INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN
UND PRODUKTIONSPROZESSE

Gutachten

zur Masterarbeit von Herrn Ondřej Rygl

Thema: **Klassifizierung und Technologiebewertung von Matrixträgern in einem Prototyping-Werkzeug**

Aufgabenstellung

Ziel der Masterarbeit war die Entwicklung einer Anlage zur Herstellung von duroplastischen Werkstücken im Prototypen- und Kleinstserienbau. Das dafür notwendige, formveränderliche Werkzeug sollte aus einer Matrix von Trägerstößeln bestehen. Auf der Matrix soll die Werkstückgeometrie interpoliert abgebildet werden. Für die Matrixträger existierten mehrere technologische Ansätze, z.B. Klemmstößel oder Feingewindestangen. Diese, wie auch die Kopfgestaltung (z.B. Pendel-kopf, Kopfform), sollten in ihren Eigenschaften und Nutzen bewertet werden. Dazu war zunächst eine systematische Variantenbewertung erforderlich. Die Einflusskriterien waren festzustellen und deren Gewicht festzulegen. In einer zunächst theoretischen Bewertung sollten diese bestätigt und die Vorzugsvariante konstruktiv umgesetzt werden. Nach Abnahme der Konstruktion war diese herzustellen und die Eigenschaften durch zielführende Versuche zu evaluieren.

Inhaltliche Bewertung

Herr Rygl gibt in Kapitel 1 und 2 seiner Arbeit eine kurze Einführung bzgl. formflexibler bzw. formveränderlicher Werkzeuge und stellt das Projekt sowie die Projektpartner vor. Diesbezüglich werden die zwei vorgesehenen Hauptanwendungen – das RIM (Reaction Injection Moulding) und das Thermoformen – als Prozess erläutert. Abschließend werden verschiedene funktionelle Ansätze eines formflexiblen Werkzeuges (Stifte, Werkzeugoberflächen, Stiftverstellung etc.) dargestellt und die grundsätzlichen Anforderungen des Werkzeuges für das RIM sowie Thermoformen festgelegt.

In Kapitel 3 widmet sich Herr Rygl einer sehr umfangreichen Analyse zum Stand der Technik bzgl. formflexibler Werkzeuge. Er geht dabei sowohl auf Forschungsansätze als auch industrielle Anwendungen ein. Hervorzuheben ist hierbei, dass bei der Recherche nicht nur nationale sondern vor allem internationale Forschungsarbeiten untersucht und systematisch in der Masterarbeit dargestellt wurden. Der Untersuchung von Forschungsarbeiten schließt sich ein Überblick über die aktuelle Patentsituation an. Analog wurde auch dieser Abschnitt sauber recherchiert. Das Kapitel schließt mit einer Bewertung des Standes der Technik in Bezug auf die gegebene Aufgabenstellung und reflektiert mögliche vorhandene Ansätze zur weiteren Ausarbeitung in Bezug auf das RIM und Thermoformen. Die Überführung in den Hauptteil der Arbeit durch Aufstellung von Kriterien, welche das neue Werkzeug erfüllen soll sind leider recht allgemein gehalten (Werkzeug soll preiswert sein, einfach in der Konstruktion, kleine Stiftdurchmesser besitzen und einen schnellen Verstellmechanismus).

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
INSTITUT FÜR WERKZEUGMASCHINEN
UND PRODUKTIONSPROZESSE
09107 CHEMNITZ
www.tu-chemnitz.de/mb/iwp

Das Kapitel 4 behandelt die möglichen Varianten des formflexiblen Werkzeuges. Genutzt wurde hier die Vorgehensweise des methodischen Entwickelns von Lösungsprinzipien nach VDI 2222. Warum diese Richtlinie verwendet wurde bzw. Hinweise auf alternative Methoden wurden nicht gegeben. Zunächst werden richtigerweise die allgemeinen Anforderungen an das zukünftige Werkzeug gestellt und in Wunsch sowie Forderung gegliedert. Die Anforderungen werden in einem nächsten Schritt detailliert und funktional nach Merkmalen gegliedert. Auch hier hätten einige Anforderungen besser begründet werden können (z.B. warum eine Arbeitsfläche von 200 x 200 mm, weshalb ein minimaler Hub von 50 mm). Die möglichen technischen Ansätze zur Funktionserfüllung werden anschließend gut in einem morphologischen Kasten gegenübergestellt. Direkt im Anschluss werden verschiedene Varianten gebildet. Unklar ist allerdings, wie diese Varianten entstehen – außer das z.T. Ansätze aus dem Stand der Technik umgesetzt werden. Eigene Ideen funktionaler Verknüpfungen sind nicht erkennbar. Allgemein hätte hier ggf. das Prinzip der negativen Ausscheidung genutzt werden können oder eine alternative Methode. Der Variantenformulierung schließt sich die Bewertung dieser an, indem zunächst 21 Gewichtungskriterien festgelegt und diese gegenseitig bewertet werden. Dies ist soweit gelungen, auch wenn einige Gewichtungsfaktoren im Vergleich zu den im Beginn der Arbeit festgelegten Anforderungen (z.B. Kostengünstiges Werkzeug) ggf. zu gering ausfallen. Abschließend werden die 5 gewählten Lösungsvarianten in Bezug auf die Gewichtungsfaktoren nach VDI 2225 bewertet, woraus die endgültige Lösungsvariante hervorgeht.

