden werden zunächst die Grundlagen der Funkenerosion dargelegt und dann die Ergebnisse und deren Anwendung vorgestellt.

3 Grundlagen des funkenerosiven Abtragens

Die Funkenerosion ist ein abbildendes Formgebungsverfahren, bei dem der Materialabtrag an elektrisch leitfähigen Werkstoffen durch elektrische Entladungen hervorgerufen wird. Diese Entladungen finden in einer nicht leitenden Flüssigkeit, dem

sogenannten Dielektrikum, statt. Bei diesem Verfahren wird an das Werkzeug und an das Werkstück, die sich in einem geringen Abstand zueinander befinden - lediglich ein Funkenpalt wird eingestellt - eine elektrische Spannung gelegt. Zwischen den beiden gegenüberliegenden Flächen baut sich ein elektrisches Feld auf und sobald eine bestimmte Aufladung erreicht ist, kommt es zu einer Entladung in Form eines Funkens. Der Materialabtrag erfolgt dann aufgrund der elektrischen Energie, die der Funke in Wärme umsetzt. Diese Wärme bewirkt, daß das Material an der Werkstoffoberfläche teils aufschmilzt, teils verdampft. Die durch den Funken ebenfalls erzeugten Dampfblasen schleudern das geschmolzene oder verdampfte Material aus dem Entladungsbereich, wo es sofort zu staubförmigen Teilchen erstarrt.

Dieses Verfahren findet hauptsächlich seine Anwendung, wenn Bohrungen, Kerben, Spalte etc. in ein Werkstück eingebracht werden müssen, oder wenn die Oberflächengüte erhöht werden muß. Eines der Hauptanwendungsbereiche ist der Formbau, denn besonders hier treten die o. g. Geometrien häufig auf und somit erscheint die Verwendung von Rapid Tooling Werkzeugen durchaus vielversprechend.

3.1 Ziel und Durchführung der Untersuchungen

Ziel der Untersuchungen an der im IMW installierten Erodiermaschine war es, festzustellen, inwieweit sich das mit dem Rapid Tooling Verfahren der Firma DTM hergestellte Material zum Erodieren eignet. Dazu war es notwendig, Proben herzustellen und diese dann als Werkzeug (Elektrode) und als Werkstück einzusetzen.

Die Erodiermaschine erlaubt es, je nach Werkstoffpaarung Maschinenparameter zu wählen und zu verändern. Diese Einstellparameter beeinflussen im wesentlichen die Phasen des Erodierprozesses, also die Aufbauphase, die Entladungsphase und die Abbauphase. Diese Phasen werden bestimmt durch die Impulsdauer, die Periodendauer, die Pausendauer, das Tastverhältnis und die Impulsfrequenz.

Um nun die gewünschten Form- und Maßgenauigkeiten, die Oberflächengüte, die Abtragraten und den Verschleiß der Elektrode optimal zu erreichen, muß bei Verwendung von bisher nicht bekannten Werkstoffpaarung eine Anpassung der Parameter, also der Generatoreinstellungen, vorgenommen werden.

Neben den Einstellparametern an der Erodiermaschine muß untersucht werden, inwieweit das Werkstückverhalten einen Einfluß auf das Erodierergebnis hat, denn obwohl die Erodierbarkeit eines Werkstoffs von dessen mechanischen Eigenschaften unabhängig ist, haben die chemische Zusammensetzung und damit zusammenhängend, bestimmte physikalische Eigenschaften einen erheblichen Einfluß auf das Erodierverhalten.

Aus Experimenten ist bekannt, daß verschiedene Elektrodenwerkstoffe bei gleichen Werkstückwerkstoffen und Einstellparametern aufgrund eines unterschiedlichen Abtrags je Entladung verschiedene Abtragraten erbringen und sich vor allem in ihrem Verschleißverhalten unterscheiden.

3.1.1 Topographie

Um eine Bewertung des Erodierprozesses vornehmen zu können, ist es notwendig, daß die bearbeiteten Oberflächen charakterisiert werden. Die Topographie funkenerosiv bearbeiteter Oberflächen ist durch die Aneinanderreihung und Überlagerung einzelner Entladekrater bestimmt. Die Oberflächen-gestalt ist daher als narbig oder muldig zu bezeichnen, denn sie weist keine gerichteten Bearbeitungsspuren auf. Die Beschreibung der Topographie stützt sich in der Regel auf die Erfassung von Rauheitskennwerten mittels Tastschnittgeräten, allerdings kann zur schnellen überschlägigen Beurteilung der Rauheit ein Oberflächennormal verwendet, mit dessen Hilfe erodierte Oberflächen hinreichend genau verglichen und klassifiziert werden können.

Ein weiterer Einfluß auf die Oberflächenqualität hat die Elektrodenplanung. Abhängig davon, ob mit einer kompletten Formelektrode oder mit einer Kombination von mehreren einfachen Elektroden erodiert werden soll, schwankt die Qualität des Ergebnisses. Desweiteren nimmt die Anzahl der zur Verfügung stehenden Elektroden (Schrupp- und Schlichtelektroden) einen Einfluß auf die Abtragraten und auf den Verschleiß.

