

Mach dich schlau!

Proto Labs® Internationale Ausgabe

Digitale Fertigung

FÜR DUMMIES®

Aus dem Buch:

- *Wie effizientes Prototyping für bessere Produkte sorgt*
- *Wie Teile für den 3D-Druck, die CNC-Bearbeitung und den Spritzguss konstruiert werden*
- *Wie die Formbarkeit von Teilen verbessert werden kann*

proto labs®

Brian Underdahl



Über Proto Labs

Proto Labs ist die weltweit schnellste Quelle für individuell gefertigte Prototypen und Teile für die Kleinserienproduktion. Die firmeneigene Software und die automatisierten Fertigungsverfahren ermöglichen das Herstellen von Teilen durch Spritzgießen, CNC-Bearbeitung und additive Fertigung im Schnellverfahren in einer Reihe von Kunststoff-, Metall- und Flüssigsilikonmaterialien. Innerhalb der drei Dienstleistungsbereiche des Unternehmens können Sie unter mehreren fortschrittlichen Fertigungsverfahren auswählen. Jedes Verfahren dient einem bestimmten Zweck – von Konzeptmodellen über Form-, Passform- und Funktionstests bis zur Kleinserienproduktion, die die Lücke zur Großproduktion schließt.

Produktentwickler können ihr 3D-CAD-Modell online hochladen und erhalten innerhalb weniger Stunden ein interaktives Angebot mit kostenloser Designanalyse und Preisinformationen in Echtzeit. Die Herstellbarkeitsanalyse hilft Kunden, während der Prototypenerstellung Probleme wie Einsinken oder innere Hinterschneidungen zu eliminieren, damit Modifikationen früh und oft vorgenommen werden können. Es ist dies ein iterativer Prozess, der Designern und Ingenieuren hilft, Entwicklungshürden zu vermeiden, damit sie ihre Produkte so schnell wie möglich auf den Markt bringen können.

www.protolabs.de

www.protolabs.at

www.protolabs.ch

Digitale Fertigung

FÜR
DUMMIES®

Proto Labs® Internationale Ausgabe

Brian Underdahl

WILEY

Digitale Fertigung für Dummies®, Proto Labs® Internationale Ausgabe

Veröffentlicht von
John Wiley & Sons, Inc.
111 River St.
Hoboken, NJ 07030-5774
www.wiley.com

Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc.

Kein Teil dieser Publikation darf ohne die vorherige schriftliche Genehmigung des Verlags in irgendeiner Form oder auf irgendeine Weise - sei es elektronisch, mechanisch, in Form einer Fotokopie oder Aufnahme, durch Scannen oder anderweitig - reproduziert, auf einem Datenträger gespeichert oder übertragen werden, außer dies ist gemäß Artikel 107 oder 108 des Copyright Act 1976 der Vereinigten Staaten zulässig. Genehmigungsanfragen sind an die Abteilung für Rechte und Lizenzen des Verlags zu richten: Permissions Department, John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, (201) 748-6011, fax (201) 748-6008, oder online unter <http://www.wiley.com/go/permissions>.

Marken: Wiley, die Bezeichnung „Für Dummies“, das Dummies-Mann-Logo, The Dummies Way, Dummies.com, Making Everything Easier und darauf bezogene Gestaltungen sind Marken oder eingetragene Marken von John Wiley & Sons, Inc. und/oder seiner Tochtergesellschaften in den Vereinigten Staaten oder anderen Ländern und dürfen nicht ohne schriftliche Genehmigung verwendet werden. Proto Labs ist eine eingetragene Handelsmarke von Proto Labs, Inc. und darf nicht ohne die Genehmigung von Proto Labs, Inc. verwendet werden. Alle anderen Marken sind das Eigentum ihrer jeweiligen Inhaber. John Wiley & Sons, Inc. steht mit keinem in diesem Buch genannten Produkt oder Anbieter in Beziehung.

HAFTUNGSBESCHRÄNKUNG/GEWÄHRLEISTUNGSAUSSCHLUSS: DER VERLAG, DER AUTOR UND ALLE, DIE AN DER ERSTELLUNG DIESES WERKES BETEILIGT SIND, GEBEN KEINE ZUSICHERUNGEN ODER GEWÄHRLEISTUNGEN IN BEZUG AUF DIE INHALTLICHE RICHTIGKEIT UND VOLLSTÄNDIGKEIT DIESES WERKES AB UND LEHNEN AUSDRÜCKLICH ALLE GEWÄHRLEISTUNGEN AB, INSBESONDERE GEWÄHRLEISTUNGEN HINSICHTLICH DER EIGNUNG FÜR EINEN BESTIMMTEN ZWECK. GEWÄHRLEISTUNGEN KÖNNEN NICHT DURCH VERKAUF ODER WERBEMATERIALIEN BEGRÜNDET ODER VERLÄNGERT WERDEN. ES KANN SEIN, DASS DIE HIERIN ENTHALTENEN EMPFEHLUNGEN UND STRATEGIEN SICH NICHT IN JEDER SITUATION EIGNEN. BEIM VERKAUF DIESES WERKES VERSTEHT ES SICH, DASS DER VERLAG NICHT AN DER DURCHFÜHRUNG VON RECHTLICHEN DIENSTLEISTUNGEN, VON DIENSTLEISTUNGEN IM BEREICH DES RECHNUNGSWESEN UND VON ANDEREN PROFESSIONELLEN DIENSTLEISTUNGEN BETEILIGT IST. FALLS PROFESSIONELLE HILFE BENÖTIGT WIRD, SOLLTE DIE HILFE EINES PROFESSIONELLEN DIENSTLEISTERS IN ANSPRUCH GENOMMEN WERDEN. WEDER DER VERLAG NOCH DER AUTOR SIND FÜR SICH HIERAUS ERGEBENDE SCHÄDEN HAFTBAR. DIE TATSACHE, DASS IN DIESEM WERK AUF EINE ORGANISATION ODER INTERNETSEITE IN FORM EINES ZITATS ODER EINER MÖGLICHEN QUELLE FÜR WEITERE INFORMATIONEN BEZUG GENOMMEN WIRD, BEDEUTET NICHT, DASS DER AUTOR ODER DER VERLAG DEN VON DIESER ORGANISATION ODER DEN AUF DIESER INTERNETSEITE ZUR VERFÜGUNG GESTELLTEN INFORMATIONEN BZW. DEN VON IHNEN GEGEBENEN EMPFEHLUNGEN ZUSTIMMEN. AUSSERDEM SOLLTEN DIE LESER SICH DARÜBER IM KLAREN SEIN, DASS SICH DIE IN DIESEM WERK AUFGEFÜHRTEN INTERNETSEITEN IN DEM ZEITRAUM ZWISCHEN DER ENTSTEHUNG DIESES WERKES UND DEM MOMENT DES LESENS GEÄNDERT HABEN KÖNNEN ODER GAR NICHT MEHR EXISTIEREN.

Weitere Informationen zu unseren anderen Produkten und Dienstleistungen oder zur Erstellung eines individuellen *Für-Dummies*-Buches für Ihr Unternehmen oder Ihre Organisation erhalten Sie von unserer Abteilung Business Development in den USA unter 001 877-409-4177, info@dummies.biz oder besuchen Sie www.wiley.com/go/custompub. Für Informationen über die Lizenzierung der *Für-Dummies*-Marke für Produkte und Dienstleistungen, kontaktieren Sie bitte BrandedRights&Licenses@Wiley.com.

ISBN: 9781119116660 (pbk); ISBN: 978111911168133 (ebk)

In den Vereinigten Staaten hergestellt

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Danksagung des Verlags

Die folgenden Personen haben bei der Erstellung des Buches mitgewirkt:

Project Editor: Carrie A. Johnson

Acquisitions Editor: Katie Mohr

Editorial Manager: Rev Mengle

Business Development Representative:

Kimberley Schumacker

Production Editor: Suresh Srinivasan

Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
Über dieses Buch	1
Törichte Annahmen.....	2
In diesem Buch verwendete Symbole.....	2
Kapitel 1: Die Bedeutung der digitalen Fertigung	3
Die ersten Phasen des Produktlebenszyklus.....	4
Iterative Entwicklung und Neuorientierung.....	6
Wechsel zwischen Verfahren	6
Der schnelle Weg zur Marktreife	7
Vom Prototypen zur Produktion	8
Nach der Markteinführung.....	9
Kapitel 2: Additive und subtraktive Verfahren	11
Die wesentlichen Unterschiede zwischen beiden Verfahren	11
Die Stärken und Schwächen der beiden Verfahren.....	13
Die Verfahren als Ergänzung zueinander	15
Kapitel 3: Unterschiedliche Fertigungsmaterialien	17
Thermoplaste, Duroplaste und Photopolymere.....	17
Kunststoffe und kunststoffartige Materialien.....	20
Hart- und Weichmetalle	21
Das richtige Verfahren auswählen	23
Kapitel 4: 3D-Druck	25
Einführung in den 3D-Druck.....	25
Die wesentlichen Verfahren	27
Designerwägungen.....	31
Nach dem 3D-Druck.....	33
Kapitel 5: Subtraktive Verfahren und CNC-Bearbeitung ..	35
Einführung in die CNC-Bearbeitung.....	35
Wichtige maschinelle Bearbeitungsverfahren	37
Designerwägungen für die maschinelle Bearbeitung	39
Nach der maschinellen Bearbeitung.....	41

Kapitel 6: Herstellung von Spritzgussteilen 43

Einführung in das Spritzgießen	43
Die wichtigsten Spritzgussverfahren.....	45
Einlege-Technik und Umspritzen	49
Designerwägungen beim Spritzgießen	51
Spritzgießen bei verändertem Mengenbedarf	54

**Kapitel 7: Zehn Gründe, warum Sie mit Proto Labs
bessere Produkte erhalten 55**

Fertigung im Expressverfahren	55
Fortschrittliche Technologie	56
Automatisiertes interaktives Angebotssystem.....	57
Große Materialauswahl.....	57
Zugang zu Expertenwissen.....	58
Breite Palette an Fertigungsdienstleistungen.....	58
Globale Präsenz	59
Großbetriebsvorteile.....	59
Hochwertige Teile	59
Umfassende Ressourcen.....	60

Einführung

Die digitale Fertigung umfasst mehrere verschiedene Verfahren, die im Produktlebenszyklus unterschiedlichen Zwecken dienen. Vielleicht brauchen Sie einen schnellen Prototypen, um eine Vorstellung vom allgemeinen Aussehen eines Produkts zu vermitteln und das Konzept zu validieren, oder Sie benötigen einen hochwertigen Prototypen, um die Funktionalität Ihres Designs zu testen. Nachdem Sie das Konzept validiert und Form, Passform und Funktion Ihres Teils geprüft haben, wollen Sie vielleicht mit der Kleinserienproduktion beginnen oder benötigen Bridge-Tooling, während eine Form für die Massenproduktion hergestellt wird. In beiden Fällen werden häufig Serien von bis zu 10.000 Bauteilen produziert. Unabhängig davon, in welcher Phase Sie sich befinden, die digitale Fertigung kann eingesetzt werden, um Produkte schneller und kosteneffektiver auf den Markt zu bringen und sie im Verlauf ihres Lebenszyklus zu verwalten.

Über dieses Buch

Möchten Sie herausfinden, wie Sie die Teile schnell bekommen können, die Sie für Prototypentests oder zur Kleinserienproduktion benötigen? Dann kann Ihnen dieses Buch sicherlich helfen. *Digitale Fertigung für Dummies*, Proto Labs Internationale Ausgabe, untersucht die verschiedenen bei der digitalen Fertigung eingesetzten 3D-Druck-, CNC-Bearbeitungs- und Spritzgusstechnologien und beleuchtet Möglichkeiten, wie ein jedes dieser Verfahren eingesetzt werden kann, um Produkte schneller auf den Markt zu bringen. Sie erfahren auch, was Sie bei der Bewertung von Lieferanten und Verfahren wissen müssen, um eine schnelle Produktentwicklung und Produktion sicherzustellen. Gleichzeitig werden Sie sehen, welche unterschiedlichen Zwecke diese Technologien erfüllen und wie sie in unterschiedlichen Bereichen abschneiden.

Törichte Annahmen

Technische Abteilungen und selbst Privatpersonen haben jetzt Zugang zu Design-Tools, die den vor zehn Jahren vorhandenen Hilfsmitteln um Lichtjahre voraus sind. Die Fähigkeit, ein dreidimensionales Modell mithilfe von CAD-Software zu entwickeln, kann Ihnen dabei helfen, sich das Teil besser vorzustellen und besser einzuschätzen, welche Elemente in das Design einfließen sollten. Ich nehme an, dass Sie Zugang zu solchen Design-Tools haben und über ein vorhandenes Design verfügen, das Sie produzieren wollen, jedoch nicht die Möglichkeit haben, die Fertigung selbst auszuführen.

In diesem Buch verwendete Symbole

In diesem Buch werden die folgenden Symbole verwendet, um Ihre Aufmerksamkeit auf Informationen zu lenken, die für Sie hilfreich sein könnten.



Die durch dieses Symbol gekennzeichneten Informationen sind wichtig und werden deshalb wiederholt, um sie hervorzuheben. So können Sie besonders wertvolle Informationen schnell finden, wenn Sie das Buch später wieder zu Hand nehmen.



Dieses Symbol weist auf besonders nützliche Informationen hin.



Dieses Symbol kennzeichnet Stellen, an denen technische Angelegenheiten wie Fachjargon und dergleichen verwendet werden. Diese Aspekte können leider nicht vermieden werden, denn sie sollen nützlich sein.



Mit diesem Symbol gekennzeichnete Abschnitte lenken Ihre Aufmerksamkeit auf häufig vorkommende Stolperfallen, auf die Sie stoßen könnten.

Kapitel 1

Die Bedeutung der digitalen Fertigung

.....

In diesem Kapitel

- ▶ Der Beginn des Produktlebenszyklus
 - ▶ Der Entwicklungsprozess
 - ▶ Auswahl des richtigen Verfahrens
 - ▶ Der schnelle Weg zur Marktreife
 - ▶ Vom Prototypen zur Produktion
 - ▶ Der weitere Verlauf des Produktlebenszyklus
-

Digitale Fertigung ist eine umfassende Bezeichnung für technologiebasierte Herstellungsverfahren, die mithilfe hochentwickelter Computertechnik herkömmliche und moderne Herstellungsmethoden in effizientere Prozesse umwandeln. Das Ergebnis der digitalen Fertigung ist eine höhere Produktivität, schnellere Zykluszeiten, weniger Abfälle und wesentliche Kosteneinsparungen. Dieses Kapitel bringt eine Einführung in die digitale Fertigung, zeigt Ihnen die verschiedenen Phasen derselben und vermittelt Ihnen die Kenntnisse, die Sie benötigen, um mit der Fertigung zu beginnen. Außerdem werden Sie sehen, warum Ihr Projekt möglicherweise mehr als ein Verfahren auf seinem Weg vom Prototypen zum Markt erfordert.

Die ersten Phasen des Produktlebenszyklus

Die Aussicht, ein neues Produkt zu entwickeln und auf den Markt zu bringen, kann sehr aufregend sein. Obwohl man dabei mehr als einen Weg verfolgen kann, sind gewöhnlich mehrere Phasen erforderlich, besonders wenn digitale Fertigungsressourcen verfügbar sind.

Als Erstes müssen Sie natürlich eine Idee für ein Produkt haben, das Sie auf dem Markt einführen wollen. An dieser Stelle spielt es keine Rolle, ob Sie ein selbständiger Erfinder sind oder für ein großes Unternehmen arbeiten. Wichtig ist, dass Sie sich ein physisches Produkt bildlich vorstellen können, das die Zeit und die Anstrengungen verdient, um es auf den Markt zu bringen. Mit Ihrer Produktidee bewaffnet, ist es an der Zeit, zur nächsten Phase überzugehen.

Konzeptmodelle

Die Produktentwicklung beginnt gewöhnlich mit Zeichnungen oder Computermodellen, die das Produkt darstellen. Computermodelle sind meist schnell zu erstellen und können für bestimmte Arten von Analysen verwendet werden. Nachdem die grundlegende Idee erfasst worden ist, ist es an der Zeit, ein physisches Modell zu erstellen, das das Konzept des Produkts demonstriert. Dieses Modell ist oft nicht funktional, doch es vermittelt einen allgemeinen Eindruck davon, wie das Endprodukt wahrscheinlich einmal aussehen wird.



Konzeptmodelle ermöglichen es Ihnen, Feedback aus Ihrem Unternehmen zu bewerten und eine vorläufige Marktanalyse durchzuführen, um einzuschätzen, ob das Produkt bei Verbrauchern Anklang findet. Konzeptmodelle eignen sich gut, weil es für die meisten Menschen weitaus einfacher ist, einen tatsächlichen physischen Gegenstand zu verstehen als eine abstrakte Idee. Wenn das Feedback aus dem Unternehmen und die Marktanalyse positive Ergebnisse erbringen, werden Sie wahrscheinlich zum nächsten Schritt im Produktionsprozess übergehen.

Form, Passform und Funktion

Obwohl ein Konzeptmodell einen allgemeinen Eindruck davon vermitteln kann, wie Ihr fertiges Produkt einmal aussehen wird, ist es wahrscheinlich noch kein Artikel, den Kunden tatsächlich kaufen

würden. Um diesem Ziel näherzukommen, müssen Sie weitere Mühe investieren, um etwas herzustellen, das die Form, Passform und Funktion eines Endprodukts hat.

Sie müssen also zuerst ein computergestütztes 3D-Modell (CAD-Modell) des Produkts und seiner Komponenten erstellen. Der Hersteller verwendet dann dieses digitale Modell, um die Teile zu produzieren, aus denen sich Ihr Produkt zusammensetzt.



Sie sollten einen Hersteller auswählen, der in der Lage ist, eine technische Analyse Ihres Computermodells durchzuführen, um zu bestimmen, ob die Teile auch wirklich dem Design entsprechend hergestellt werden können, und der Ihnen die besten Herstellungsoptionen für Ihre Anforderungen empfehlen kann. Zum Beispiel: Soll das Teil Schicht um Schicht aufgebaut werden oder wäre es günstiger, mit einem festen Materialblock zu beginnen und das überflüssige Material zu entfernen? Beim Bestimmen des richtigen Herstellungsverfahrens müssen die Teilegeometrie, die Menge, das zu verwendende Material, die Kosten, die Dringlichkeit und verschiedene andere wichtige Faktoren berücksichtigt werden. Möglicherweise sind ein paar Wiederholungen nötig, bevor Sie mit jedem Teil Ihres fertigen Produkts zufrieden sind, doch das ist genau der Sinn dieser Phase des Produktlebenszyklus. Sie möchten sicher nicht mit der Produktion eines Produkts beginnen und erst dann einen schwerwiegenden Designfehler erkennen.