Diese wird von Herrn Rygl in Kapitel 5 ausgelegt und konstruktiv umgesetzt. Die Konstruktion der Matrixgrundplatte ist technisch nicht anspruchsvoll – wird aber methodisch gut umgesetzt und ergänzt durch Belastungsanalysen sowie FEM-Simulationen. Wünschenswert wäre hier etwas mehr wissenschaftliche Vorgehensweise gewesen, z.B. mit welchen CAD-System gearbeitet wurde, welches FEM-System genutzt wurde und auch eine Kostenvoranalyse der Fertigung hätte dargestellt werden können.

In Kapitel 6 wird das Prototypenwerkzeug nun evaluiert und in Versuchen getestet. Zunächst wird für die Verstellung der Stifte ein Messsystem aufgebaut und die Verstellzeiten sowie -genauigkeiten untersucht. Die eigentlichen Versuche stellen die Anwendung des Werkzeuges in den Verfahren RIM und Thermoformen dar. RIM-Versuche konnten leider nicht durchgeführt werden, da das Werkzeug hierfür noch nicht fertiggestellt war. Es wurde aber ein Versuchsplan skizziert, wie diese Versuche später einmal ablaufen könnten. Das Thermoformen dagegen konnte (leider ohne Interpolationsmatte, welche eigentlich als sehr wichtig beschrieben wurde) durchgeführt werden. Hierzu wurden 4 Materialien und 3 Grundgeometrien gewählt. Aus Vorversuchen, welche leider so gut wie nicht dokumentiert wurden geht hervor, dass das Material PETG für das Thermoformen am geeignetsten ist. Das Warum und Wieso bleibt offen – hier wäre neben der sehr allgemein gehaltenen Anlage 8 ein paar mehr Ergebnisdetails wünschenswert gewesen (z.B. Bildmaterial). Die Versuchsplanung mit den 3 Grundgeometrien beinhaltet 4 Versuche (A, B, C und D). D ist offensichtlich kein im Voraus geplanter Versuch, da er bereits zum Stand der Planung Ergebnisse aus Versuch B enthält. Dies ist wissenschaftlich nicht korrekt dargestellt. Es schließen sich Bewertungen und Messungen der Versuchsergebnisse an. Auch hier wäre eine Darstellung der (Mess-)Methoden schön gewesen. Grenzen des Verfahrens / des Werkzeuges zum gegenwärtigen Stand werden gut dargestellt.

Den Versuchen schließen sich in Kapitel 7 potentielle Anwendungsbeschreibungen an. Hier wird zunächst erläutert in welche Richtung das Werkzeug optimiert werden kann (Arbeitsflä-

che, Hublänge der Stifte, Auflösung des Werkzeuges, etc.). Das Kapitel ist sehr detailiert und zeigt vielfältige Verbesserungspotentiale. Warum allerdings die potentielle Tragfähigkeit des Gewindematrixträgers (Grundplatte) erst zu diesem Zeitpunkt erfolgt und nicht bereits in Kapitel 5 erschließt sich dem Leser nicht. Abschließend werden sehr viele Möglichkeiten gezeigt, in denen das formflexible Werkzeug genutzt werden könnte. Vom Umformen, über das Urformen bis hin zum Spannen von Werkstücken ist das Portfolio sehr groß. Auch Anwendungsbegrenzungen werden sehr gut dargestellt.

Im vorletzten Kapitel fasst Herr Rygl seine Erkenntnisse der Arbeit zusammen. Dies erfolgt in straffer aber zielorientierter Form. Die Arbeit schließt mit einem Ausblick auf zukünftige Herausforderungen, wobei folgerichtig die Realisierung des RIM-Verfahrens mit dem formflexiblen Werkzeug in den Fokus gerückt wird.

Bewertung von Aufbau und Form

Die Masterarbeit ist klar und in den meisten Fällen systematisch gegliedert, wobei Herr Rygl die einzelnen Kapitel übersichtlich aufgebaut hat. Die äußere Form ist gut. Zahlreiches Bildmaterial unterstützt wesentliche Aussagen. Hervorzuheben ist hierbei der ausgearbeitete Stand der Technik. Der Text ist sehr gut lesbar, die Orthographie und der sprachliche Stil sind dem Rahmen einer Masterarbeit sowie vor dem Hintergrund, dass Herr Rygl diese Arbeit nicht in seiner Muttersprache verfasst hat sehr gut. Gut aufbereitet wurden auch die zahlreichen Anlagen, welche wesentliche Kernaussagen detaillieren. Die Regeln für das Anfertigen wissenschaftlicher Arbeiten wurden berücksichtigt und gut umgesetzt.

Gesamtbewertung

Der Masterstudent hat sich tiefgründig mit dem Thema befasst und die Gesamtproblematik erfasst. Einige Schwächen gibt es in der wissenschaftlichen Vorgehensweise, d.h. der Begründung von getroffenen Entscheidungen, welche unmittelbaren Einfluss auf das damit verbundene Ergebnis haben.

Die Arbeit wird mit

1,7 (gut)

bewertet.

Chemnitz, 11.04.2014

i.A.

PD Dr.-Ing. Welf-Guntram Drossel

Institut für Werkzeugmaschinen
und Produktionsprozesse
Technische Universität Chemnitz
09107 Chemnitz

Dr.-Ing. Thomas Hänel