Um bei den durchgeführten Versuchen einen Vergleich zu erhalten, werden die Ergebnisse mit einem gebräuchlicher Elektrodenwerkstoffe, nämlich Elektrolyt-Kupfer verglichen.

3.1.2 Elektrodenherstellung

Da der Hauptvorteil in der Herstellung von Prototypen und Werkzeug mit Hilfe des Rapid Tooling Verfahrens darin liegt, daß auch komplizierte Geometrien, insbesondere Freiformflächen, direkt aus dem CAD Datensatz hergestellt werden können, ist

es naheliegend, dieses Verfahren zur Elektrodenherstellung zu nutzen und zu untersuchen, ob eine Fertigung von Elektroden, oder das Herstellen von Formen oder Formeinsätzen einen Sinn macht.

4 Erodierverhalten von Rapid Steel

Bei den durchgeführten Versuchsreihen sollte die Frage beantwortet werden, ob und inwieweit sich Rapid Steel als Werkstoff für das funkenerosive Abtragen eignet. Dabei ist sowohl das Verhalten von Rapid Steel Elektroden wie auch das von Werkstücken aus Rapid Steel von Interesse. Als Ausgangsmaterial diente zunächst eine Probe, die aus dem Material Rapid Steel 1 hergestellt worden war.

Die wichtigsten Beurteilungskriterien für das Erodierverhalten sind der auftretende Elektrodenverschleiß, die Höhe der Abtragrate, die entstehende Oberflächenqualität und die erreichbare Abbildungsgenauigkeit.

Zur Bestimmung des Erodierverhaltens von Rapid Steel wurde zunächst ein lasergesintertes Werkstück mit einer Elektrode aus Kupfer erodiert (**Bild 1**).



Bild 1: Probewerkstück aus Rapid Steel

Da es sich bei Rapid Steel um eine Legierung aus ca. 40% Kupfer und 60% Stahl handelt, wurde zunächst untersucht, welchen Einfluß der Kupferanteil und dann welchen der Stahlanteil auf das Erodierverhalten besitzt.

In einer zweiten Versuchsreihe wurde aus Rapid Steel selbst eine Elektrode hergestellt (**Bild 2**) und das Abtragverhalten an einem Formbaustahl überprüft. Dabei wurden unterschiedliche Werkstoffeinstellungen für die Elektrode gewählt.



Bild 2: Elektroden (li: Rapid Steel 1, re: Kupfer)

Im dritten Versuchsblock wurde das lasergesinterte Werkstück mit einer Rapid Steel Elektrode erodiert.

4.1 Versuchsergebnisse

Die bisher durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, daß Werkstücke aus Rapid Steel 1 durch funkenerosives Abtragen bearbeitbar sind und daß dabei die grundsätzlichen Zusammenhänge des Erodieren eingehalten werden. Durch Wahl der entsprechenden Technologieparameter, abhängig von der jeweiligen Werkstoffpaarung ergaben sich die folgenden Zusammenhänge:

1. Durch Impulse gleicher Energie werden die Rauheit, der Elektrodenverschleiß und die Abtragrate vorherbestimmbar und gleichmäßig.
2. Höhere Stromstärken und längere Impulse vergrößern die Abtragsmenge und verringern die Oberflächengüte.
3. Eine hohe Abtragrate bewirkt einen hohen Elektrodenverschleiß. Eine kleine Abtragrate führt zu einem geringen Elektrodenverschleiß.
4. Form- und Maßgenauigkeit, Oberflächengüte und Abtragsmenge sowie Verschleiß der Elektrode werden wesentlich von den Einstellungen des Generators während des Abtragsvorgangs bestimmt.

Beim funkenerosiven Abtragen von Werkstücken aus Stahl mit Elektroden aus Rapid Steel 1 ergaben sich hohe Abtragraten, Oberflächenqualitäten und Abbildungsgenauigkeiten, wenn mit den voreingestellten Prozeßparametern erodiert wurde, die von einer Kupfer/Stahl Werkstoff-Kombination ausgingen. Der Elektrodenverschleiß war aber relativ hoch und konnte auch durch unterschiedliche Einstellungen des Impulsstroms und der Impulsdauer nur unwesentlich verbessert werden.

Aufgrund der ansonsten sehr guten Erodierergebnisse ist der Einsatz von Elektroden aus Rapid Steel 1 aber dennoch empfehlenswert, zumal dann, wenn der Elektrodenverschleiß bei der Arbeitspla-

nung berücksichtigt wird (Elektrodenuntermaß, Nachstellbewegungen) oder eine untergeordnete Rolle spielt (Herstellung von Durchbrüchen, Schrupparbeiten, funkenerosives Schneiden, usw.).