Kleinserienproduktion

Nachdem Sie Ihre Tests abgeschlossen haben, sind Sie möglicherweise bereit, mit der Kleinserienproduktion zu beginnen. Selbst Produkte, die vielleicht einmal in größeren Mengen produziert werden, beginnen zunächst oft mit einer Kleinserienproduktion, um das Produkt schneller auf den Markt zu bringen.



Unternehmen mit Erfahrung auf dem Gebiet der digitalen Fertigung können für Sie die richtige Wahl für die Kleinserienproduktion sein, da sie die kurzen Durchlaufzeiten bieten, die Sie brauchen, um Ihren Konkurrenten auf dem Markt voraus zu sein. Je nach den Fähigkeiten des jeweiligen Herstellers kann eine digitale Fertigungsfirma durchaus in der Lage sein, Ihren gesamten Mengenbedarf zu decken, besonders für Nischenmarktprodukte.

Iterative Entwicklung und Neuorientierung

Sehr wenige Produkte sind in ihrer ersten Iteration perfekt. Es ist wahrscheinlicher, dass Sie mehrere Designs erarbeiten und sich mit Mängeln und anderen Aspekten mit Verbesserungsbedarf befassen müssen.

Wenn man mit relativ kleinen Produktmengen beginnt, ist es offensichtlich viel einfacher, sich auf diesen iterativen Entwicklungsprozess einzulassen.



Die digitale Fertigung im Expressverfahren ist kosteneffektiver und flexibler als die herkömmliche Großproduktion. Einer ihrer Vorteile ist, dass sie mehrere Iterationen schnell zulässt. Wann ist schon etwas gleich beim ersten Versuch perfekt?

Ein weiteres häufiges Element im Produktentwicklungsprozess ist die Erkenntnis, dass ein Produkt auf unerwartete Weise verwendet werden kann. Diese neuen Verwendungsmöglichkeiten können zu einer Neuorientierung und einer veränderten Sichtweise bezüglich Herstellungs- und Vermarktungsmethoden des Produkts bieten. Es kann zum Beispiel vorkommen, dass Sie eine unerwartet hohe Nachfrage nach Ihrem Produkt in einem Markt mit anderen Anforderungen finden als anfangs erwartet, was eine Veränderung des Designs und der ausgewählten Materialien erforderlich macht.

Wechsel zwischen Verfahren

Die digitale Fertigung ist kein einzelnes Verfahren, bei dem nur eine Art von Material verwendet wird. Stattdessen können in den unterschiedlichen Entwicklungsphasen mehrere verschiedene Verfahren und Materialien eingesetzt werden. Vielleicht lassen Sie anfangs Teile herstellen, die einen Eindruck vom allgemeinen Aussehen und von der Haptik des Produkts vermitteln, und verwenden dabei ein Verfahren und Materialien, die für das Endprodukt nicht geeignet wären. Da diese frühen Teile jedoch kostengünstig und schnell zu produzieren sind, ist es einfach für Sie, mehrere Iterationen zu durchlaufen, bis Sie mit der Form, der Passform und dem Aussehen des Produkts zufrieden sind.

In den folgenden Kapiteln dieses Buches wird ausführlicher auf die bei der digitalen Fertigung verwendeten Verfahren und Materialien eingegangen. Im Allgemeinen eignen sich jedoch einige Teile für

ein additives Verfahren, bei dem das Teil aus Materialschichten aufgebaut wird, und andere Teil eignen sich am besten für ein subtraktives Verfahren, das mit einem festen Materialblock beginnt, der maschinell bearbeitet wird, um die endgültige Form zu erzielen. Wieder andere Teile benötigen vielleicht immer nur ein Verfahren wie Spritzgießen.

Bei den Materialien kann es sich je nach den Produkthanforderungen um Kunststoffe mit geringer Festigkeit oder hochfeste Metalle handeln.



Ihr digitaler Fertigungspartner kann mit Ihnen besprechen, was die besten Verfahren und Materialien sind, die in jeder Phase der Produktentwicklung und Produktion verwendet werden sollten. Abbildung 1-1 zeigt Merkmale der digitalen Fertigung.

ADDITIVE FERTIGUNG							
Merkmal	BJET	SL	FDM	PJET	SLS	DLP	DMLS
Menge	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT
Komplexität	GUT	GUT	GUT	GUT	GUT	GUT	GUT
Oberflächengüte	SCHLECHT	ANGEMESSEN	SCHLECHT	ANGEMESSEN	SCHLECHT	ANGEMESSEN	SCHLECHT
Materialauswahl	SCHLECHT	ANGEMESSEN	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT	ANGEMESSEN
Materialstabilität	ANGEMESSEN	SCHLECHT	GUT	SCHLECHT	ANGEMESSEN	SCHLECHT	GUT
Farbe	GUT	SCHLECHT	ANGEMESSEN	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT
Toleranz	SCHLECHT	GUT	SCHLECHT	SCHLECHT	ANGEMESSEN	ANGEMESSEN	ANGEMESSEN
Geschwindigkeit	GUT	GUT	ANGEMESSEN	GUT	GUT	GUT	ANGEMESSEN
Preis (Kleinserieproduktion)	GUT	GUT	GUT	GUT	GUT	GUT	GUT
Preis (Massenproduktion)	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT

MASCHINELLE BEARBEITUNG						
Merkmal	CNC	IM	LSR	MIM	DRUCKGUSS	THIXO
Menge	ANGEMESSEN	GUT	GUT	GUT	GUT	GUT
Komplexität	ANGEMESSEN	GUT	GUT	GUT	GUT	GUT
Oberflächengüte	GUT	GUT	GUT	GUT	GUT	GUT
Materialauswahl	GUT	GUT	GUT	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT
Materialstabilität	GUT	GUT	GUT	GUT	GUT	GUT
Farbe	SCHLECHT	GUT	GUT	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT
Toleranz	GUT	GUT	ANGEMESSEN	ANGEMESSEN	ANGEMESSEN	GUT
Geschwindigkeit	GUT	ANGEMESSEN	ANGEMESSEN	ANGEMESSEN	ANGEMESSEN	ANGEMESSEN
Preis (Kleinserieproduktion)	ANGEMESSEN	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT	SCHLECHT
Preis (Massenproduktion)	GUT	GUT	GUT	GUT	ANGEMESSEN	ANGEMESSEN

Abbildung 1-1: Merkmale der digitalen Fertigung.

Der schnelle Weg zur Marktreife

Einer der wesentlichen Vorteile der digitalen Fertigung ist die Geschwindigkeit, mit der ein neues Produkt auf den Markt gebracht werden kann. Bei der traditionellen Produktion kann es Wochen oder Monate dauern, bevor eine Werkstatt oder ein anderer Hersteller selbst einfache Teile für Ihr Produkt fertigstellen kann. Auf dem wettbewerbsintensiven Markt von heute kann das heißen, dass Ihr Produkt nicht schnell genug auf den Markt kommt. Das Ergebnis ist ein reduzierter Marktanteil oder eine gänzlich verpasste Gelegenheit.

Im Gegensatz zum traditionellen Fertigungsverfahren garantiert die digitale Fertigung sehr schnelle Durchlaufzeiten. Wenn es zum Beispiel sonst mehrere Wochen dauern würde, um einige maschinell bearbeitete Teil fertigzustellen, können Sie diese Zeit mit einem digitalen Fertigungspartner möglicherweise auf einen Tag reduzieren. In vielen Fällen ist das erste Produkt, das den Markt erreicht, dasjenige, das erfolgreich ist, und das Produkt, das zu spät auf dem Markt erscheint, hat nie eine Chance.

Vom Prototypen zur Produktion

Irgendwann ist Ihr Produkt wahrscheinlich für den Schritt vom Prototypen zur Produktion bereit. Je nach Ihren Anforderungen kann dies einfach die Bestellung der von Ihnen benötigten zusätzlichen Teile von Ihrem digitalen Fertigungspartner oder den Wechsel zu einem traditionelleren Herstellungsverfahren umfassen. Dieser Schritt macht es auch erforderlich, eine Entscheidung über die geeignete Herstellungsmethode zu treffen – sei es Spritzguss, maschinelle Bearbeitung, 3D-Druck oder eine andere Herstellungsart.

Die prognostizierte Produktnachfrage spielt an dieser Stelle eine bedeutende Rolle bei der Entscheidungsfindung. Ein Produkt, das sich millionenfach verkauft, benötigt mit großer Wahrscheinlichkeit ein anderes Verfahren als ein Produkt, dessen Produktionsmenge auf ein paar Hundert Stück beschränkt bleibt.



Selbst wenn Ihre Analyse nahelegt, dass Ihr Produkt einen enormen Markt haben wird, kann die digitale Fertigung eine wichtige Rolle dabei spielen, schneller mit der Pilotproduktion zu beginnen. In diesem Fall kann ein digitaler Hersteller, der Expressverfahren anbietet, in wenigen Wochen Brückenwerkzeuge zur Verfügung stellen,

während Sie warten, bis Ihre Werkzeuge für die Massenproduktion fertig sind. Dieser Prozess dauert gewöhnlich mehrere Monate.

Nach der Markteinführung

Produkte bleiben während ihres gesamten Lebenszyklus oft in einem konstanten Zustand der Entwicklung. Wenngleich Veränderungen mit traditionellen Herstellungsverfahren schwierig und kostspielig sein können, ist es viel einfacher, Kleinserienprodukte zu aktualisieren, die mittels schneller digitaler Fertigungsverfahren hergestellt wurden.

Betrachten Sie zum Beispiel ein spritzgegossenes Kunststoffteil. In der traditionellen Fertigung würde man dieses Teil mit einer sehr teuren Stahlform herstellen. Ein auf Prototypen und Kleinserien spezialisiertes digitales Fertigungsunternehmen könnte dasselbe Teil mit einem Aluminiumwerkzeug herstellen, das den Bruchteil des Preises einer Stahlform kostet. Obwohl ein Aluminiumwerkzeug nicht haltbar genug sein mag, um Millionen identischer Teile zu produzieren, sind die Kosteneinsparungen für Produktionsserien von Tausenden oder Zehntausenden Teilen immens.

Für Produkte, die während der Produktlebensdauer in Kleinserie produziert werden, sollten Sie digitale Fertigungsverfahren über mehrere Phasen des Produktlebenszyklus in Betracht ziehen. Ich werde in diesem Abschnitt noch näher darauf eingehen.

Wachstum und Reife

Produktwachstumsschübe können unberechenbar sein. Wenn Sie die Produktion zu optimistisch hochfahren, kann es passieren, dass Sie letztendlich zu hohe Bestände haben, deren Lagerung kostspielig ist, während Sie darauf warten, dass das Wachstum wieder einsetzt. Wenn Sie während der Wachstumsphase eine Marktnachfrage erfüllen, die nur eine Kleinserie erfordert, können Sie die Kosten besser kontrollieren. Die digitale Kleinserienfertigung ermöglicht es Ihnen, genau die Anzahl der Produkte zu bestimmen, die Sie brauchen, während Sie Ihren Markt ausbauen.

Wenn der Markt für Ihr Produkt seinen Höhepunkt erreicht hat, kann es verlockend sein, diese Aussicht so lange wie möglich zu genießen. Die erneute Untersuchung des Marktzustands, der Konkurrenz, der Kundeninteressen und natürlich der Nachfrage ist wichtig, um zu bestimmen, wann mit dem Herunterfahren der Produktion begonnen werden sollte.

Zum Lebenszyklusmanagement eines Produkts gehört auch, zu bestimmen, wann mit der Entwicklung seines Nachfolgers begonnen werden sollte. Wenn ein Produkt während seiner Lebensdauer wirklich in einem ständigen Entwicklungszustand bleibt, dann hat die nächste Version bereits ein Fundament, auf dem man aufbauen kann. Der Beginn des Lebenszyklus einer neuen Version ist nicht an eine bestimmte Phase der vorhandenen Produktversion gebunden, doch wenn aktuelle Marktfaktoren während des Wachstums und der Reife berücksichtigt werden, ist es realistisch, dass die Produktionswege der beiden Produkte sich überschneiden, während sich das eine im Rückgang und das andere im Wachstum befindet.

Rückgang

Der Abstieg eines Produkts von seinem Höhepunkt kann genauso schwierig sein wie sein Aufstieg. Die anfängliche Begeisterung bei der Einführung des Produkts lässt gewöhnlich nach, wenn die Rückgangsphase eines Produkts beginnt und wenn es darum geht, schließlich die Phase der Produktveralterung auf rationale Weise zu erreichen. Vielleicht wurde Kleinserien-Spritzguss sehr zeitig in der Entwicklungs- und Wachstumsphase eingesetzt. Vielleicht wurde auch von der Prototypenerstellung direkt zur Großserienfertigung mit Stahlwerkzeugen übergegangen. Unabhängig davon wird die Just-in-Time-Produktion (JIT) immer häufiger in Produktionspläne einbezogen.

Unternehmen, die die Produktion herunterfahren, können Werkzeuge für Kleinserien nachbilden oder adaptieren lassen, damit Kunden JIT-Bestellungen aufgeben können. Die JIT-Produktion beseitigt die Notwendigkeit, ungenutzte Teile zu lagern oder möglicherweise abzuschreiben, da sie nach Bedarf in kleinen Mengen bestellt werden können. Die Risikominderung während der Produktdegeneration ist ein wesentlicher Bestandteil einer erfolgreichen Produktlebenszyklusplanung, da sie einen direkten Einfluss auf die Gewinn- und Verlustrechnung haben kann.



Für jedes Produkt in jeder dieser Phasen ist es unerlässlich, eine effektive Route auszuarbeiten und dabei die richtigen Herstellungsverfahren einzusetzen.

Kapitel 2

Additive und subtraktive Verfahren

.....

In diesem Kapitel

- ▶ Die wesentlichen Unterschiede zwischen beiden Verfahren
 - ▶ Die Stärken und Schwächen der beiden Verfahren
 - ▶ Die Verfahren als Ergänzung zueinander
-

Obwohl die digitale Fertigung verschiedene Technologien verwendet, um schnell die verschiedenen Teile zu produzieren, können maschinelle Bearbeitungs-/Zerspanungs- und 3D-Drucktechnologien relativ eindeutig in additive und subtraktive Fertigungsmethoden unterteilt werden. Dieses Kapitel erläutert die Unterschiede zwischen additiven und subtraktiven Verfahren, untersucht ihre jeweiligen Stärken und Schwächen und beleuchtet, wie die beiden Methoden einander ergänzen.

Die wesentlichen Unterschiede zwischen beiden Verfahren

Sowohl additive als auch subtraktive Methoden haben zahlreiche Einsatzmöglichkeiten in der digitalen Fertigung, doch es gibt einige wesentliche Unterschiede zwischen ihnen. Es ist wichtig, diese Unterschiede zu verstehen, damit Sie eine bessere Vorstellung davon erhalten, wie diese Methoden optimal eingesetzt werden können.

Additive Fertigung

Die *additive Fertigung* ist eine Methode zur Herstellung von Teilen durch Hinzufügen einzelner dünner Materialschichten. Jede hinzugefügte Schicht dient als Grundlage für weitere Materialschichten.



3D-Druck ist ein auswechselbarer Sammelbegriff für die additive Fertigung, doch in Wirklichkeit fallen mehrere Prozesse unter die Kategorie der additiven Fertigung. Obwohl gemeinhin verfügbare 3D-Drucker Teile gewöhnlich unter Verwendung von geschmolzenem Kunststoff oder einem ähnlichen Material herstellen, bieten andere additive Fertigungsverfahren weit mehr Vielseitigkeit in Bezug auf Bauqualität und Materialauswahl. Bei der Methode des *Metallsinterns* werden zum Beispiel Schichten eines Pulvers zur Herstellung von Metallteilen verschmolzen.

Subtraktive Fertigung

Die *subtraktive Fertigung* ist eine Methode zur Herstellung von Teilen, bei der durch die maschinelle Bearbeitung eines Materialblocks überflüssiges Material von jenen Stellen entfernt wird, an denen es nicht benötigt wird, bis ein fertiges Teil entsteht. Das überflüssige Material kann mithilfe unterschiedlicher Werkzeugarten entfernt werden, doch Fertigungsverfahren wie Fräsen und Drehen werden besonders häufig eingesetzt.

Um sich die subtraktive Fertigung besser vergegenwärtigen zu können, sollten Sie sich vorstellen, wie ein Bildhauer beginnt, an einem großen Steinblock zu arbeiten. Der Bildhauer bearbeitet den Stein mit Hammer und Meißel, um eine Statue zu erschaffen. Die Statue ist kleiner als der ursprüngliche Steinblock, weil der Bildhauer die Teile des Steines entfernt („subtrahiert“), die nicht in das endgültige Design passen.

Heutzutage werden für die subtraktive Fertigung oft CNC-Maschinen (*Computer Numeric Control*) wie Fräs- und Drehmaschinen verwendet, um präzise Teile herzustellen. CNC-Maschinen sind im Allgemeinen viel schneller und präziser als von menschlicher Hand gesteuerte Maschinen. CNC-Maschinen bieten auch einen Grad der Wiederholbarkeit, der für die meisten menschlichen Bediener schwer zu erreichen ist.



Spritzgießen ist im Prinzip eine Art additiver Prozess, doch es wird oft in die subtraktive Kategorie einbezogen, weil subtraktive Methoden verwendet werden, um die Spritzgussformen herzustellen.

Die Stärken und Schwächen der beiden Verfahren

Keine einzelne Herstellungsmethode (und kein Material) kann jedem Zweck dienen. Leider hat noch niemand herausgefunden, wie man die *Star-Trek*-Replikatormaschine bauen kann. Deshalb ist es wichtig, die Stärken und Schwächen der additiven und subtraktiven Fertigungsmethoden zu verstehen.

Additive Verfahren - Stärken

Da bei der additiven Fertigung Teile aus Tausenden von extrem dünnen Schichten hergestellt werden, ist es möglich, äußerst komplexe Geometrien zu erstellen, die mit anderen Methoden nicht erzielt werden können. Teile können zum Beispiel in ihrem Inneren Kanäle und Hohlräume an Stellen enthalten, die durch eine moderne Fräsmaschine nicht zu erreichen wären. Das bedeutet, dass eine sehr komplexe Baugruppe in einem Stück hergestellt werden kann, ohne dass mehrere zusammenpassende Teile erforderlich sind.

Die additive Fertigung bietet auch einzigartige Möglichkeiten zur Herstellung sehr geringer Mengen individuell gefertigter Bauteile. Bedenken Sie zum Beispiel, welche Möglichkeiten die additive Fertigung in der Dentaltechnik und Schmuckerstellung hat. Eine individuell gefertigte Zahnprothese ist offensichtlich nicht etwas, das in großen Mengen hergestellt wird, sondern ist direkt auf eine Person zugeschnitten.



Obwohl sowohl bei der additiven als auch der subtraktiven Fertigung eine Vielzahl von Materialien verwendet werden kann, unterscheiden sich die Eigenschaften dieser Materialien oft in Abhängigkeit von der jeweiligen Methode. Sie werden feststellen, dass ein erfahrener digitaler Fertigungspartner Sie auf diesem Gebiet beraten kann.

Additive Verfahren - Schwächen

Obwohl die additive Fertigung sehr vielseitig ist, erfüllt sie nicht in jedem Fall alle Anforderungen. Dafür gibt es zwei Gründe:

- ✓ Die additive Fertigung eignet sich am besten für kleine Produktionsmengen. Wenn die Produktionsmengen auf Tausende oder Zehntausende Teile erhöht werden, wird die additive Fertigung zu teuer, um kontinuierlich eingesetzt werden zu können.
Es ist gewöhnlich nicht kosteneffektiv, mehr als ein paar Hundert Teile durch additive Fertigung herzustellen. Diese Kosten werden möglicherweise sinken, wenn sich die Technologie in Zukunft verbessert, doch im Moment ist es eine wichtige Erwägung, wenn Sie viele Teile brauchen.
- ✓ Eine weitere Schwäche der additiven Fertigung bezieht sich auf die Art, in der Teile hergestellt werden. Im Gegensatz zu gegossenen oder maschinell bearbeiteten Teilen tendieren mit additiven Methoden gefertigte Teile dazu, ein etwas ungleichmäßigeres Erscheinungsbild aufzuweisen. Es ist oft möglich, die Oberfläche von mit additiven Methoden hergestellten Teilen zu glätten oder anderweitig zu bearbeiten, doch diese zusätzlichen Schritte verlängern die Produktionszeit und erhöhen die Kosten.

Subtraktive Verfahren - Stärken

Fräsen und Drehen sind bekannte Prozesse in der traditionellen Fertigung. Maschinell bearbeitete Teile können aus den meisten Materialien hergestellt werden, die in einer festen Form verfügbar sind. Zum Beispiel können viele Arten von Metall, Holz und Kunststoff die Grundlage für mittels subtraktiver Fertigungsmethoden gefertigte Teile bilden.

Bei der subtraktiven Fertigung entstehen gewöhnlich Teile mit einem sehr sauberem Erscheinungsbild, welche oft keine weitere Bearbeitung erfordern, bevor sie benutzt werden können. Da die maschinelle Bearbeitung mit einem festen Materialblock beginnt, gibt es meist auch keine Probleme mit Porosität, wie sie manchmal bei additiven Prozessen auftreten können. Außerdem kann die subtraktive Fertigung auf Grund der geringeren Materialkosten weniger kostspielig sein als die additive Fertigung.

Subtraktive Verfahren - Schwächen

So wie additive Fertigungsmethoden bestimmte Schwächen haben, gibt es auch bei subtraktiven Fertigungsmethoden einige Nachteile. Um zum Beispiel ein Teil im Inneren mit einem Kanal oder Hohlraum zu versehen, muss die jeweilige Stelle für das Werkzeug zugänglich sein. Leider bedeutet dies, dass einzelne Teil nicht immer so komplex sein können, wie es bei einem additiven Fertigungsprozess erreicht werden kann. In einigen Fällen wäre es notwendig, mehrere Teile zu konstruieren, damit sie maschinell bearbeitet und bei der Endmontage zusammengesetzt werden können.

Die maschinelle Bearbeitung ist auch durch die Fähigkeiten der bei der Herstellung verwendeten Werkzeuge begrenzt. Je nach Hersteller kann es Größeneinschränkungen dafür geben, was maschinell bearbeitet werden kann.

Die Verfahren als Ergänzung zueinander

Sie sind natürlich nicht darauf beschränkt, ihr ganzes Produkt mit einer einzigen Methode und aus einem einzigen Material herzustellen. Sie werden wahrscheinlich sogar feststellen, dass unterschiedliche Methoden für unterschiedliche Teile eines Produkts geeignet sind.

Wie ich in Kapitel 1 bereits erwähnt habe, ist es auch sinnvoll, andere Methoden für schnelle Prototypen als für die Fertigprodukte zu verwenden. Eine ungleichmäßige Oberfläche kann zum Beispiel für Ihren mittels 3D-Druck hergestellten Prototypen akzeptabel sein, doch Kunden sind möglicherweise nicht von dem rauen Oberflächengefühl beeindruckt, das ein additiver Prozess auf dem Teil erzeugen kann. Mögliche Lösungen sind sekundäre Endbearbeitungsformen, der Wechsel zu einem maschinell bearbeiteten Teil oder sogar die Verwendung von Spritzguss während der Prototypenerstellung. Ihr digitaler Fertigungspartner kann Sie über die Fertigungsmethode beraten, die am besten zur Herstellung der von Ihnen benötigten Teile geeignet ist.



Ganz gleich, welche digitale Fertigungsmethode letztendlich am besten für die Herstellung Ihres Produkts geeignet ist, Sie müssen mit einem guten 3D-CAD-Modell beginnen. Das Fertigungsunternehmen sollte dieses Modell verwenden können, um Designempfehlungen zu geben und bei der Auswahl der geeigneten Fertigungsmethode zu helfen.

16 **Digitale Fertigung für Dummies** _____

Kapitel 3

Unterschiedliche Fertigungsmaterialien

.....

In diesem Kapitel

- ▶ Thermoplaste, Duroplaste und Photopolymere
 - ▶ Kunststoffe und kunststoffartige Materialien
 - ▶ Hart- und Weichmetalle
 - ▶ Das richtige Verfahren auswählen
-

Digitale Fertigungsmethoden umfassen verschiedene Verfahren, bei denen eine Reihe von Materialien verwendet werden können. Um das beste Material zur Herstellung Ihres Teils auszuwählen, müssen Sie verstehen, welche Materialien für welche Verfahren in Frage kommen und welche Eigenschaften diese Materialien aufweisen. In diesem Kapitel werden unterschiedliche Materialkategorien betrachtet, damit Sie sehen, welche Möglichkeiten es gibt und welche Materialien am besten für Ihre Anforderungen geeignet sind.

Thermoplaste, Duroplaste und Photopolymere

In dem Film *Die Reifeprüfung* von 1967 erhielt Dustin Hoffmans Figur des Benjamin Braddock den Rat, dass Kunststoffe die Zukunft seien. Auch wenn er diesen Rat nicht befolgte – die Fertigungsindustrie hat es auf jeden Fall getan und verwendet viele Arten von Kunststoffen und kunststoffartigen Materialien.

Für Nichteingeweihte können die vielen verschiedenen Arten von Kunststoffen und kunststoffartigen Materialien aus mehreren Gründen verwirrend sein:

- ✓ Es herrscht eine Verständnisücke in Bezug auf die innere Struktur des Materials und dessen Eigenschaften.
- ✓ Der genauen Bestimmung der Anwendungsanforderungen wird gewöhnlich nicht genug Zeit und Aufmerksamkeit gewidmet.
- ✓ Selbst wenn diese ersten zwei Hürden überwunden worden sind, kann es schwierig sein, genaue Eigenschaftsdaten für Materialien zu erhalten.



Um das geeignete Material für Ihre Anwendung zu bestimmen, müssen Informationen aus einer Vielzahl unvollständiger Quellen zusammengetragen werden. Materialdatenblätter sind die wichtigsten Informationsquellen und Sie sollten herausfinden, wie Sie dieser Quelle so viele Informationen wie möglich abgewinnen können. Detailliertere Informationen sind manchmal in Design-Handbüchern und in den Anwendungshinweisen enthalten, die von Materiallieferanten herausgegeben werden und die die Lücken in Datenblättern schließen können. Ergänzende Informationen sind häufiger für technische Hochleistungsmaterialien und Spezialmaterialien erhältlich als für Handelswaren. Wenn Sie ein Material wirklich verstehen wollen, müssen Sie darauf vorbereitet sein, ein wenig Detektivarbeit zu leisten und einige Tests durchzuführen.

Thermoplaste

Thermoplaste sind eine Art von Kunststoff, der oberhalb einer bestimmten Temperatur formbar wird und sich beim Abkühlen verfestigt. Thermoplaste werden gewöhnlich beim Spritzgießen verwendet. Ein weiterer Begriff für diese Art von Kunststoff ist *wärmeerweichend*. Wie der Begriff besagt, können Thermoplaste durch Wärme wieder erweicht werden.



Der technische Begriff für das, was mit einem Thermoplast geschieht, wenn er wieder erwärmt wird, ist ein *Phasenübergang*. Ein sehr häufiges Beispiel für ein Material, das einen Phasenübergang durchläuft, ist der Prozess, der sich mit Wasser bei Gefrier-temperatur vollzieht. Unterhalb dieser Temperatur ist das Wasser fest, doch oberhalb dieser Temperatur ist es flüssig.

Einige verbreitete Thermoplaste sind:

- ✓ Acetal, auch als POM bekannt
- ✓ Acryl (PMMA)
- ✓ Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)
- ✓ Nylon (PA)

- ✓ Polycarbonat (PC)
- ✓ Polyethylen (PE)
- ✓ Polymilchsäure (PLA)
- ✓ Polypropylen (PP)
- ✓ Polystyrol (PS)
- ✓ Polytetrafluorethylen (PTE), auch als Teflon bezeichnet
- ✓ Polyvinylchlorid (PVC)

Duroplaste

Der Name *Duroplast* mag etwas verwirrend erscheinen, besonders im Vergleich zum Thermoplast (siehe vorhergehenden Abschnitt). Ein Duroplast ist ein Material, das sich permanent erhärtet und nicht wieder verformt werden kann. Wahrscheinlich ist es am einfachsten, sich den Unterschied daran zu merken, dass ein Thermoplast plastisch bleibt, während ein Duroplast eine dauerhafte Form annimmt.

Duroplastmaterialien können je nach der Zusammensetzung des Materials durch eine chemische Reaktion oder durch Bestrahlung erhärtet werden. Flüssigsilikon ist ein bekanntes Beispiel für ein formbares Duroplastmaterial.

Diese Duroplastmaterialien sind im Allgemeinen fester als Thermoplastmaterialien und werden auch für verschiedene Formprozesse verwendet. Einige Beispiele für Duroplastmaterialien sind:

- ✓ Bakelit
- ✓ Epoxid
- ✓ Melamin
- ✓ Polyurethane (auch in Thermoplasten enthalten, aber weniger häufig)
- ✓ RTV
- ✓ Silikonkautschuk

Photopolymere

Photopolymere sind Kunststoffe, die ihre Eigenschaften ändern, wenn sie Licht ausgesetzt werden. Diese Kunststoffe werden gewöhnlich durch ultraviolette Strahlung ausgehärtet und dieser Prozess vollzieht sich relativ schnell. Photopolymere werden oft im 3D-Druck (und ähnlichen Verfahren) verwendet.



Photopolymere sind gewöhnlich spröder als andere Kunststoffarten und sind oft instabil, wenn sie Sonnenlicht und hoher Luftfeuchtigkeit ausgesetzt werden.

Wie Duroplastmaterialien durchlaufen Photopolymere bei der Aushärtung eine unumkehrbare Veränderung und können nicht wieder erweicht werden, nachdem Sie erhärtet worden sind. Bei Verfahren wie dem 3D-Druck werden Photopolymere Schicht für Schicht gehärtet. Gewöhnlich wird dies mit einem UV-Laser erreicht, um eine Schicht des Teils auf das Harz zu zeichnen (und zu härten), bevor der Tisch schichtweise tiefer in das Harz herabgelassen wird. Dann wird die nächste Schicht gezeichnet und gehärtet und der Prozess wiederholt sich, bis das ganze Teil geformt worden ist.

Verschiedene photosensitive Polymerharze werden als Photopolymere im digitalen Fertigungsprozess verwendet.

Kunststoffe und kunststoffartige Materialien

Genau genommen ist nicht alles, was ein Kunststoff zu sein scheint, wirklich ein Kunststoff. Duroplast- und Photopolymermaterialien verhalten sich anders als echte Kunststoffe, doch niemand wird es Ihnen verübeln, wenn Sie es den Experten überlassen, herauszufinden, welches Material in welche Kategorie gehört. Trotzdem kann es interessant sein, Kunststoffe und kunststoffartige Materialien miteinander zu vergleichen.

Bei der *Stereolithographie* (ein häufig verwendetes additives Fertigungsverfahren, das zu *SL* abgekürzt werden kann) verwendete Materialien sind Photopolymere und keine Thermoplaste. Damit unterscheiden sie sich von gebräuchlichen technischen Kunststoffen in Bezug auf mehrere wesentliche Eigenschaften. Diese kunststoffartigen Materialien können trotzdem sehr nützlich für Designer sein: für Form-, Passform- und begrenzte Funktionstests, wenn sie in gewissem Maße mit dem vorgesehenen Produktionsmaterial vergleichbar sind. Die wichtigste Eigenschaft, die Designer nachahmen wollen, ist gewöhnlich die Steifigkeit (der technische Begriff ist Elastizitätsmodul). Wenn ein Hersteller also ein *ABS-ähnliches Material* anbietet, beruht dessen Ähnlichkeit zu ABS auf einer ähnlichen Steifigkeit.

Die Eigenschaften von SL-Materialien, die sich am häufigsten von technischen Thermoplasten unterscheiden, sind *Bruchdehnung* (wie sehr sich das Material dehnt, bevor es bricht, in Prozent gemessen) und *Temperaturbeständigkeit* (wie heiß das Material werden kann, bevor es weich wird).



Alle Polymere haben eine langfristige Empfindlichkeit gegenüber Sauerstoff und diese Empfindlichkeit erhöht sich bei höheren Temperaturen. Die mit der Alterung verbundene Degradation wird in einer Eigenschaft mit der Bezeichnung *relativer Temperaturindex* (RTI) festgehalten. Dieser Wert basiert auf einem von Underwriters Laboratories regulierten Test. Er ist gegenwärtig der beste Maßstab zur Messung der langfristigen Effekte der Alterung auf die mechanischen und elektrischen Eigenschaften von Polymeren. RTI-Tests beginnen mit der Messung von wesentlichen Basiseigenschaften. Probekörper werden dann bei unterschiedlichen Temperaturen gealtert und die Basiseigenschaften werden überwacht, bis sie auf 50 Prozent der ursprünglichen Werte sinken. Die Zeit, die zum Erreichen dieser 50-prozentigen Leistung erforderlich ist, wird als die *Zeit bis zum Ausfall bezeichnet*.

Hart- und Weichmetalle

Natürlich sind Kunststoffe nicht in jedem Fall die besten Materialien zur Herstellung von Bauteilen. Metall ist oft besser geeignet. Sie können zwischen Hart- und Weichmetallen wählen – je nachdem, welche Option am besten für ein bestimmtes Teil geeignet ist.

Weichmetalle: Aluminium, Magnesium, Messing und Kupfer

Aluminium ist das am häufigsten vorkommende Metall auf dem Planeten und das dritthäufigste Element nach Sauerstoff und Silizium. Es wird Sie vielleicht überraschen, zu erfahren, dass die Erdkruste zu 8 Prozent aus Aluminium besteht!

Aluminium ist weich und leicht verformbar und ist insofern ein schlechter Kandidat für mechanische Zwecke. Aluminium wird gewöhnlich mit anderen Elementen vermischt, darunter Silizium, Kupfer, Magnesium und Zink, und dann wärmebehandelt, um eine starke, leichte Legierung zu erzeugen, die in Flugzeugzellen, Automobilen und verschiedenen Verbraucherprodukten verwendet wird.

Ein weiteres beliebtes Leichtmetall ist Magnesium. Mit zwei Dritteln des Gewichts von typischen Aluminiumlegierungen und fast derselben Stärke ist es das leichteste aller Strukturmetalle. Magnesium ist ein bevorzugtes Material, wenn eine gute Festigkeit und ein geringes Gewicht wichtig sind. Es hat hervorragende Dämpfungseigenschaften und kann leicht maschinell bearbeitet, geformt oder druckgegossen werden.

Zwei weitere Weichmetalle sind Messing und Kupfer. Von diesen beiden Metallen ist Messing bei Weitem das vielseitigste. Mit Aus-

nahme von Umgebungen mit einem hohen Anteil an Ammoniak und einigen Säuren ist es extrem witterungs- und korrosionsbeständig. Wenn Sie jemals einen Kühler gewechselt, eine Küchenarmatur gelötet oder ein Blasinstrument gespielt haben, dann haben Sie es mit Teilen aus Messing zu tun gehabt.

Hartmetalle: Stahl, Edelstahl, Titan, Kobalt-Chrom und Inconel

Einige Teile müssen aus Hartmetallen hergestellt werden. Stahl besteht hauptsächlich aus Eisen, dem am häufigsten vorkommenden Element nach Aluminium. Eisenschmelzen und eine begrenzte Stahlproduktion gibt es seit Tausenden von Jahren, doch erst seit Mitte des 19. Jahrhunderts war die Massenproduktion von hochwertigem Stahl möglich.

Wie bei Weichmetallen kann eine geringe Menge von Legierungselementen einen dramatischen Effekt auf die Eigenschaften von Stahl haben – die Zugabe von weniger als 1 Prozent Kohlenstoff und Mangan macht sprödes Eisen zu hartem 1018er Stahl und legierter Stahl 4140, der für Flugzeuge geeignet ist, wird durch die Kombination einer ebenso geringen Menge von Chrom mit etwas Molybdän hergestellt.



Kohlenstoffstähle wie diese können zu unterschiedlichen Graden gehärtet werden und lassen sich leicht schweißen. Es gibt nur ein Problem: Sie rosten und müssen daher für fast alle Anwendungen beschichtet oder lackiert werden.

Wenn Sie Rost vermeiden wollen, können Sie Edelstahl benutzen. Durch die Erhöhung der Chrommenge um mindestens 10,5 Prozent wird die Korrosionsbeständigkeit bedeutend erhöht. Edelstahl wird häufig in der chemischen Industrie, in der Textilverarbeitung und für Schiffsanwendungen eingesetzt. Viele Edelstähle sind auch temperaturbeständig und halten Temperaturen bis zu 1480 °C stand – Temperaturen, die Aluminium, Messing und Kupfer in ein Schmelzbad verwandeln würden.



Die Edelstähle der 300er-Serie enthalten mindestens 20 Prozent Chrom sowie eine nicht geringe Menge Nickel, wodurch sie maschinell schwer zu bearbeiten sind.



17-4 PH Edelstahl ist ein vielseitiges, jedoch sehr hartes Material, das Nickel, Chrom und Kupfer enthält. Obwohl es als Teil der Edelstahlfamilie gilt, kommt seine maschinelle Bearbeitbarkeit im weichgeglühten Zustand derjenigen einer Superlegierung nahe –

wärmebehandelt erreicht es problemlos eine Härte von 45 RC und eine Zugfestigkeit von 150.000 PSI oder höher, dreimal so hoch wie Kohlenstoffstahl. Er wird am häufigsten verwendet, wenn eine Kombination von hoher Festigkeit und guter Korrosionsbeständigkeit benötigt wird.