4.2 Versuche mit Rapid Steel 2

Nach Beendigung der ersten Versuchsreihe wurde ein neues Material auf den Markt gebracht. Im Gegensatz zu Rapid Steel 1 besteht das Material Rapid Steel 2 aus einem Chromnickel Stahl, welcher nicht mit Kupfer, sondern mit Bronze infiltriert wird. Die Verwendung von Bronze führt zu einen zu besseren mechanischen Eigenschaften bezüglich Härte und Festigkeit und ist zum anderen dünnflüssiger, wodurch eine bessere Infiltration und damit ein vollständig dichtes Formteil erwartet werden kann.

Die ersten Versuche zeigen, daß sich dieses Material sehr gut als Werkzeug beim Erodieren eignet, die Verwendung als Elektrode ist aufgrund des hohen Verschleiß (geringe Formgenauigkeit) allerdings nicht ratsam.

Bei der Bearbeitung als Werkstück mit konventionellen Kupferelektroden eignet es sich sehr gut, eine hohe Oberflächengüte von R_m $2,7 \mu\text{m}$ kann erzielt werden und es liegt ein geringer Elektrodenverschleiß vor, so daß es ausreichende Formgenauigkeit zu erwarten ist.

5 Werkstoffuntersuchungen

Neben den Untersuchungen zum Erodierverhalten, sind die mechanischen Eigenschaften wie Zugfestigkeit und Härte für den Formbau von großer Wichtigkeit.. Für die Untersuchungen der Zugfestigkeit wurden Zugprobenform mit der Bezeichnung DIN 50125 – B 6 x 30 /24/ hergestellt und geprüft. Die Ergebnisse zeigt **Bild 3**. Bei dem Rapid Steel 1 Werkstoffe wurde die 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2\%}$ bei 170 N/mm^2 ermittelt. Nach Überschreitung der Proportionalitätsgrenze $R_{p0,2\%}$ beginnt der Werkstoff zu fließen. Durch den Fließvorgang kommt es zu wachsender Kaltverfestigung. Die ermittelten Zugfestigkeit beträgt für diesen Werkstoff: $R_m = 328 \text{ N/mm}^2$.

Bei dem Rapid Steel 2 Werkstoff wurde die 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2\%}$ bei 260 N/mm^2 ermittelt. Bei weiterer Steigerung der Prüfkraft erfolgte eine geringe Längenänderung der Zugprobe, so daß bei der maximalen Prüfkraft von 23 kN der Bruch erfolgte. Die ermittelten Zugfestigkeit beträgt für diesen Werkstoff: $R_m = 290 \text{ N/mm}^2$.

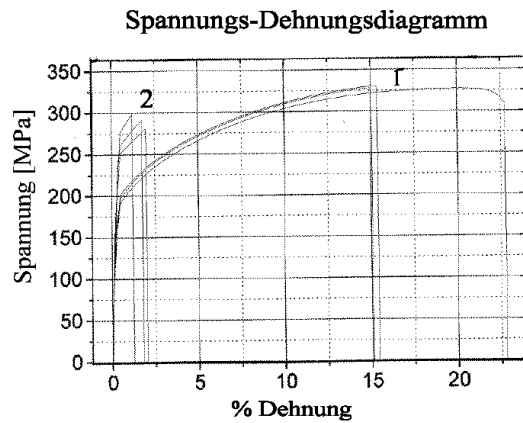


Bild 3: Spannungs-Dehnungsdiagramm

Der Spannungs-Dehnungsverlauf des Rapid Steel 1 Werkstoffs gibt das typische Verhalten eines Stahles wieder. Der ausgeprägte plastische Verformungsverlauf zwischen $R_{p0,2\%}$ und R_m entspricht dem Verhalten eines zähen Werkstoffes, damit eignet er sich ausgezeichnet für die Fertigung von Elektroden, da sich dieser Werkstoff problemlos konventionell bearbeiten läßt.

Der Spannungs-Dehnungsverlauf des Rapid Steel 2 Werkstoffes gibt das typische Verhalten eines Gußwerkstoffes wieder. Die geringe plastische Verformung zwischen $R_{p0,2\%}$ und R_m entspricht dem Verhalten eines spröden Werkstoffes, damit ist er für die Herstellung von Formteilen favorisieren, da die deutlich höheren Zugfestigkeitswerte eine bessere Verschleißfestigkeit erwarten lassen.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen der durchgeführten Versuche lassen sich generelle Aussagen über die Eignung von Rapid Steel Produkten zum funkenerosiven Abtragen und zur Eignung als Formbauwerkstoff und Werkstoff machen: Rapid Steel 1 eignet sich deutlich besser als Elektrodenwerkstoff und Rapid Steel 2.0 deutlich besser als Werkzeugwerkstoff.

7 Literatur

- /1/ Trenke, Detlef: Studienarbeit, IMW Clausthal 11/1998
- /2/ Harms, Thorsten; unveröffentlichte Diplomarbeit, IMW TU Clausthal 1998