Und schließlich gibt es noch Titan. Dieses leichte Element wird oft mit Aluminium und Vanadium legiert, wodurch ein starkes, korrosionsbeständiges Material entsteht. Wie Kobalt-Chrom ist Titan biokompatibel und wird häufig für Knochenschrauben, -stifte und -platten verwendet. Diese Eigenschaften machen Titan auch für die Luft- und Raumfahrtindustrie und für Hersteller von Hochleistungsfahrzeugen attraktiv.

In der Kategorie der wahrhaft stabilen Legierungen können Sie auch Kobalt-Chrom oder Inconel in Betracht ziehen. Inconel enthält 50 Prozent oder mehr Nickel, wodurch es bei unterschiedlichen Temperaturen eine hervorragende Festigkeit erhält. Es wird für extreme Anforderungen eingesetzt, wie bei Gasturbinenschaufeln, Kompressorscheiben für Strahltriebwerke und sogar Kernreaktoren und Brennkammern für Strahltriebwerke. Direkt neben Nickel im Periodensystem befindet sich Kobalt, der Hauptbestandteil der Kobalt-Chrom-Legierung.



Leider werden Kobalt-Chrom und Inconel im Allgemeinen als schwer maschinell bearbeitbar angesehen. Deshalb werden sie am häufigsten in der additiven Fertigung beim direkten Metall-Lasersintern (DMLS) verwendet.

Das richtige Verfahren auswählen

Manchmal kann dasselbe Material in mehr als einem digitalen Fertigungsverfahren verwendet werden. So sind zum Beispiel einige Kunststoffmaterialien wie Nylon sowohl für den 3D-Druck wie auch den Spritzguss geeignet. Gleichmaßen können bestimmte Metalle wie Aluminium und Edelstahl für den 3D-Druck, die maschinelle Bearbeitung und für Formprozesse verwendet werden.

Bei der Wahl des richtigen Verfahrens für Kunststoffe und Metalle müssen drei Faktoren berücksichtigt werden:

- ✓ Der für das Teil vorgesehene Verwendungszweck
- ✓ Die Komplexität des Teiledesigns
- ✓ Der Umfang der Produktionsserie

Weitere Informationen zu den wesentlichen digitalen Fertigungsverfahren finden Sie in Kapitel 4, 5 und 6.

Wahl eines Kunststoffs

Es ist wirklich nicht möglich, eine umfassende Materialempfehlung zu geben, ohne sämtliche Anwendungsanforderungen für das Teil zu verstehen. Manchmal ist es jedoch nicht kosteneffektiv, das Teil vollständig zu entwickeln, um zu einer Materialauswahl zu gelangen. Hier sind einige Faustregeln:

- ✔ Versuchen Sie es mit ABS. ABS funktioniert bei sehr vielen Anwendungen. Es hat einen mäßigen Preis, ist fest, relativ widerstandsfähig, hat ein annehmbares Erscheinungsbild und ist fehlertolerant, selbst wenn Sie nicht alle Standard-Designregeln für Kunststoffteile befolgen. Es hat einen relativ niedrigen Schmelzpunkt.
- ✔ Wenn es günstig sein muss und Steifigkeit und Erscheinungsbild nicht besonders wichtig sind, versuchen Sie es mit Polypropylen (PP).
- ✔ Wenn Sie ein etwas widerstandsfähigeres Material haben möchten als ABS oder ein Material, das etwas höheren Temperaturen standhalten kann, versuchen Sie es mit Polycarbonat (PC).

PC ist weniger fehlertolerant als ABS, wenn Sie die Standard-Designregeln für Kunststoffteile nicht befolgen.

- ✔ Wenn es gut aussehen und transparent sein soll, versuchen Sie es mit Acryl (PMMA). PMMA kann ein wenig spröde sein. Transparentes PC ist widerstandsfähiger als PMMA, hat aber ein weniger gutes Erscheinungsbild.
- ✔ Wenn diese Regeln Ihnen nicht dabei helfen, eine Entscheidung zu treffen, müssen Sie damit beginnen, Berechnungen und Analysen anzustellen.

Wenn Sie Spritzgussteile verwenden wollen, sollten Sie versuchen, einige Probeteile in Ihrem Zielmaterial maschinell zu bearbeiten, bevor Sie sich auf eine Form festlegen. Formen sind so ausgelegt, dass sie der Geschwindigkeit entsprechen, in der ein bestimmtes Material schrumpft, während es sich verfestigt. Daher ist es unter Umständen nicht möglich, mehrere Materialien ohne Risiken in Bezug auf Teilegröße, Toleranzen und/oder Abmessungen in derselben Form zu verwenden.

Kapitel 4

3D-Druck

.....

In diesem Kapitel

- ▶ Verständnis des additiven Fertigungsprozesses
 - ▶ Die unterschiedlichen Technologien
 - ▶ Designerwägungen
 - ▶ Nach dem 3D-Druck
-

3*D-Druck* ist ein Sammelbegriff, der oft allgemein zur Bezeichnung aller additiven Fertigungsverfahren verwendet wird. Viele bringen den Begriff wahrscheinlich mit einem Gerät in Verbindung, das in etwa einem Inkjet-Drucker ähnelt. Diese beschränkte Sichtweise kommt dem Verständnis der heutzutage verfügbaren zahlreichen und vielseitigen Möglichkeiten jedoch in keiner Weise nahe. Dieses Kapitel bietet eine kurze Einführung zum 3D-Druck, betrachtet wichtige Verfahren, die unter diesen Überbegriff fallen, erörtert einige Designerwägungen, die Sie berücksichtigen müssen, und betrachtet die nächsten Schritte.

Einführung in den 3D-Druck

Verschiedene additive Fertigungsverfahren erfüllen unterschiedliche Designanforderungen. Obwohl sich diese Prozesse erheblich voneinander unterscheiden, müssen Sie ihre gemeinsamen Merkmale verstehen, bevor Sie sich mit den Besonderheiten jedes einzelnen Verfahrens auseinandersetzen können.

Das Verfahren

Bei der additiven Fertigung werden Teile durch den Aufbau sehr dünner Materialschichten hergestellt. Es gibt mehrere Methoden, um Materialschichten zur Schaffung von Festkörpern miteinander zu verbinden, darunter Extrudieren, Jetting-Verfahren und Schmelz-

oder Härtingsprozesse. Unabhängig von der jeweiligen bei einem Verfahren verwendeten Methode wird jede Materialschicht einzeln aufgebracht, wonach das Material zur Herstellung des Teils mit den darunterliegenden Schichten verbunden wird.

Die Ausrüstung

Hochwertige Geräte spielen bei der digitalen Fertigung eine wesentliche Rolle. Obwohl ein einfacher 3D-Drucker für den Schreibtisch wahrscheinlich für einen Wochenendbastler ausreichend ist, um ein paar einfache Spielzeugsoldaten oder einen rudimentären Prototypen herzustellen, sind die Geräte, die zur Herstellung hochwertiger Prototypen oder Bauteile für kommerzielle Projekte erforderlich sind, wesentlich komplexer, leistungsfähiger und teurer.

Die für die additive Fertigung verwendeten Geräte unterscheiden sich je nach Verfahren, doch grundsätzlich müssen sie in der Lage sein, das Material mit äußerster Präzision aufzubringen. Je nach Verfahren kann es auch erforderlich sein, das Material zu verschmelzen oder zu verkleben, (einige Verfahren verwenden Materialien, die sich automatisch mit den vorhandenen Materialschichten verbinden).



Neben der Verwendung zuverlässiger additiver Geräte und Materialien hängt die Fertigung hochwertiger Prototypen auch von hochentwickelter Computertechnologie ab, um Präzisionsteile herstellen zu können. Ein digitales Fertigungsunternehmen verbindet oft diese drei Vorteile.

Der Zweck

Die Herstellung eines Teils aus Tausenden dünner Schichten bietet die Möglichkeit, hochkomplexe Geometrien zu erstellen, die durch maschinelle Bearbeitung oder Spritzguss nicht hergestellt werden können. Die additive Fertigung ist besonders für die schnelle Herstellung von Prototypen attraktiv, doch in einigen Fällen eignet sich das Verfahren auch für kleine Mengen von Produktionsteilen. Die Entwicklung von Teilen ohne die zusätzliche Designplanung, die gewöhnlich beim Spritzgießen oder bei der CNC-Bearbeitung erforderlich ist, macht es möglich, schnell Ihre Designoptionen zu untersuchen - ohne die Einschränkungen, die oft mit herkömmlichen Fertigungsverfahren verbunden sind.

Die wesentlichen Verfahren

In diesem Abschnitt erläutere ich die verschiedenen 3D-Druck-Verfahren, damit Sie besser verstehen können, ob ein bestimmtes Verfahren Ihre Anforderungen in unterschiedlichen Phasen der Prototypenerstellung und der Teileproduktion erfüllt.

Binder Jetting

Binder Jetting (BJET) ist eines der einfachsten additiven Prototyping-Verfahren. Ein Inkjet-Druckkopf bewegt sich über ein Bett aus Pulver und trägt gezielt ein flüssiges Bindemittel auf. Eine neue Schicht von ungebundenem Pulver wird auf die teilweise gebundene Schicht aufgetragen und das Verfahren wird wiederholt, bis das Bauteil fertiggestellt worden ist. Nach der Fertigstellung wird das ungebundene Pulver entfernt, sodass das fertige Stück übrigbleibt.



Binder Jetting hat die folgenden Vorteile:

- ✓ Schnelle Produktion
- ✓ Geringe Kosten
- ✓ Leicht in verschiedenen Farben herstellbar
- ✓ Einfache Vervielfältigung komplexer Geometrien



Binder Jetting hat auch einige Nachteile:

- ✓ Ungleichmäßige Oberfläche
- ✓ Geringe Festigkeit der Teile
- ✓ Nicht für Funktionstests geeignet

Stereolithographie

Bei der *Stereolithographie* (SL) wird ein computergesteuerter ultravioletter Laser verwendet, um Teile in einem Bad aus Photopolymerharz zu erhärten. Nachdem jede Schicht von dem Laser gezeichnet wurde, wird das Teil in das Bad aus flüssigem Harz abgesenkt, sodass die nächste flüssige Schicht erhärtet werden kann. Die Qualität des fertigen Teils hängt größtenteils von der Qualität der für das SL-Verfahren verwendeten Ausrüstung ab, wie in Abbildung 4-1 gezeigt wird.

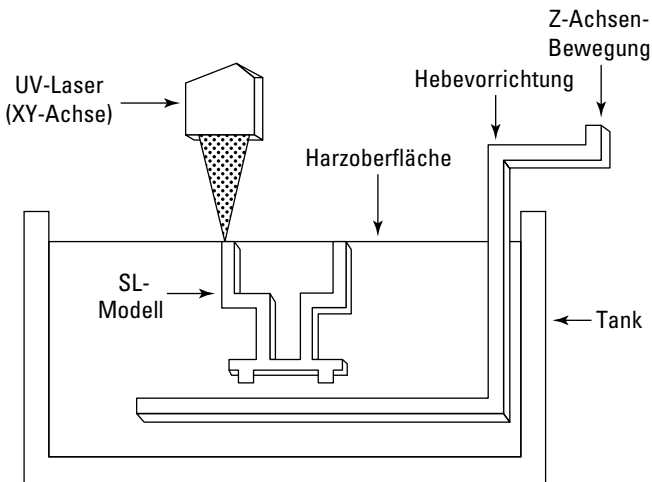


Abbildung 4-1: Das SL-Verfahren.

Das SL-Verfahren hat drei wesentliche Vorteile:

- ✓ Mäßiger Preis
- ✓ Einfache Vervielfältigung komplexer Geometrien
- ✓ Eine der besten Oberflächengüten für additive Verfahren



Das SL-Verfahren hat auch gewisse Nachteile: Eine geringe Festigkeit der Teile, das erhärtete Harz wird mit der Zeit spröde und Teile können nur begrenzt für Funktionstests verwendet werden.

Fused Deposition Modeling

Fused Deposition Modeling (FDM – Schmelzschichtung) ist ein Verfahren, bei dem thermoplastischer Kunststoff (oft ABS, Polycarbonat oder eine ABS-Polycarbonat-Mischung) in Schichten geschmolzen und ausgehärtet wird, um einen fertigen Prototypen herzustellen. Da bei diesem Verfahren echter thermoplastischer Kunststoff verwendet wird, sind die Teile fester als bei einigen anderen Verfahren und können begrenzt für Funktionstests eingesetzt werden.



Einige Vorteile des FDM-Verfahrens sind:

- ✓ Mäßiger Preis
- ✓ Mäßige Festigkeit
- ✓ Eine teilweise Übereinstimmung mit den technischen Merkmalen von ABS- oder Polycarbonatteilen
- ✓ Einfache Vervielfältigung komplexer Geometrien



FDM hat auch einige Nachteile:

- ✓ Wellige Oberfläche auf den Teilen
- ✓ Teile, die sehr porös sind
- ✓ Begrenzte Eignung für Funktionstests
- ✓ Langame Produktion; es kann Tage dauern, große Teile zu produzieren
- ✓ Geringe Festigkeit an der Z-Achse

PolyJet

PolyJet (PJET) verwendet einen Druckkopf, mit dem Schichten von Photopolymerharz (auf eine Plattform) aufgesprüht und dann nacheinander durch ultraviolette Strahlung erhärtet werden. Die Schichten sind sehr dünn, wodurch eine hervorragende Auflösung erreicht werden kann. Das Material wird durch eine Gelmatrix unterstützt, die nach der Fertigstellung des Teils entfernt wird.

Einige Vorteile des PJET-Verfahrens sind eine gute Oberflächenbeschaffenheit und die einfache Vervielfältigung komplexer Geometrien. Nachteile sind die begrenzte Auswahl an geeigneten Harzen, geringe Festigkeit und kostspielige Materialien.

Selektives Lasersintern

Selektives Lasersintern (SLS) verwendet einen computergesteuerten CO₂-Laser (Kohlendioxid), um Schichten von Kunststoffmaterial in Pulverform wie Nylon von unten nach oben miteinander zu verschmelzen. Die Festigkeit der Teile ist besser als beim SL-Verfahren, aber geringer als bei Verfahren wie Spritzguss oder CNC-Bearbeitung. SLS hat einige Einsatzmöglichkeiten als Produktionsmethode.



SLS bietet mehrere Vorteile:

- ✓ Mäßiger Preis
- ✓ Hohe Genauigkeit
- ✓ Teile sind haltbarer als bei einigen anderen Verfahren, z. B. SL
- ✓ Für einige Funktionstests geeignet
- ✓ Einfache Vervielfältigung von komplexen Geometrien



Die Nachteile des SLS sind die begrenzte Auswahl an Harzen und die oft ungleichmäßige Oberflächenbeschaffenheit.

Digital Light Processing

Digital Light Processing (DLP) ist ein additives Fertigungsverfahren, bei dem ein Volumenmodell digital in Ebenen zerlegt wird, welche von einem von Texas Instruments entwickelten DLP-Chip nacheinander auf die Oberfläche eines Flüssigpolymerbads projiziert werden. Das projizierte Licht härtet eine Schicht aus Flüssigpolymer, die sich auf einer beweglichen Bauplatte befindet. Die Bauplatte bewegt sich in kleinen Inkrementen abwärts, während neue Bilder auf die Flüssigkeit projiziert werden und jede nachfolgende Schicht gehärtet wird, um ein fertiges Objekt zu erzeugen. Der Rest des Flüssigpolymers wird dann aus dem Behälter abgelassen und das feste Modell bleibt zurück. Das Verfahren kann zur Herstellung einer geringen Anzahl von kleinen, sehr detaillierten Teilen nützlich sein, doch eignet es sich weniger für größere Teile, besonders Teile, bei denen eine sehr gleichmäßige Oberflächenbeschaffenheit wichtig ist.



Zu den Vorteilen von DLP gehören:

- ✓ Es ist ein relativ schnelles Verfahren.
- ✓ Teile haben einen konkurrenzfähigen Preis.
- ✓ Eine hohe Auflösung ist möglich.
- ✓ Komplexe Formen können erzeugt werden.



Einige Nachteile des DLP-Verfahrens sind:

- ✓ Begrenzte Auswahl an Materialien
- ✓ Eignet sich möglicherweise nicht für Funktionstests
- ✓ Oberflächen können ungleichmäßig sein

Direktes Metall-Lasersintern

Direktes Metall-Lasersintern (DMLS) ist eine führende additive Methode zur Herstellung von Metall-Prototypen. Es ist ähnlich dem selektiven Lasersintern von Kunststoffharz, verwendet stattdessen jedoch Metalle, darunter Aluminium, Edelstahl, Titan, Kobalt-Chrom und Inconel. Es bietet hohe Genauigkeit und Detailtreue sowie hervorragende mechanische Eigenschaften. DMLS kann für sehr kleine Teile und Besonderheiten verwendet werden, und da es ein additives Verfahren ist, kann es Geometrien reproduzieren, die durch maschinelle Bearbeitung nicht erzielt werden können, zum Beispiel teilweise geschlossene Hohlräume.

Bei durch DMLS produzierten Teilen ist fast immer eine Nachbearbeitung, z. B. Bohren, Schlitzen, Fräsen und Reiben, und eine Endbearbeitung wie Eloxieren, Elektropolieren, Handpolieren und Pulverbeschichten und Lackieren erforderlich.



DMLS hat einige wichtige Vorteile:

- ✔ Fast jede Metalllegierung kann verwendet werden
- ✔ Die mechanischen Eigenschaften entsprechen im Wesentlichen denen von auf herkömmliche Weise geformten Bauteilen
- ✔ Kann Geometrien erstellen, die nicht durch maschinelle Bearbeitung oder Gießen erzeugt werden können



DMLS hat auch einige Nachteile:

- ✔ Es ist ein relativ langsames Verfahren.
- ✔ Teile können teuer sein.
- ✔ Zur Herstellung hochwertiger Teile ist beträchtliche Sachkenntnis erforderlich.
- ✔ Teile erfordern meist eine teure Nachbearbeitung.

Designerwägungen

Einige wichtige Designerwägungen beeinflussen die Methode, durch die Ihr Teil hergestellt werden kann. Die Art des verwendeten Verfahrens hat zum Beispiel eine direkte Auswirkung auf Merkmale wie die damit erzielte Auflösung. In einigen Fällen kann dies ein einschränkender Faktor in Bezug auf die Detailgenauigkeit sein.



In einigen Fällen kann es erforderlich sein, Ihr Design zu modifizieren und innere Supportstrukturen hinzuzufügen. Die Notwendigkeit von Supportstrukturen hängt von Faktoren wie dem physischen Design und der Materialzusammensetzung des Teils ab. Ihr digitaler Fertigungspartner kann Ihnen Empfehlungen zu Supportstrukturen geben, wenn das von Ihnen ausgewählte Verfahren dies erforderlich machen sollte.



Möglicherweise werden Sie auch Kostenerwägungen in Bezug auf Faktoren wie das ausgewählte Material und das physikalische Volumen des Teils anstellen. Je nach dem verwendeten Verfahren eignen sich u. a. die folgenden Kunststoffmaterialien:

- ✓ ABS
- ✓ Nylon (PA)
- ✓ Polycarbonat (PC)
- ✓ Polyetheretherketon (PEEK)
- ✓ Polyetherimid (PEI)
- ✓ Polypropylen (PP)

Geeignete Metalle sind:

- ✓ Aluminium
- ✓ Kobalt-Chrom
- ✓ Inconel
- ✓ Edelstahl
- ✓ Titan

In Kapitel 3 werden Materialien ausführlicher behandelt, doch Tabelle 4-1 gibt einen kurzen Überblick über die Materialien, die für einige der Verfahren anpassbar sind.

Wichtige Faktoren bei der Auswahl des geeigneten Verfahrens und Materials sind die Festigkeit und die Oberflächenbeschaffenheit.

Tabelle 4-1 Vergleich additiver Verfahren

Verfahren	Festigkeit in N/mm²	Oberflächen- beschaffenheit (typ.)	Materialien
SL, DLP	17 – 69	0,051-0,152 mm	Thermoplastartige Photopolymere
FDM	36 – 68	0,127-0,330 mm	ABS, PC, PC/ABS, PPSU, PEI
PJET	50 – 60	0,015-0,030 mm	Photopolymere auf Acrylbasis, elastomerische Photopolymere
SLS	37 – 78	0,102 mm	Nylon, Metalle
DMLS	260 – 1.310	0,020-0,030 mm	Edelstahl, Titan, Chrom, Aluminium, Inconel

Nach dem 3D-Druck

Sowohl der vorgesehene Zweck als auch das ausgewählte Verfahren können wichtige Faktoren sein, um die Eignung eines Teils zu dem Zeitpunkt zu bestimmen, an dem es das Fertigungsverfahren durchlaufen hat. So benötigt zum Beispiel ein Teil, das als einfaches Konzeptmodell vorgesehen ist und eine Vorstellung von der Größe und Form eines fertigen Produkts vermitteln soll, keine weitere Bearbeitung. Am anderen Ende des Spektrums kann das Resultat ein im DMLS-Verfahren hergestelltes Metallbauteil sein, das zum Beispiel in einem Flugzeug verwendet wird. In diesem Fall benötigt das Teil wahrscheinlich eine zusätzliche Bearbeitung wie Eloxieren, um es zu schützen, oder Wärmebehandlung, um es zu stärken.

Kapitel 5

Subtraktive Verfahren und CNC-Bearbeitung

In diesem Kapitel

- ▶ Einführung in die CNC-Bearbeitung
- ▶ Wichtige maschinelle Bearbeitungsverfahren
- ▶ Designerwägungen für die maschinelle Bearbeitung
- ▶ Nach der maschinellen Bearbeitung

Die CNC-Bearbeitung (*Computer Numeric Control*) ist ein subtraktives Verfahren, das in der digitalen Fertigung eingesetzt wird. Bei diesem Verfahren werden Bauteile nicht wie bei additiven Verfahren schichtweise hergestellt, sondern die CNC-Bearbeitung beginnt mit einem festen Werkstück und entfernt Material, das nicht benötigt wird.

Dieses Kapitel bietet eine kurze Einführung in die CNC-Bearbeitung, betrachtet die Verfahren, die unter diese Kategorie fallen, erörtert einige Designerwägungen, die Sie berücksichtigen sollten, und zeigt auf, was eventuell nötig sein kann, wenn Ihr Teil fertig ist.

Einführung in die CNC-Bearbeitung

Bei der CNC-Bearbeitung werden Werkzeugmaschinen mittels Computerprogrammierung gesteuert. Diese Werkzeuge entfernen zur Herstellung des gewünschten Teils überflüssiges Material von dem ursprünglichen Materialblock oder Rohling.



Die CNC-Bearbeitung wird oft in der Fertigung eingesetzt, doch die digitale Fertigungsindustrie hat das vorhandene Modell auf den Kopf gestellt. In der Vergangenheit hatte die CNC-Bearbeitung auf Grund der mit der Programmierung von CNC-Maschinen und dem Bau von Spannvorrichtungen für die maschinelle Bearbeitung verbunde-

nen einmaligen Einrichtungskosten lange Amortisationszeiten und war damit nur für die Großproduktion wirtschaftlich. Digitale Fertigungsunternehmen haben Möglichkeiten gefunden, sowohl die Programmierung als auch den Vorrichtungsbau für viele Arten von Teilen zu automatisieren. Durch diese Automatisierung können digitale Hersteller in vielen Fällen kleine Mengen von CNC-Teilen zu weitaus günstigeren Preisen herstellen, als dies in der Vergangenheit möglich war.

Das Verfahren

Das CNC-Bearbeitungsverfahren beginnt mit einer Reihe von Computeranweisungen, die den Betrieb der Maschine lenken. Bei der digitalen Fertigung werden diese Anweisungen von leistungsfähigen Computern generiert, die das 3D-CAD-Modell analysieren, das Sie von Ihrem Teil erstellt haben. Die Spezialcomputer, die diese Analyse durchführen, suchen auch nach Problemen, die verhindern könnten, dass das Teil richtig geformt wird. Designs werden zum Beispiel analysiert, um sicherzustellen, dass sie keine Hinterschneidungen aufweisen, die nicht maschinell hergestellt werden können. Die Analyse betrachtet natürlich auch eine Reihe anderer Probleme. Je nach der Geometrie des gewünschten Teils kann das Teil zur maschinellen Bearbeitung fixiert werden oder gegen das Werkzeug rotieren.

Die Ausrüstung

Die bei der CNC-Bearbeitung verwendete Ausrüstung unterscheidet sich je nach dem Teil, das hergestellt wird, doch in jedem Fall bewegen sich das Werkzeug und das Teil relativ zueinander. Im Fall einer Drehmaschine ist es das Teil, das gegen das Werkzeug rotiert. Bei Fräsmaschinen ist das Teil gewöhnlich fixiert und das Werkzeug bewegt sich. In einigen Fällen sind beide Betriebsarten erforderlich, um ein Teil maschinell fertigzustellen. So kann zum Beispiel eine Drehmaschine verwendet werden, um ein zylindrisches Teil herzustellen, das dann eine Gewindebohrung benötigt, nachdem das Teil gedreht worden ist.



Aufspannvorrichtungen sind ein wichtiger Teil der CNC-Bearbeitung. Sie sorgen dafür, dass sich das Teil im Verhältnis zum Werkzeug immer in der richtigen Position befindet.

Es kann teuer sein, Aufspannvorrichtungen herzustellen. Daher sollten Sie die damit verbundenen Kosten im Voraus prüfen. Einige digitale Fertigungsunternehmen wie Proto Labs stellen Aufspannvorrichtungen nicht getrennt in Rechnung, was zu großen Kosteneinsparungen für Sie führen kann.

Der Zweck

Die CNC-Bearbeitung kann mehrere Zwecke erfüllen. Neben der Erstellung von Prototypenteilen für Form, Passform und Funktion kann dieses Verfahren auch sehr nützlich sein, um schnell Produktionsteile und Vorrichtungen herzustellen und Einmal-Projekte auszuführen.

Wichtige maschinelle Bearbeitungsverfahren

Die CNC-Bearbeitung ist nicht ein einzelnes Verfahren; stattdessen können verschiedene maschinelle Bearbeitungsverfahren für das zu produzierende Teil verwendet werden. In jedem Fall sind die Maschinen computergesteuert, um genau das Teil herzustellen, das in Ihrem Design festgelegt ist.

Früher musste man sich das gar nicht lang überlegen: Runde Teile wurden auf Drehmaschinen gedreht, nicht runde Teile auf Fräsmaschinen gefräst. Mit der Einführung von CNC-Bearbeitungszentren, die mit Leichtigkeit runde Teile bearbeiten, verwischte die Grenze zwischen den beiden maschinellen Bearbeitungsverfahren. Die Situation wurde sogar noch verwirrender, als CNC-Drehmaschinen zu angetriebenen Werkzeugen wurden. Prozesse, für die sonst ausschließlich die Fräsabteilung zuständig war, konnten jetzt vollständig auf der Drehmaschine ausgeführt werden. Daher ist es heutzutage schwieriger als früher, zu entscheiden, welche Maschine sich am besten zur Herstellung eines bestimmten Teils eignet.

Einige Teile sind offensichtlich Kandidaten für die Drehmaschine. Betrachten Sie den Kolben eines Gasmotors. Das Länge-Durchmesser-Verhältnis des Bauteils und seine komplexe externe Geometrie und die komplizierten Innenmerkmale machen diesen Kolben zu einem Kandidaten für die Drehabteilung. Andererseits wird der zu dem Kolben gehörende Motorblock mit seinen großen gefrästen Flächen, detaillierten Aussparungen und sich überschneidenden Bohrungen niemals auf einer Drehmaschine bearbeitet werden, selbst wenn sie angetriebene Werkzeuge besitzt.

3-Achsen-Fräsen

Die erste Art der CNC-Bearbeitung, die wir betrachten wollen, ist das *3-Achsen-Fräsen*. Eine 3-Achsen-Fräsmaschine bewegt das Werkzeug entlang einer X-, Y- und Z-Achse. Es ist relativ einfach, sich den Vorgang vorzustellen, denn auch 3D bezieht sich auf diese drei Achsen: X, Y und Z.

Durch die Bewegung des Werkzeugs in einer Kombination von zwei oder mehr Achsen gleichzeitig ist es möglich, komplexe Formen und Schnitte zu erzeugen. Das Werkzeug ist senkrecht zu einem Tisch angeordnet, auf dem das Werkstück mit einer Klemme oder Aufspannvorrichtung fixiert wird.

Um verschiedene Arbeitsabläufe durchzuführen, kann der Bediener der Maschine die Werkzeuge selbst auswechseln, die für unterschiedlichen Tätigkeiten erforderlich sind, damit das richtige Werkzeug für jede Aufgabe verwendet wird. Neben Fräsen können diese Maschinen auch bohren und gewindeschneiden, solange sich die Achse der Bohrung in Übereinstimmung mit der Z-Achse der Maschine befindet und die Bohrung nicht von einem Überstand verdeckt ist.

5-Achsen-Fräsen

Eine weitere maschinelle Bearbeitungsoption ist 5-Achsen-Fräsen. Während sich das Werkzeug beim 3-Achsen-Fräsen in X-, Y- und Z-Dimensionen bewegt, werden dem Prozess beim 5-Achsen-Fräsen zwei weitere Achsen hinzugefügt.

Bei diesen Maschinen kann das Werkzeug, das Werkstück oder beides um weitere Achsen rotiert werden, während es sich entlang einer oder aller anderen drei Achsen bewegt. So kann das Werkzeug oder Werkstück auf Arten fixiert oder bewegt werden, die komplexere Geometrien ermöglichen, als sie mit einer 3-Achsen-Maschine erzielt werden können.

Teile mit einer extremen Geometrie wie Turbinenschaufeln, zusammengesetzten oder überhängenden Oberflächen oder mit einer komplexen Innengeometrie sind klare Kandidaten für das 5-Achsen-Fräsen. Die Notwendigkeit, das Drehwerkzeug unter Überhängen arbeiten zu lassen oder Lochmerkmale in jeder beliebigen Richtung anzubringen, erfordert das Hinzufügen leistungsstärkerer Möglichkeiten, als sie eine 3-Achsen-Fräsmaschine bieten kann - oder das Hinzufügen zusätzlicher diskreter Prozesse, um die Arbeit zu verbessern, die die 3-Achsen-Maschine ausgeführt hat.

Drehen

Ursprünglich wurde eine als *Drehbank* bezeichnete Maschine dazu verwendet, runde Teile herzustellen. Das Teil wurde zwischen dem Spindelstock und dem Reitstock auf der Drehbank befestigt und dann gegen ein fixiertes Werkzeug rotiert. Die digitale Fertigungsindustrie hat das Drehverfahren neu definiert. Zur Herstellung runder Teile, besonders solcher mit einem großen Länge-Durchmesser-Verhältnis, wird Drehen zwar immer noch verwendet, doch einige

neuere Maschinen kombinieren die Fähigkeiten einer Drehmaschine mit dem 3-Achsen-Fräsen mit angetriebenen Werkzeugen.

Wenn Sie immer noch nicht sicher sind, für welche Teile sich das Drehen lohnt, betrachten Sie einige Haushaltgegenstände. Ein Bierglas mit seiner geraden, regelmäßigen Form und einer Länge, die mehrfach größer ist als der Außendurchmesser, ist eine unkomplizierte Aufgabe für eine Drehmaschine. Nicht jedoch für eine Fräsmaschine. Eine Kaffeetasse wiederum mit ihrem vorstehenden Henkel und einem fingergroßen Loch könnte nicht durch Drehen hergestellt werden. Da muss schon eine Fräsmaschine her.

Die 2-Kilo-Hanteln, die im Schrank verstauben, könnten ziemlich leicht auf einer Drehmaschine gedreht werden. Der breitere relativ tiefliegende zurückgesetzte Bereich, wo die Hand die Stange ergreift, kann mittels eines einfachen Nutendrehprozesses angebracht werden - etwas, das mit einer Fräsmaschine schwer zu erzielen wäre.

Bei einer Untertasse wäre beides möglich. Das Einfügen der konzentrischen Erhöhungen und gekrümmten Flächen ist gleichermaßen auf einer Fräsmaschine wie auf einer Drehmaschine möglich. Allerdings wäre es sicherlich schneller und effizienter hinsichtlich des Materialverbrauchs, die Untertasse zu drehen.



Möglicherweise werden Sie feststellen, dass gedrehte Oberflächen glatter und runder sind als ihre gefrästen Gegenstücke. Gefräste Flächen können sichtbare Werkzeugmarkierungen aufweisen, die Sie perlstahlen können, um der Oberfläche ein mattes Finish zu geben und kleine Grate zu beseitigen, die nach der maschinellen Bearbeitung zurückbleiben.

Designerwägungen für die maschinelle Bearbeitung

Die CNC-Bearbeitung ist eine zuverlässige digitale Fertigungslösung, doch wie bei allen Fertigungsverfahren gibt es einige Designerwägungen, die berücksichtigt werden müssen, damit Sie die bestmöglichen Teile planen können.



Achten Sie auf die Details. Es ist einfach, sich auf die grundlegenden Formen und Merkmale eines Teils zu konzentrieren, wenn man überlegt, wie es mittels eines digitalen Fertigungsverfahrens hergestellt werden könnte. Und es gibt Details, die ebenfalls berücksichtigt werden müssen, wenn Sie die CNC-Bearbeitung für ein digitales Fertigungsverfahren in Betracht ziehen.

Gewindebohrungen

Gewindebohrungen werden oft verwendet, damit etwas an den Teilen angebracht werden kann. Diese Arten von Löchern erfordern normalerweise einen sekundären Arbeitsgang und manchmal ist es notwendig, das Teil von der Aufspannvorrichtung zu entfernen und auf eine andere Art einzustellen. Wenn eine große Anzahl von Bohrungen benötigt wird, kann sich deshalb die Bearbeitungszeit verlängern und es kann erforderlich sein, ein anderes Fertigungsverfahren einzusetzen.



Moderne Drehmaschinen, die von digitalen Fertigungsunternehmen verwendet werden, haben oft eine Fräseinrichtung. Das Anbringen einer seitlichen Bohrung oder das Fräsen einer flachen Oberfläche ist kein Problem für sie, solange dies parallel oder senkrecht zur langen Achse des Teils erfolgt. Wenn ein Loch gebohrt werden kann, ist die Maschine sicherlich auch in der Lage, ein Gewinde anzubringen.

Beschriftung von Teilen

Es ist nicht ungewöhnlich, Teile mit dem Unternehmensnamen, einem Logo oder einer Teilenummer zu versehen. Je nach Ihren Anforderungen kann dieser Text erhaben sein oder in die Oberfläche des Teils eingraviert werden. Das Hinzufügen von Text, Logos oder anderen Zeichen kann einen Wechsel der Aufspannvorrichtung oder des Werkzeugs erfordern, was die Bearbeitungsgeschwindigkeit erheblich verzögert. Vor allem aber gibt es Beschränkungen hinsichtlich der Breite, Tiefe und der Detailgenauigkeit, die in einem bestimmten Zeitraum erzeugt werden können. Text im Kleinformat ist bei der digitalen Herstellung oft problematisch. Abbildung 5-1 zeigt ein Beispiel, wie Text in eine Form eingearbeitet werden kann.

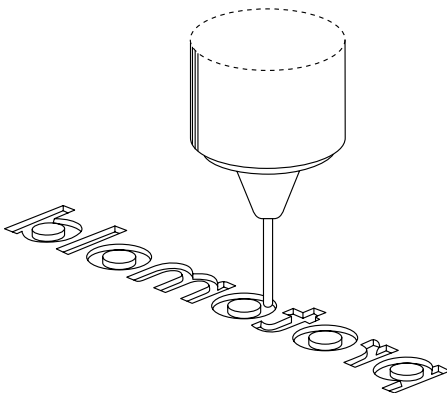


Figure 5-1: Beschriftung.

Materialien

Es gibt die verschiedensten Materialien, die sich für die maschinelle Bearbeitung eignen. Typischerweise reicht diese Auswahl von verschiedenen Kunststoffarten bis hin zu Metallen. Metalle werden gewöhnlich in Hart- und Weichmetalle unterteilt, was von der ausgewählten Art der Legierung oder des Metalls abhängt. Also Stahl, Edelstahl und Superlegierungen einerseits und Messing, Kupfer, Magnesium und Aluminium andererseits.

Hartmetalle, die in der digitalen Fertigung verwendet werden, sind u. a.:

- | | |
|----------------|---------|
| ✓ Kobalt-Chrom | ✓ Stahl |
| ✓ Inconel | ✓ Titan |
| ✓ Edelstahl | |

Zu den Weichmetallen gehören:

- | | |
|-------------|-------------|
| ✓ Aluminium | ✓ Kupfer |
| ✓ Messing | ✓ Magnesium |

Zu den Kunststoffen gehören:

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| ✓ Acetal (POM) | ✓ Polycarbonat (PC) |
| ✓ Acryl (PMMA) | ✓ Polypropylen (PP) |
| ✓ Acrylonitril-Butadien-Styrol (ABS) | ✓ Polyvinylchlorid (PVC) |
| ✓ Nylon (PA) | ✓ Polyetheretherketon (PEEK) |
| | ✓ Polyetherimid (PEI) |

Nach der maschinellen Bearbeitung

Sekundäre Arbeitsabläufe sind nach der Fertigung oft unvermeidlich, besonders bei Metallteilen. Die Wärmebehandlung verbessert die Festigkeit der Teile und beseitigt innere Spannungen, die bei der Bearbeitung des Rohmaterials und bei der Schwerzerspannung entstehen. Kohlenstoffstähle wie 1018 können durch Nitrieren oder Aufkohlen gehärtet werden und 4140 kann durch Vergütungsmethoden leicht eine Härte von 50 HRC oder darüber erreichen. 17-4 PH kann stark gehärtet werden, ebenso einige Edelstähle der 400er Serie, doch 300er Edelstahl kann nur durch Kaltbearbeitung oder Ziehen durch eine Matrize gehärtet werden. Weichmetalle wie Aluminium und Magnesium werden nie gehärtet, können aber mittels kryoge-

ner Behandlung entspannt oder durch mäßiges Erhitzen gealtert werden.

Das Aufbringen von Metallüberzügen ist ein weiteres häufig verwendetes Nachbearbeitungsverfahren. Aluminium wird oft eloxiert, wodurch es eine kratzfeste Oberfläche in jeder erdenklichen Farbe erhält. Für einen nicht-dekorativen Schutz ist ein chemischer Überzug oder Chromat eine gute Option. Diese Methoden funktionieren auch bei Magnesium, obwohl andere Chemikalien benötigt werden. Kupfer und Messing verfärben sich durch den Kontakt mit Sauerstoff. Daher kann das Material zum Schutz stromlos chemisch vernickelt oder verchromt werden. Edelstahl und Superlegierungen erfordern keinen derartigen Schutz, doch Stahl wird gewöhnlich brüniert oder mit Nickel, Kadmium, Zink und anderen Materialien überzogen. Lackieren ist ebenfalls eine beliebte Option, doch Perlstrahlen oder eine andere Form der Schleifbearbeitung wird empfohlen, um vor dem Lackieren eine saubere, rostfreie Oberfläche zu erzielen.



Maschinell bearbeitete Kunststoffteile erfordern möglicherweise ebenfalls eine Endbearbeitung, doch die verfügbaren Optionen sind begrenzter als bei Metallteilen.



Wie der Name schon sagt, werden beim Perlstrahlen Partikel wie Glasperlen mittels Pressluft auf das Material zum Glätten scharfer Kanten und Entfernen von Graten gestrahlt. Beim Trommelstrahlen werden kleine Keramik- oder Kunststoffmedien in einem Vibrationsbehälter für denselben Effekt verwendet. Je nach der Bestellmenge und Teilekonfiguration können diese Verfahren die Produktlieferzeiten um einige Stunden bis zu einer Woche oder mehr verlängern. In den meisten Fällen können Kunden ihre Teile sofort danach mit Metall überziehen, lackieren oder eloxieren lassen.



Viele derselben Nachproduktionsverfahren können auch für Teile verwendet werden, die mittels der in Kapitel 4 erläuterten additiven Fertigungsmethoden produziert wurden.

Kapitel 6

Herstellung von Spritzgussteilen

In diesem Kapitel

- ▶ Einführung in das Spritzgießen
- ▶ Die wichtigsten Spritzgussverfahren
- ▶ Einlege-Technik und Umspritzen
- ▶ Designerwägungen beim Spritzgießen
- ▶ Spritzgießen bei verändertem Mengenbedarf

Die meisten Kunststoffteile werden in einem als *Spritzgießen* bezeichneten Verfahren hergestellt. Dabei wird geschmolzener Kunststoff in die Kavität einer Vorrichtung eingespritzt, die als Form bezeichnet wird. Es können jedoch nicht nur Kunststoffteile durch Spritzgießen hergestellt werden. Viele Spritzgussteile werden aus Flüssigsilikon oder Metall gefertigt. Wenn man weiß, wie Spritzgießen funktioniert, ist es einfacher, Teile für dieses Verfahren zu entwerfen. In diesem Kapitel wird das Spritzgussverfahren näher erläutert.

Einführung in das Spritzgießen

Spritzgießen ist ein einfach zu beschreibendes Verfahren, doch wie bei vielen Fertigungsarten kann der Schein trügen. Hinter dem Prozess steckt in Wirklichkeit eine Menge Wissenschaft. Sie müssen mehrere Faktoren berücksichtigen, z. B. wie das Material in die Form fließt, wie sich die Größe und die Form ändern, wenn sich das Material in der Form erhärtet, sowie die Designempfehlungen, die dabei helfen, die Formbarkeit eines Teils zu verbessern.

Das Spritzgussverfahren

Das Spritzgussverfahren kann in einige grundlegende Schritte unterteilt werden:

1. **Das Material schmelzen (verflüssigen).**
2. **Das geschmolzene Material in die Form einspritzen.**
3. **Das geformte Teil abkühlen lassen.**
4. **Das Teil aus der Form nehmen.**
5. **Je nach dem verwendeten Material zusätzliche Bearbeitungsschritte durchführen, um ein fertiges Teil herzustellen (siehe „Metall-Spritzgießen“ später in diesem Kapitel).**

Die zum Spritzgießen verwendete Ausrüstung

Obwohl es Unterschiede zwischen der für verschiedene Spritzgussverfahren verwendeten Ausrüstung gibt, sind die Pressen unabhängig vom Verfahren einander sehr ähnlich. In der Presse befindet sich eine Einheit für das Material, eine Vorrichtung zum Erhitzen und Verflüssigen des Materials, ein Hochdrucksystem, um das Material in die Form zu spritzen und die Form selbst.



Beim Spritzgießen werden die Begriffe *Form* und *Werkzeug* oft austauschbar benutzt, da die Form dem Fertigprodukt letztendlich seine Form verleiht. Einer der Unterschiede zwischen dem traditionellen Spritzgießen und der Art, in der Spritzgießen oft als Expressverfahren in der digitalen Fertigung eingesetzt wird, ist das für die Form verwendete Material. Traditionellerweise werden Formen aus Stahl hergestellt. Diese sind für die Großproduktion vorgesehen und sind teuer in der Herstellung. Digitale Fertigungsunternehmen wie Proto Labs stellen Formen gewöhnlich aus Aluminium anstatt Stahl her. Auf Grund dieses Unterschieds sind die Formen meist für die Kleinserienproduktion vorgesehen und können manchmal modifiziert und geringfügigen Designänderungen angepasst werden. Außerdem ist ihre Herstellung weniger kostspielig. Diese digitalen Fertigungsunternehmen sind auch in der Lage, Formen weitaus schneller herzustellen, was die zur Herstellung von maßgeschneiderten Spritzgussteilen erforderliche Zeit erheblich reduziert.

Der Zweck des Spritzgießens

Spritzgießen ist eine Methode zur Herstellung einer größeren Menge identischer Teile, während andere Fertigungsverfahren wie 3D-Druck oder Fräsen für kleinere Mengen eingesetzt werden. In den meisten Fällen (doch nicht immer) werden zuerst Prototypen mittels eines dieser anderen Verfahren hergestellt. Durch Spritzgießen kann das geprüfte Teil dann wirtschaftlicher und in größeren Mengen produziert werden.

Die wichtigsten Spritzgussverfahren

Spritzgießen umfasst mehrere unterschiedliche Prozesse, bei denen verschiedene Materialarten verwendet werden.

Thermoplast-Spritzgießen

Thermoplast-Spritzgießen ist ein häufig eingesetztes Verfahren, das eine unglaubliche Materialauswahl bietet. Die mit diesem Verfahren hergestellten Teile sind so verbreitet, dass man ihnen im Alltag ständig begegnet.

Das Kunststoffgranulat (und manchmal mit einem Farbstoff oder einem anderen Zusatzstoff) kommt in einen Trichter und in eine Trommel, wo alles vor dem Einspritzen in die Form geschmolzen wird. Wenn die Mischung vollständig geschmolzen ist und die Zusatzstoffe sich damit vermischt haben, öffnet sich ein Ventil und der Kunststoff wird in die Kavität der Form eingespritzt. Es können mehrere Teile gleichzeitig in einer einzigen Form erzeugt werden. Dazu werden Angusskanäle benutzt, die mehrere Kavitäten miteinander verbinden (diese werden *Mehrkavitäten-Werkzeuge* genannt, wenn alle Teile in einer Form identisch sind, oder *Familienwerkzeuge*, wenn die Teile unterschiedlich sind).

Weitere Informationen zum Thermoplast-Spritzgießen finden Sie in dem Buch *Injection Molding Part Design For Dummies* (John Wiley & Sons, Inc.).

Spritzgießen mit Flüssigsilikon (LSR)

LSR-Teile entstehen durch Vermischen eines gekühlten Silikonmaterials mit einem Härter und Einspritzen der Mischung in eine erwärmte Form. Die Wärme in der Form beschleunigt die chemische Reaktion, durch die das Teil ausgehärtet wird. Das Material hat anfangs eine geringe Viskosität, die mit Wasser vergleichbar ist, und erlangt während des Prozesses eine „Gummiartigkeit“ (*Durometer*) in einem Bereich zwischen etwa 20 bis 80 auf der Shore-A-Skala.

LSR kann konstant hohen Temperaturen von bis zu 316 °C und periodischen Temperaturen von 371 °C standhalten. Wer mit normalen Thermoplasten näher vertraut ist, mag es verwunderlich finden, dass ein gummiartiges Material in Anwendungen mit sehr hohen Temperaturen eingesetzt werden kann. LSR ist jedoch genau dafür vorgesehen, dieser Hitze zu widerstehen. Im Gegensatz zu Thermoplasten, die sich beim Erhitzen erweichen, werden Duroplaste wie LSR in ihren verschiedenen Formen bei hohen Temperaturen eingesetzt und können Temperaturen standhalten, bei denen Thermoplaste schmelzen würden. Dadurch eignen sie sich gut für zahlreiche Automobil- und Industrieanwendungen sowie für medizinische Produkte, die bei hohen Temperaturen sterilisiert werden.

Neben hohen Temperaturen kann LSR gewöhnlich auch niedrigen Temperaturen von weniger als -18 °C standhalten und gleichzeitig seine Flexibilität beibehalten. Der genaue Grad der Flexibilität unterscheidet sich je nach der Zusammensetzung, kann aber sehr hoch sein. Es gibt verschiedene Arten von LSR in zahlreichen Farben und Güteklassen, die für optische und medizinische Anwendungen geeignet sind.



LSR hat hervorragende thermische, elektrische und chemische Widerstandseigenschaften, kann aber durch einige Lösungsmittel wie Benzin oder Spiritus zersetzt werden. Es gibt jedoch spezielle LSR-Materialien wie Fluorsilikonkautschuk, die beständig gegen Brennstoffe sind.

LSR ist auch für medizinische Anwendungen zugelassen, bei denen das Material mit der Haut in Berührung kommt. Seine Stabilität sorgt dafür, dass es keinen negativen Einfluss auf die Haut hat oder durch Hautkontakt beeinträchtigt wird. Einige LSR-Klassen kommen in Verbindung mit einer günstigen Fertigungsumgebung für implantierbare Anwendungen in Frage. Auf Grund seiner hydrophoben (wasserabweisenden) Eigenschaften ist es ideal für Wasserbehandlungsanwendungen. Da es flammhemmend ist und beim Verbrennen keine Toxine oder Halogene abgibt, eignet es sich auch für zahlreiche Sicherheitsanwendungen.

LSR-Teile schrumpfen beim Abkühlen, nachdem sie der Form entnommen worden sind. Auf Grund der Flexibilität des Materials kann es vorkommen, dass einige Teile des fertigen Gussteils an einer Formhälfte haften bleiben, sodass das Teil nach dem Öffnen der Form hängenbleibt. Daher werden LSR-Teile gewöhnlich per Hand aus der Form entnommen.

Metall-Spritzgießen

Metall-Spritzgießen (MIM) ist ein Fertigungsverfahren, das Metallteile mit komplexen Geometrien in größeren Mengen erzeugen kann. MIM-Teile haben eine gute Festigkeit, eine hervorragende Oberflächenbeschaffenheit und mechanische Eigenschaften sowie komplexe Formen.

Für MIM werden viele verschiedene Metallpulver verwendet. Edelstahl, das am häufigsten verwendete Material, wird für etwa die Hälfte aller MIM-Anwendungen eingesetzt. Edelstahl 316L wird oft auf Grund seiner Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit verwendet. 17-4 PH Edelstahl ist ein sehr widerstandsfähiges Material, das Nickel, Chrom und Kupfer enthält. Es wird verwendet, wenn eine Kombination von hoher Festigkeit und guter Korrosionsbeständigkeit benötigt wird. Niedrig legierte Stähle sind die zweithäufigste Materialgruppe beim MIM-Verfahren. Diesem folgen Eisen-Nickel-Legierungen und Spezialmetalle wie Titan und Wolfram. Obwohl Aluminium-Rohmaterial verfügbar ist, wird es selten für MIM verwendet. Da Aluminium ein Weichmetall ist, sind andere Metallbearbeitungsprozesse wie maschinelle Bearbeitung oder Guss verbreiteter. Bei Hartmetallen wie Edelstahl oder niedrig legierten Kohlenstoffstählen sind maschinelle Bearbeitung und Guss problematischer und MIM funktioniert möglicherweise besser.



MIM-Teile erfordern im Gegensatz zu Kunststoff-Spritzgussteilen auf Grund des hohen Metallgehalts relativ große Angusskanäle. Formen für MIM-Teile werden gewöhnlich geglättet, damit Teile beim Auswurf nicht an der Form haften bleiben.

Beim MIM-Verfahren sind nach der Formgebung weitere Schritte erforderlich. Sie werden als Entbinderung und Sinterung bezeichnet und erfordern zusätzliche Designerwägungen. Das Teil kommt als *Grünling* aus der Form, d. h., dass es ziemlich zerbrechlich ist und noch ein Bindemittel enthält. Grünlinge müssen bearbeitet werden, um den Großteil des Bindemittels zu entfernen, sodass ein *Braunling* entsteht. Der Braunling muss dann in einem Ofen erhitzt (gesintert) werden, um das verbleibende Bindemittel zu entfernen und ein vollständig dichtes Metallteil zu erzeugen.

Ein MIM-Teil schrumpft während des Sinterns um etwa 20 Prozent. Deshalb müssen MIM-Formen größer sein als das zu produzierende Teil. Das MIM-Teil reagiert während des Sinterungsprozesses auch auf Schwerkraft. Der größte Teil des Polymer-Bindemittels wird während des Sinterns entfernt, sodass nur noch genug Bindemittel übrig bleibt, um die sehr feinen Metallpartikel für den Sinterofen zusammenzuhalten. Während der Sinterungsphase wird das Teil weich, damit das Metallpulver teilweise schmilzt und sich verbindet. Wenn das Teil schrumpft, gleitet ein Teil davon auf die Auflagefläche, um die endgültige Position zu erreichen. Ein ideales radial symmetrisches Teil würde gleichmäßig zu seinem Mittelpunkt hin schrumpfen, sodass sich die äußeren Kanten am meisten bewegen, sich der Mittelpunkt überhaupt nicht bewegt und der Masseschwerpunkt während des Prozesses an derselben Stelle bleibt. Beim Konstruieren von Teilen muss eine ausreichende Abstützung für den Sinterungsprozess berücksichtigt werden, damit die Teile die gewünschte Form beibehalten. Am einfachsten sind Teile zu sintern, die eine gewöhnliche planparallele Oberfläche haben, die auf einem Keramikträger oder Untergrund aufliegen kann. Bei ungestützten Strukturen muss oft eine Supportstruktur durch Spezialvorrichtungen hinzugefügt werden, um ein Verformen des Teils zu mindern oder zu verhindern.

Druckguss

Druckguss ist ein Fertigungsverfahren, bei dem geometrisch komplexe Metallteile erzeugt werden. Dazu wird geschmolzenes Aluminium oder Zink bei hohem Druck in wiederverwendbare Formen (Matrizen) aus hochwertigem Werkzeugstahl eingespritzt. Aluminiumkokillen z. B. werden geschmolzen und in einem Ofen im geschmolzenen Zustand erhalten, bevor sie zur Herstellung eines Gussteils in eine Gießkammer geschöpft und unter hohem Druck in eine Form gefüllt werden. Druckgussmaschinen erzeugen hohe Einspritzdrücke, während die Formhälften zusammengehalten werden, um dem Druck des eingespritzten Materials zu widerstehen, sodass Teile mit einer hohen Dichte hergestellt werden können.



Im Gegensatz zum Metall-Spritzgießen wird beim Druckguss kein anderes Material zum Binden verwendet. Es wird lediglich geschmolzenes Material wie Zink oder Aluminium unter Druck in die Kavität eingeführt. Die entstehenden Teile sind nicht ganz so fest wie jene, die durch CNC-Bearbeitung aus Blöcken derselben Materialien entstehen, doch sie haben viele Einsatzmöglichkeiten und können mittels zusätzlicher Verfahren weiter bearbeitet werden.

Magnesium-Thixomolding

Magnesium-Thixomolding ist ein Verfahren zur Formung vollständig dichter Magnesiumteile, ähnlich den beim Druckguss hergestellten Teilen, doch unter Verwendung einer Spritzgussmaschine. Beim Thixomolding-Verfahren wird Magnesiumgranulat im Zylinder der Presse erhitzt. Ein Schneckenkolben versetzt das Material in einen *thixotropen* Zustand und das Material wird zur Erzeugung des Teils unter hohem Druck in eine Stahlform gepresst. Im thixotropen Zustand verringert sich die Viskosität des Materials, wenn es den durch den Einspritzvorgang verursachten Scherkräften ausgesetzt ist. Das Material mit geringer Viskosität kann komplexere Formen mit dünneren Wänden füllen als jene, die beim Druckgussverfahren verwendet werden. Magnesium-Thixomolding erzeugt feste, leichte Magnesiumteile, die ihre detaillierten Merkmale beibehalten und dünne Wände haben können.

Im Gegensatz zu den beim Kunststoff-Spritzgießen im Expressverfahren verwendeten Aluminiumwerkzeugen wird ein Thixomolding-Werkzeug aus Werkzeugstahl mittels einer Kombination aus CNC-Fräsen und CNC-Erodieren (EDM) hergestellt.



Das Angusskanal- und Entlüftungsdesign ist sehr wichtig für die richtige Formung des Teils. Das Teil muss sich gleichmäßig und ohne übermäßige Wirbelung füllen können. Etliches vom Material wird ganz durch das Teil und in das Entlüftungssystem hinausgedrückt. Die Teile füllen die Form mit hoher Geschwindigkeit und werden schnell fest. Nach der Verfestigung werden die Teile aus der Presse ausgestoßen und der Zyklus wiederholt sich.

Nach dem Entformen werden die Teile einzeln in ein Angussentfernungssystem geladen. Beim schnellen Thixomolding besteht dieses System aus einer oder mehreren Vorrichtungen, die das Teil in einer CNC-Fräsmaschine halten. Das Angussentfernungssystem entfernt die Überreste von Anguss und Entlüftungen und führt alle erforderlichen sekundären Bearbeitungsprozesse durch, die beim Formungsprozess nicht gebildet werden konnten (zum Beispiel Innengewinde).



Magnesium wird oft verwendet, um das Gewicht von Teilen in Automobil- und Luftfahrtanwendungen zu reduzieren.

Einlege-Technik und Umspritzen

Manchmal können Spritzgussteile durch Prozesse verbessert werden, die als Umspritzen und Insert-Technik bekannt sind. Im Wesentlichen werden die Teile durch diese Prozesse modifiziert und optimiert.

Umspritzen

Umspritzen ist ein Verfahren, bei dem einem Spritzgussteil in einer zweiten Form ein weiteres Material hinzugefügt wird. Wenn Sie jemals eine Zahnbürste mit einem gummierten Überzug auf dem Kunststoffgriff benutzt haben, hatten sie es mit einem umspritzten Teil zu tun. Bei großen Mengen kann dies in einer Spezialpresse erfolgen (2-Stufen-Presse), bei der eine Hälfte der Form gewechselt werden kann und beide Materialarten eingespritzt werden können.

Umspritzen wird für viele Anwendungen eingesetzt (oft für Handgeräte), darunter medizinische Geräte, Teile mit Komfortgriffen wie Pinsel und verschiedene andere Arten von Handgriffen. Je nach Bedarf können für das Umspritzen harte oder weiche Kunststoffe verwendet werden. Ein weiches Material wird meist verwendet, um ein besseres Griffgefühl zu erzielen, während ein hartes Material das Teil stärken und schützen kann. Umspritzen wird auch verwendet, um eine integrierte Dichtung an einem Teil zu erzeugen, das in einer Baugruppe anderer Kunststoffteile verwendet werden soll.



Da Umspritzen einen Bindungsschritt beseitigt, der anderenfalls nötig wäre, um einzelne Teile miteinander zu binden, reduziert dieser Prozess oft die Gesamtkosten für die Fertigung des Teils. Darüber hinaus sind umspritzte Teile gewöhnlich stärker als zusammengesetzte Teile, die durch Kleben miteinander verbunden werden müssen. Umspritzen sorgt auch für die korrekte Ausrichtung des zweiten Materials.

Einlege-Technik

Anstatt ein weiteres Element an der Außenseite eines gegossenen Teils hinzuzufügen, bringt die *Einlege-Technik* etwas in das gegossene Teil ein. Ein gutes Beispiel für ein solches Teil ist ein Kunststoffgriff mit einem Metalleinsatz, der auf einen Schaft passt. Ein weiteres Beispiel ist ein Gewindeeinsatz aus Metall, der es ermöglicht, ein Teil an eine Halterung zu schrauben.



Durch Einlege-Technik hergestellte Teile sind nicht nur oft fester als andere Arten von Teilen, sondern sind oft auch preiswerter in der Herstellung, da keine Klebstoffe oder andere Befestigungsmittel erforderlich sind.

Designerwägungen beim Spritzgießen

Spritzgießen erfordert seine eigenen besonderen Designrichtlinien, die ich in diesem Abschnitt behandeln werde.

Formschräge

Spritzgussteile müssen aus der Form genommen werden, nachdem der Formprozess abgeschlossen ist. Ohne das entsprechende Design kann das Ausstoßen des Teils jedoch schwierig sein. Ein Teil mit tiefen, geraden Wänden tendiert zum Beispiel dazu, in der Form steckenzubleiben anstatt einfach herauszuspringen. Deshalb sind Eiswürfel keine echten Würfel – sonst könnte man sie nicht aus dem Eiswürfelbehälter entfernen.

Eine Lösung, um das Entnehmen von Formteilen zu erleichtern, besteht darin, sie so zu entwerfen, dass sie eine *Formschräge* (eine Verjüngung) an den Seiten haben. Eine Formschräge erleichtert das Entnehmen des Teils aus der Form und ist besonders beim Spritzgießen wichtig, wo es am praktischsten ist, das Teil mittels Auswerferstiften auszustößen. Abbildung 6-1 illustriert die Formschräge beim Spritzgießen.

Mit Formschräge

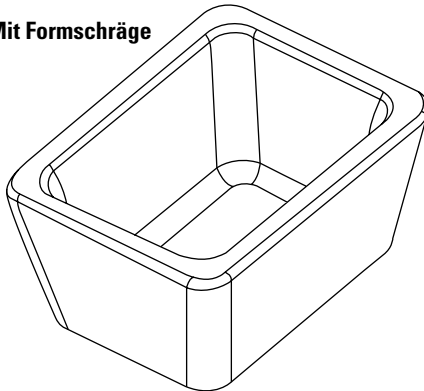


Abbildung 6-1: Beispiel für eine Formschräge beim Spritzgießen.

Der Winkel der Formschräge, der erforderlich ist, um das Teil leicht aus der Form zu stoßen, unterscheidet sich je nach dem verwendeten Material, der Oberflächentextur der Form und der Teiltiefe. Glattere Teile benötigen zum Beispiel einen geringeren Winkel als Teile mit einer starken Strukturierung.

Wandstärke

Da die meisten im Spritzgussverfahren hergestellten Teile mehr oder weniger hohl sind, müssen Wände hergestellt werden, um Außen- und Innenflächen zu produzieren, die als Stützen dienen. Je nach Material und Höhe der Wand gibt es bestimmte Einschränkungen in Bezug darauf, wie dünn diese Wände sein können. Wenn eine Wand zu dünn ist, kann es sein, dass sie sich nicht richtig füllt, bevor das Material beginnt, sich zu verfestigen. Dies kann Lücken verursachen und sogar dazu führen, dass sich Teile der Form überhaupt nicht füllen. Wenn die Wände zu dick sind, können sie die Form des Teils oder Flächen an kritischen Stellen deformieren.

Wenn Sie also die Dicke der Wände ändern müssen, sorgen Sie dafür, dass die Übergänge gleichmäßig sind, um die Spannungen an den Wänden zu begrenzen und Unterschiede in der Schrumpfrate beim Abkühlen des Materials so gering wie möglich zu halten. Siehe Abbildung 6-2. Scharfe Ecken verursachen ebenfalls Spannungserhöhungen im Teil und sind potenzielle Schwachstellen.

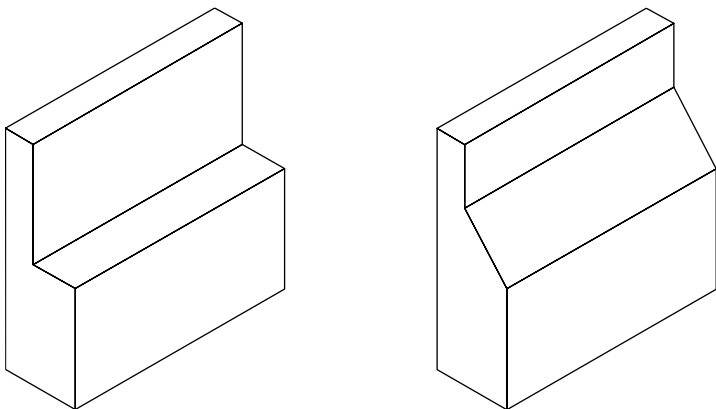


Abbildung 6-2: Die Änderung der Dicke einer Fläche muss mit einem Übergang erfolgen.



Alle beim Spritzgießen verwendeten Materialien schrumpfen beim Abkühlen und die Teile kühlen von außen nach innen ab. Wenn sich eine besonders große Materialmenge in einem bestimmten Abschnitt des Teils befindet, kann der Abkühlprozess dazu führen, dass ein Teil der Außenfläche deformiert wird und unter die umliegende Fläche sackt, was den Eindruck erweckt, dass ein Bereich des Teils verbeult oder eingesunken ist. Eine gleichmäßige Wandstärke und die Verwendung von Wänden anstatt abgetrennter Bereiche können die Qualität verbessern und durch Einsinken verursachte Probleme reduzieren.

Radien

Scharfe Innenecken in einem Kunststoffteil verursachen Spannungskonzentrationen und können zum Bruch des Teils führen. Ein entsprechend entworfenes Spritzgussteil hat einen Radius an jeder Innenecke. Das CNC-Fräsverfahren kann auch einen Radius an Außenecken des Teils erzeugen. Abbildung 6-3 illustriert die Radien.

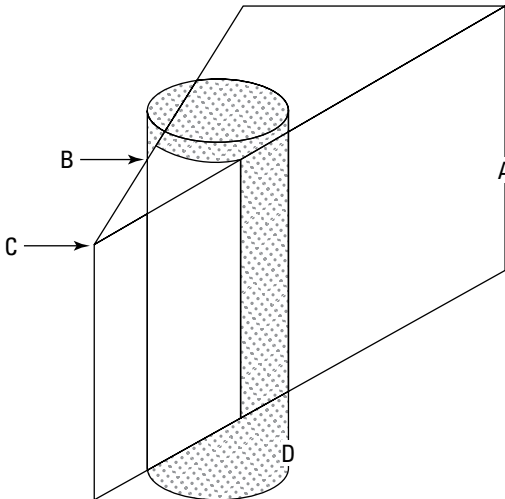


Abbildung 6-3: Die Radien an einem Spritzgussteil.



Die Größe des Radius ist wichtig. Es ist günstig, einen Innenradius zu haben, der der Dicke der damit verbundenen Wand entspricht. Bei einer gleichmäßigen Wandstärke kann diese Faustregel einfacher angewandt werden.

Siehe <http://www.protolabs.de/injection-molding/fundamentals-of-molding> für weitere Informationen zu

Designerwägungen beim Spritzgießen.

Spritzgießen bei verändertem Mengenbedarf

Gute Produkte können theoretisch mit einem kontinuierlichen Wachstum rechnen – in Bezug auf ihre Entwicklung, den Marktanteil und in vielen Fällen die Produktionsmenge. Für einige Unternehmen sind Produktionsmengen von Zehntausenden Teilen ausreichend, um ihre Produkte vom Wachstum zur Reife zu bringen. Andere benötigen einen Hersteller, der größere Mengen bereitstellen kann (und wahrscheinlich Stahlwerkzeuge für das Spritzgießen), um die für die Marktnachfrage benötigte Produktionskapazität zu erreichen. Wenn ein Produkt schließlich den Gipfel seines Lebenszyklus erreicht hat, kann der Abstieg allerdings ebenso schwierig sein. Anstatt riskante Kapitalinvestitionen in die Großproduktion zu tätigen, die zu hohen Bestandskosten führen, wird die Just-in-Time-Fertigung (JIT) regelmäßig während der Rückkehr zur Kleinserienproduktion verwendet, wenn ein Produkt in die Veralterungsphase übergeht.

Der Entwicklungspfad eines Produkts ist nicht immer so einfach wie eine traditionelle Glockenkurve, die bis zu einer gewissen Höhe ansteigt und dann wieder abfällt. Ob gezielt angesteuert oder unvorhergesehen – auf dem Weg müssen Höhen, Tiefen und Plateaus bewältigt werden. Die Zusammenarbeit mit zuverlässigen Fertigungspartnern und die richtige Verwendung von Spritzgussressourcen sind wichtige Schlüssel zum Produkterfolg.

Kapitel 7

Zehn Gründe, warum Sie mit Proto Labs bessere Produkte erhalten

.....

In diesem Kapitel

- ▶ Schnelle Reaktion auf Ihre Anforderungen
 - ▶ Zugang zu bester Technologie
 - ▶ Teilekosten und Designfragen
 - ▶ Eine umfassende Materialauswahl
 - ▶ Zusammenarbeit mit echten Experten
 - ▶ Auf Sie zugeschnittene Fertigungsdienstleistungen
 - ▶ Globale Präsenz – immer erreichbar
 - ▶ Möglichkeit, die Produktion nach Bedarf zu verringern oder zu erweitern
 - ▶ Umfassende Ressourcen
 - ▶ Hochwertige Produktionsteile
-

Dieses Kapitel führt zehn Gründe auf, warum die Zusammenarbeit mit dem richtigen digitalen Fertigungspartner so wichtig ist.

Fertigung im Expressverfahren

Heute zwingt Sie der Marktdruck in zunehmendem Maße, schnell zu handeln. Wenn Sie Wochen oder Monate warten müssen, bis Ihre Teile fertig sind, könnten Sie die Möglichkeit verpassen, Ihr Produkt schnell genug auf den Markt zu bringen, um Ihren fairen Marktanteil zu erhalten.

Proto Labs ist in der Lage, die von Ihnen benötigten Teile schnell herzustellen, damit Sie Ihr Produkt viel schneller auf den Markt bringen können, als es mit den meisten traditionellen Fertigungsverfahren möglich ist. In vielen Fällen kann Proto Labs Ihr 3D-CAD-Modell in nur wenigen Tagen von einer Idee in ein physisches Teil verwandeln. Dieser Prozess ist in Abbildung 7-1 dargestellt. Nachdem Sie die Möglichkeit hatten, das Design zu überprüfen, zu validieren und möglicherweise zu modifizieren, können Sie mit einem Verfahren wie dem Spritzguss zur Kleinserienfertigung übergehen.

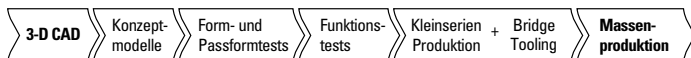


Abbildung 7-1: Der typische Produktentwicklungsprozess vom Prototypen zur Produktion.

Dieser schnelle Übergang vom Prototypen zur Produktion kann dafür sorgen, dass Sie Ihr Produkt vor Ihren Konkurrenten auf den Markt bringen können.



Mit Proto Labs erhalten Sie:

- ✓ Versand von Spritzgussteilen innerhalb 1 bis 15 Arbeitstagen
- ✓ Versand von CNC-Teilen oft schon am Tag der Bestellaufgabe
- ✓ Versand von 3D-Druckteilen innerhalb 1 bis 3 Arbeitstagen

Fortschrittliche Technologie

Die digitale Fertigung hat sich im letzten Jahrzehnt erheblich weiterentwickelt, hauptsächlich durch die in der Computertechnologie erzielten Fortschritte. Wenn ein 3D-CAD-Modell an Proto Labs hochgeladen wird, erhalten Sie innerhalb eines Arbeitstages ein interaktives Angebot. Wenn Ihr Teil zur Fertigung bereit ist, werden digitale Anweisungen an automatisierte Maschinen weitergeleitet, die mit der Herstellung Ihrer Teile beginnen.

Die Technologie hinter dieser virtuellen Interaktion ist eine komplexe Software, die auf leistungsstarken Computerclustern betrieben wird und die die Grundlage für das Angebotssystem und die Fertigung bildet. Durch die Verwendung eines Unternehmens, das technologische Fortschritte in der Automatisierung und Fertigung in seine Prozesse integriert, können Sie bessere Produkte schneller erhalten.



Ein großer technologischer Vorteil von Proto Labs sind die hochentwickelten, leistungsfähigen dedizierten Computersysteme des Unternehmens, die Ihre 3D-CAD-Modelle schnell analysieren können. Diese Systeme sind speziell darauf ausgerichtet, schnelle Ergebnisse zu erzielen.

Automatisiertes interaktives Angebotssystem

Wenn Sie Ihr 3D-CAD-Modell an Proto Labs hochladen, können die Systeme von Proto Labs schnell die Kosten einschätzen, die zur Herstellung der Teile erforderlich sind, und eine Machbarkeitsanalyse zur Verfügung stellen. Sie finden nicht nur heraus, wieviel Ihre Teile bei unterschiedlichen Fertigungsprozessen, Materialien und Produktionsmengen kosten würden, sondern die Analyse wird auch potenzielle Probleme in Ihrem Design hervorheben, bevor die Herstellung beginnt.



Da Proto Labs in der Lage ist, Teile auf so viele unterschiedliche Arten herzustellen, können Sie das beste Verfahren für Ihre Anforderungen auswählen. Sie erhalten innerhalb von 24 Stunden nach dem Hochladen Ihres 3D-CAD-Modells ein automatisiertes Angebot mit Preisinformationen und einer Machbarkeitsanalyse. In manchen Fällen stellt Proto Labs sogar eine vorgeschlagene Überarbeitung Ihres CAD-Modells mit integrierten Designänderungen zur Verfügung, die Sie auf Wunsch verwenden können.

Große Materialauswahl

Unterschiedliche Teile benötigen unterschiedliche Materialien. Manchmal kann sogar ein einziges Teil unterschiedliche Materialien erfordern, während es vom Prototypen zum Produktionsteil übergeht. Sie brauchen einen digitalen Fertigungspartner mit einer entsprechenden Auswahl an Materialien und mit der Fähigkeit, das beste Material für das jeweilige Fertigungsverfahren vorzuschlagen.

Wie in Kapitel 3 erwähnt, kann das in der digitalen Fertigung verwendete Material von Kunststoff und kunststoffartigen Materialien über Flüssigsilikon bis zu Metallen reichen. Einige dieser Materialien werden nur in bestimmten Herstellungsverfahren eingesetzt, doch andere können (in unterschiedlichen Formen) in mehr als einem Prozess verwendet werden.

Zugang zu Expertenwissen

Kein Buch und keine Anleitung kommen dem erfahrenen Rat eines Experten oder Fachmanns nahe. Es ist zwar gut und lobenswert, Richtlinien zu befolgen, doch wenn Sie noch nicht viele Erfahrungen auf dem Gebiet der digitalen Fertigung haben, besteht das Risiko, dass Sie die falschen Richtlinien für Ihr Design anwenden.

Sie sollten mit Menschen zusammenarbeiten, die Ihnen dabei helfen können, Ihr Design und Ihre Anforderungen zu bewerten. Experten können Ihnen Informationen liefern, die Ihnen eine andere Perspektive darauf geben, welche Regeln für Ihre spezielle Situation gelten. Die Software von Proto Labs führt zwar einen Großteil der anfänglichen Designanalyse durch, doch menschliche Experten können das Design für die Fertigung weiter optimieren.



Selbst wenn Sie über Erfahrungen in der Fertigung verfügen, können die Experten von Proto Labs Ihnen eine neue Sicht auf Ihre Situation vermitteln und Ihnen dabei helfen, alles auf eine neue Weise zu betrachten. Digitale Fertigungsprozesse und die Verfügbarkeit von Materialien verändern sich ständig, und es ist von unschätzbarem Wert, Menschen an der Seite zu haben, die Tag und Nacht über diese Themen nachdenken.

Breite Palette an Fertigungsdienstleistungen

Während der Entwicklungsphase ist es am besten für die Produktion, wenn ein Großteil der Fertigung an einem Ort ausgeführt wird – von einem Unternehmen, das Sie wirklich dabei unterstützt, eine Idee innerhalb von Wochen vom Konzept zu Tausenden von Teilen zu bringen.



Sie sollten nach einem Hersteller suchen, der mehrere interne Fertigungsverfahren wie Spritzguss, maschinelle Bearbeitung und 3D-Druck anbieten kann, da jeder Prozess einem bestimmten Zweck dient. Es ist einfacher, sich auf einen einzigen Hersteller verlassen zu können, während das Teil den Prozess von der Prototypenerstellung zu Form-, Passform- und Funktionstests bis zur Kleinserienproduktion durchläuft, die die Lücke zur Großproduktion überbrückt.

Die Vielseitigkeit der Fertigungsprozesse bei Proto Labs erlaubt es Ihnen, einen Großteil und möglicherweise Ihre gesamte digitale Fertigung von einem einzigen Dienstleistungsanbieter durchführen zu lassen, und wenn die Zeit gekommen ist, anderswo mit der Großproduktion von Hunderttausenden von Teilen zu beginnen, haben Sie bereits fertige Teiledesigns.

Globale Präsenz

Für jene, die digitale Fertigungsdienstleistungen außerhalb von Europa benötigen, ist es wichtig, ein Unternehmen mit globaler Erfahrung auszuwählen. Proto Labs versendet Teile nicht nur in viele Länder der Welt, sondern hat auch Produktionseinrichtungen in den Vereinigten Staaten und Japan, um seinen globalen Kundenstamm besser bedienen zu können.

Großbetriebsvorteile

Ein Fertigungsunternehmen mit Hunderten von Maschinen und Pressen, die ununterbrochen, Tag und Nacht, in Betrieb sind, wird Ihnen kaum sagen, dass sich Ihr Projekt auf Grund von Kapazitätsproblemen verzögert hat. Es ist eine wertvolle Fähigkeit, die Unternehmen wie Proto Labs in die Lage versetzt, Ihre Teile, falls nötig, innerhalb weniger Tage fertigzustellen. Wenn Sie mehrere Teile haben, die gleichzeitig hergestellt werden müssen, können größere Einrichtungen diese Teile auch parallel anfertigen, um den Produktionsprozess weiter zu beschleunigen.



Proto Labs hat die Fähigkeit, Teile nach Bedarf herzustellen. Während des Lebenszyklus eines Produkts werden Sie wahrscheinlich Zeiten erleben, in denen es einfach nicht sinnvoll ist, einen hohen Lagerbestand von Teilen zu haben, die möglicherweise nie gebraucht werden. Durch die Möglichkeit, geringe Mengen von Teilen auf Anfrage zu erhalten, können Sie Produktionslücken vermeiden, ohne Kapital an überhöhte Lagerbestände zu binden.

Hochwertige Teile

Nichts kann den Ruf eines Produkts so schnell schädigen wie schlecht hergestellte Teile. Sie wären wahrscheinlich nicht von einem modernen Smartphone mit einer minderwertigen Schutzhülle beeindruckt, die ständig abgeht, oder einem Luxusauto, das billige Materialien für die Sitze verwendet.

Sie brauchen einen digitalen Fertigungspartner wie Proto Labs, der nicht nur Prototypen von hoher Qualität sondern auch technisch hochwertige Produktionsteile herstellt, die in Endanwendungen eingesetzt werden können. Der erste Eindruck ist wichtig und Sie können es sich einfach nicht leisten, dass Ihr Produkt einen schlechten Eindruck macht, weil es dem Kunden kein Gefühl von Qualität vermittelt.

Umfassende Ressourcen



Suchen Sie sich ein digitales Fertigungsunternehmen, das bereit ist, in eine Bibliothek von Bildungsressourcen für seine Kunden zu investieren. Proto Labs hat eine umfassende Liste kostenlos verfügbarer Inhalte und Materialien für Produktdesigner und Techniker zusammengestellt, um damit die Herstellung der bestmöglichen Produkte zu gewährleisten. Zu diesen Ressourcen zählen:

- ✓ Physische Designhilfen, die Spritzgießen und Thermoplastmaterialien erläutern.
- ✓ Detaillierte Unterlagen, die Themen wie 3D-Druck, LSR, und andere komplizierte Prozesse erklären.
- ✓ Design Tipps mit Ratschlägen und Erwägungen zur additiven Fertigung, CNC-Bearbeitung und zum Spritzgießen.
- ✓ Ein regelmäßig erscheinendes Journal, das Industrie-Trends, Fortschritte in der Fertigung und andere Themen behandelt.
- ✓ Referenzberichte, die den Entwicklungsweg von Produkten aus jeder Branche verfolgen.
- ✓ Vollständige *Für-Dummies*-Bücher, die als Pläne für die digitale Fertigung verwendet werden können.

Glossar

Hier ist eine kurze Liste von Begriffen aus der Fertigung, die Ihnen hilfreich sein können.

Abrundung: Eine Kante oder Ecke, die abgerundet wurde.

Abschrägung: Auch bekannt als *Fase*, eine flache, gestutzte Ecke.

Additive Fertigung/3D-Druck: Beide Begriffe werden austauschbar verwendet. Additive Fertigung (3D-Druck) beinhaltet ein CAD-Modell oder den Scan eines Gegenstands, der Schicht für Schicht als physischer dreidimensionaler Gegenstand reproduziert wird. Stereolithographie, selektives Lasersintern, Fused Deposition Modeling (dt. Schmelzschichtung) und direktes Metall-Lasersintern sind einige der häufig eingesetzten additiven Prozesse.

Angetriebene Werkzeuge: Fräsähnliche Bearbeitungsschritte in einer Drehmaschine, bei denen ein rotierendes Werkzeug Material von dem zu bearbeitenden Halbzeug entfernt. Dies ermöglicht die Herstellung von Besonderheiten wie Abflachungen, Nuten, Schlitze und axiale oder radiale Bohrungen in der Drehmaschine.

Anhaften: Ein Problem während der Auswurfphase des Formens, wobei ein Teil in einer der beiden Formhälften hängen bleibt und das Entfernen Schwierigkeiten bereitet. Das Problem tritt häufig auf, wenn das Teil mit einer unzureichenden Formschräge konzipiert wurde.

Auf der Achse liegende Bohrung: Hierbei handelt es sich um eine Bohrung, die konzentrisch zur Drehachse des Drehteils liegt. Es ist ein einfaches Loch in der Mitte am Ende oder am Anfang des Teils.

Auflösung: Der Detailgrad von durch additive Fertigung gebauten Teilen. Prozesse wie Stereolithographie und direktes Metall-Lasersintern ermöglichen eine extrem hohe Auflösung mit kleinsten Besonderheiten.

Auswurf: Die Endphase des Spritzgussverfahrens, bei der das fertigestellte Teil mit Stiften oder anderen Mechanismen aus dem Werkzeug gedrückt wird.

Axiale Bohrung: Eine Bohrung, die parallel zur Drehachse eines Drehteils liegt, jedoch nicht konzentrisch dazu verlaufen muss.

Bauplattform: Die Basis einer additiven Maschine, auf der Teile gebaut werden. Die maximale Größe eines Teils hängt von der Größe der Bauplattform einer Maschine ab.

Braunling: Das Zwischenstadium eines MIM-Teils (Metal Injection Moulding - Metallpulverspritzgießen) nach der Formgebung und Entbinderung, doch vor dem Sintern. Ein Braunling ist porös und zerbrechlich und enthält gerade genug Bindermaterial, um zu verhindern, dass das Teil in Pulver zerfällt.

Brückenwerkzeug: Ein vorübergehendes oder zwischenzeitliches Werkzeug, das so lange zur Herstellung von Fertigungsteilen verwendet wird, bis ein Werkzeug für die Massenproduktion fertiggestellt ist.

CAD: Computer Aided Design (dt. Rechnergestütztes Konstruieren).

Direktes Metall-Lasersintern: Beim DMLS-Verfahren wird ein Lasersystem eingesetzt, das auf ein Bett aus Metallpulver zeichnet und das Pulver zu einem Festkörper verschmilzt. Nach jeder Schicht trägt eine Rakel eine neue Pulverschicht auf und wiederholt den Prozess, bis ein festes Metallteil geformt wurde.

Drehen: Beim Drehverfahren wird Stangenware in einer Drehmaschine gedreht, während ein Werkzeug zum Entfernen von Material und zur Herstellung eines radialsymmetrischen Teils an das Werkstück gehalten wird.

Durometer: Ein Gerät zur Messung der Härte eines Materials. Die Messergebnisse werden auf einer numerischen Skala von niedriger (d.h. weicher) bis höher (d.h. härter) dargestellt. Shore A ist eine solche Skala.

Einsinkungen: Grübchen oder andere Verformungen an der Oberfläche des Teils, die durch unterschiedlich schnelles Abkühlen der verschiedenen Bereiche des Teils entstehen. Häufigste Ursache hierfür ist eine übermäßige Materialstärke.

Einspritzdüse: Das konisch zulaufende Anschlussstück am Ende des Zylinders der Spritzgussmaschine, durch die der Kunststoff in den Anguss gelangt.

Einspritzen: Das Einbringen von geschmolzenem Material in eine Form zum Formen eines Teils.

Endform: Die endgültige erwünschte Form eines Teils, oder eine Form, die vor der Verwendung keine zusätzlichen formgebenden Maßnahmen erfordert.

Entlüftung: Eine sehr kleine Öffnung (0,02 – 0,1 mm) in der Formkapazität, in der Regel an der Formschlussfläche oder über einen Auswerferstiftkanal, durch die beim Einspritzen des Kunststoffes Luft aus dem Werkzeug entweichen kann.

Familienform: Eine Form, bei der mehr als eine Kavität in die Form eingearbeitet wird, um die Herstellung mehrerer Teile aus demselben Material in einem Zyklus zu ermöglichen. In der Regel bildet jede Kavität ein unterschiedliches Bauteil.

Fase: Auch als *Abschrägung* bekannt, eine flache, angeschnittene Ecke.

Feedstock: Das Rohmaterial für den Metallspritzguss, bestehend aus Metallpulver kombiniert mit einem Bindemittel. Feedstock beim Metallspritzguss entspricht dem Kunststoff beim Kunststoffspritzguss.

Finish: Eine bestimmte Art der Oberflächenbehandlung, die an manchen oder allen Flächen des Teils vorgenommen wird. Diese Behandlung kann von einer weichen, polierten Oberfläche bis hin zu einem stark konturierten Muster reichen, das Oberflächenfehler verbergen und dem Teil ein besseres Aussehen oder eine bessere Haptik verleihen kann.

Form mit geradem Rückzug: Eine Form, die nur zwei Hälften verwendet, um eine Kavität zu bilden, in die Kunststoff eingespritzt wird. In der Regel bezieht sich dieser Begriff auf Formen ohne Seitenschieber oder andere spezielle Merkmale als Lösung für Hinterschneidungen.

Formschräge: Eine Verjüngung an den Flächen des spritzgegossenen Teils, die verhindert, dass diese parallel zur Bewegungsrichtung der Werkzeugöffnung verlaufen. Dadurch wird verhindert, dass das Teil beim Auswerfen aus dem Werkzeug beschädigt wird.

Fused Deposition Modeling: Beim FDM wird drahtförmig auf eine Spule aufgewickeltes Material von einem Druckkopf in schrittweisen Querschnittsschichten ausgestoßen, die sich in dreidimensionalen Formen erhärten.

Grünling: Das Zwischenstadium eines MIM-Teils nach der Formgebung und vor Entbindern und Sintern. Im Vergleich zu einem typischen spritzgegossenen Teil ist ein Grünling weich und zerbrechlich, doch wesentlich fester als ein Braunling.

Hinterschneidung: Ein Abschnitt des Teils, der einen anderen Abschnitt des Teils beschattet und so einen Verschluss zwischen dem Teil und einer oder beiden Formhälften bildet. Ein Beispiel hierfür ist ein in die Seite eines Teils gebohrtes Loch, das senkrecht zur Richtung der Formöffnung verläuft. Eine Hinterschneidung verhindert, dass das Teil ausgeworfen wird und/oder die Form sich öffnet.

Initial Graphics Exchange Specification (IGES): Ein häufig verwendetes Dateiformat zum Austausch von CAD-Daten.

Katalytische Entbinderung: Das Entfernen des Binders von einem Grünling (Rohling) unter Verwendung eines gasförmigen Katalysators, wodurch ein Braunling entsteht.

Kehle/Abrundung: Eine gekrümmte Fläche, bei der eine Rippe auf eine Wand trifft; dient zur Verbesserung des Materialflusses und zur Beseitigung mechanischer Spannungskonzentrationen am fertigen Teil.

Kunststoff: Ein Oberbegriff für chemische Verbindungen, die beim Einspritzen ein thermoplastisches Teil bilden. Manchmal einfach „Plast“ genannt.

LSR: Liquid Silicone Rubber. Flüssigsilikon.

Medizinische Verträglichkeit (Medical Grade): Eigenschaft von Kunststoffen, die sich für den Einsatz in bestimmten medizinischen Anwendungen eignen.

MIM: Metal Injection Molding (dt. Metallspritzguss).

Perlstrahlen: Verwendung von Gasperlen oder anderen Schleifmitteln in einem Druckluftstrom zur Erzeugung einer Oberflächenstruktur auf dem Teil.

Porosität: Unerwünschte Hohlräume in einem Teil. Porosität kann sich in vielen Größen und Formen und aus vielen Gründen ergeben. Im Allgemeinen ist ein poröses Teil weniger fest als ein vollständig dichtes Teil.

Presse: Eine Spritzgussmaschine.

Radiale Bohrung: Diese mit angetriebenen Werkzeugen hergestellte Bohrung verläuft senkrecht zur Drehachse eines Drehteils und könnte als seitliche Bohrung angesehen werden. Die Mittellinien dieser Bohrungen müssen nicht unbedingt die Drehachse schneiden.

Schafffräser: Ein Schneidwerkzeug, das bei der CNC-Bearbeitung und anderem Fräsen verwendet wird.

Schichtdicke: Die exakte Dicke einer einzigen additiven Schicht, die lediglich Mikrometer betragen kann. 3D-gedruckte Teile enthalten oft Tausende von Schichten.

Schrumpfrate: Die Veränderung in der Größe des Teils, wenn es sich während des Formungsprozesses abkühlt. Sie wird auf der Grundlage der Empfehlungen des Materialherstellers vorausgesehen und vor der Fertigung in das Formdesign eingearbeitet.

Selektives Lasersintern: Beim SLS-Prozess zeichnet ein CO₂-Laser auf ein heißes Bett aus thermoplastischem Pulver, wo das Pulver zu einem Festkörper gesintert (verschmolzen) wird. Nach jeder Schicht trägt eine Walze eine neue Pulverschicht auf das Bett auf und der Prozess wiederholt sich.

Sintern: Das Erhitzen und Verdichten eines MIM-Teils in einem Spezialofen. MIM-Teile werden bei Temperaturen gesintert, die fast hoch genug sind, um das gesamte Metallteil komplett zu schmelzen, wobei sich die Metallpartikeloberflächen verbinden und ein 96 bis 99 Prozent dichtes Teil erzeugen.

STEP: *Standard for the Exchange of Product Model Data.* Ein gebräuchliches Format zum Austausch von CAD-Daten.

Stereolithographie: SL verwendet einen ultravioletten auf einen kleinen Punkt konzentrierten Laser, um auf einer Oberfläche aus flüssigem Photopolymer (Harz) zu zeichnen. An diesen Stellen verfestigt sich die Flüssigkeit. Dieser Prozess wird in dünnen, zweidimensionalen Querschnitten wiederholt, die geschichtet sind, zum Erzeugen komplexer dreidimensionaler Teile.

STL: Ursprünglich die Abkürzung für "Stereolithographie." Ein gebräuchliches Dateiformat zur Übertragung von CAD-Daten an Geräte der additiven Fertigung. Nicht für das Spritzgießen geeignet.

Textur: Eine bestimmte Art der Oberflächenbehandlung, die an manchen oder allen Flächen des Teils vorgenommen wird. Diese Behandlung kann von einer weichen, polierten Oberfläche bis hin zu einem stark konturierten Muster reichen, das Oberflächenfehler verbergen und dem Teil ein besseres Aussehen oder eine bessere Haptik verleihen kann.

Trennfuge: Die Kante eines geformten Teils, an der sich die Form trennt.

Verformen: Krümmungen oder Biegungen eines Teils beim Abkühlen, die aufgrund der Spannungen durch unterschiedlich schnelles Abkühlen der verschiedenen Bereiche des Teils entstehen. Teile, die mit gefülltem Kunststoff hergestellt werden, können sich auch aufgrund der Art der Ausrichtung der Füllstoffe während des Kunststoffflusses verformen. Füllstoffe schrumpfen häufig in einem anderen Tempo als das Grundmaterial und ausgerichtete Fasern können zu anisotropen Spannungen führen.

Vollständig dicht: Beim Metallspritzguss entspricht vollständig dicht im Allgemeinen der 96- bis 99-prozentigen Dichte eines geschmiedeten, hohlraumfreien legierungsäquivalenten Teils.

Wand: Eine gängige Bezeichnung für die Flächen eines hohlen Teils. Eine gleichmäßige Wandstärke ist wichtig.

Zykluszeit: Die Zeit, die beim Spritzguss für die Herstellung eines Teils notwendig ist, einschließlich Schließen des Werkzeugs, Einspritzen des Materials, des Abkühlprozesses, Öffnen des Werkzeugs und Auswurf des Teils.

Echte Teile, echt schnell!

Wenn Sie jemals vor der Herausforderung standen, ein Produkt in unglaublich kurzer Zeit entwickeln zu müssen, wissen Sie eine schnelle Konstruktion und Herstellung Ihrer Teile sicher zu schätzen. Die Proto Labs Internationale Ausgabe „Digitale Fertigung Für Dummies“ hilft Ihnen bei der Auswahl unter den unterschiedlichen verfügbaren Materialien und Verfahren für die Prototypenherstellung sowie der Kleinserienproduktion. So können Sie schnell hochwertige Produkte auf den Markt bringen.

- **Einführung in die Welt der digitalen Fertigung** – was ist digitale Fertigung und welche Vorteile bietet sie
- **Materialoptionen** – welche Materialien werden beim jeweiligen Fertigungsverfahren verwendet
- **Unterschiedliche Fertigungsverfahren im Vergleich** und wie diese Ihren Anforderungen gerecht werden
- **So finden Sie den richtigen Hersteller** – worauf Sie bei der Auswahl eines Anbieters für digitale Fertigung achten sollten



Auf einen Blick:

- **Warum die digitale Fertigung zuverlässig und schnell ist**
- **Unterschiedliche Fertigungsmaterialien**
- **Wie Sie das Verfahren auswählen können, das sich am besten zur Herstellung Ihrer Teile eignet**
- **Zehn Gründe, warum Sie mit Proto Labs® bessere Teile erhalten**

WILEY END USER LICENSE AGREEMENT

Go to www.wiley.com/go/eula to access Wiley's ebook EULA.