

Werkzeugbau in der Kunststoffverarbeitung

Bauarten, Herstellung, Betrieb
Herausgegeben von Günter Mennig

ISBN-10: 3-446-40778-2
ISBN-13: 978-3-446-40778-7

Leseprobe

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/978-3-446-40778-7>
sowie im Buchhandel

1.6 Rotations- und Slushwerkzeuge

O. Wandres, R. Hentrich

1.6.1 Verfahrensbeschreibung

Für das wirtschaftliche Herstellen von nahtlosen Hohlkörpern aus Kunststoff steht neben dem Blasformen das Rotationsformen (häufig spricht man auch von Rotationsschmelzen) zur Verfügung. Die Ursprünge der Rotation liegen in der Verarbeitung von PVC oder Plasticsolen. Seit der „Industrialisierung“ der Rotation in den 50er Jahren hat sich seit vielen Jahren PE als das am häufigsten verarbeitete Material etabliert. PE ist in verschiedenen Dichten und Qualitäten, trocken eingefärbt oder compoundiert, UV stabilisiert, elektrisch leitfähig und sogar phosphoreszierend erhältlich. Weitere gängige Materialien sind noch immer PVC, aber auch PP, PA 6, PA 12 und PC. Generell sind alle RAL-Farben darstellbar, wobei es auch Spezialmischungen zur Nachahmung von Naturoberflächen, wie Stein, Terrakotta o. ä. gibt.

Der Kunststoff wird in der Regel pulverförmig in dosierter Menge in das ein- oder mehrteilige Werkzeug eingegeben. Bei gegebener Teilegröße und Oberflächen-Geometrie bestimmt die Kunststoffmenge die Wanddicke des Hohlkörpers. Das gefüllte und mittels Spannelementen verschlossene Rotationsformwerkzeug wird auf Werkzeugträgern befestigt, die wiederum mit Maschineneinrichtungen und Antriebselementen verbunden sind.

Wichtigstes und namensgebendes Merkmal des Verfahrens ist, die Werkzeuge um zwei senkrecht aufeinander stehende Achsen langsam zu rotieren. Diese Rotationsbewegungen finden sowohl während des Schmelz- als auch während des anschließenden Abkühlprozesses statt. Nach dem Aufschmelzen des Kunststoffes im luftbeheizten Ofen (bis 350 °C) werden in einer Kühlstation durch Besprühen mit einem Wasser-Luft-Gemisch oder durch Kaltluft Werkzeug und Werkstück auf Entformungstemperatur abgekühlt.

Die Zykluszeit für die Fertigung eines rotationsgeformten Produktes kann in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren ca. zwanzig bis sechzig Minuten betragen. Wichtige Einflussfaktoren sind Art und Größe der Werkzeuge, Leistung der Maschineneinrichtung und Materialwahl und Wandstärke.

1.6.2 Festigkeit eines rotierten Kunststoffproduktes

Während in anderen kunststoffformenden Verfahren an den Außenkonturen des Produktes eher Dünnstellen zu erwarten sind, ist bei rotierten Produkten an Außenkonturen und Radien eher mit Verdickungen der Wandstärke zu rechnen. Dieser Gegebenheit ist es zu verdanken, dass rotierte Produkte in der Regel sehr stabil sind. Um die Steifigkeit eines zu rotierenden Produktes zu erhöhen, kann als einfachste Maßnahme das Einsatzgewicht und damit die Wandstärke erhöht werden.

Neben der Möglichkeit, den rotierten Kunststoffhohlkörper mit PU-Schaum auszuschäumen, besteht auch die Möglichkeit, einen PE-Schaum als zweite Lage direkt in der Form zu rotieren. Hierzu muss ein genau abgestimmter Materialmix, d. h. ein Kunststoffpulver aus zwei Materialien mit unterschiedlichem Schmelzpunkt vorliegen. So wird zuerst eine solide Kunststoffhaut rotiert, bevor dann bei größerer Hitzezufuhr das Treibmittel des zweiten Materials aktiv wird und den Schäumprozess in Gang setzt. Weiter besteht die Möglichkeit, das mit Treibmittel versehene Material erst nach Rotation der ersten Kunststoffschicht in die Form einzubringen. Dies kann entweder durch eine manuell zu bedienende Befüllöffnung geschehen, oder durch den Einsatz einer so genannten Drop-Box. Dieses ist ein gut isolierter Behälter, der an der Formaußenseite angebracht wird und zum gewünschten Zeitpunkt eine Passage zur Form öffnet, um den „zweiten Schuss“ in die Form einzugeben.

Erhöhte Stabilität kann auch konstruktiv mit gezielter Einbindung von Steifigkeitsrippen oder Verknüpfungspunkten zwischen den einzelnen Wänden des Kunststoffproduktes erzielt werden.

1.6.3 Anforderungen an die Werkzeuge

Aus der Verfahrensbeschreibung ist ersichtlich, dass Rotationswerkzeuge während des Produktionsablaufs einer außergewöhnlichen Wechselbeanspruchung ausgesetzt sind. Die Werkzeuge werden dabei auf über 300 °C erhitzt und anschließend auf nahezu Raumtemperatur abgekühlt, und das bei jedem Produktionszyklus.

Diesen extremen Bedingungen muss neben der entsprechenden Werkstoffauswahl insbesondere konstruktiv Rechnung getragen werden. Um mit geringer Wärmemenge auszukommen, müssen die Werkzeuge möglichst dünnwandig und aus gut wärmeleitenden Werkstoffen gefertigt werden. Ferner sind die Verbindungselemente zwischen Werkzeug und Werkzeugträger sowie die Verschlusseinrichtungen zur berücksichtigen. Diese sollen schnell und handhabungssicher zu bedienen sein. Wichtig ist die Dichtigkeit zwischen Werkzeug und Verschluss bzw. bei mehrteiligen Werkzeugen zwischen den einzelnen Werkzeigteilen, denn undichte Stellen führen zum Austritt von Kunststoff, der dann auf der heißen Formaußenwand aufschmilzt. Die dabei entstehende, schwer entfernbare Kruste wirkt wärmeisolierend und beeinträchtigt die gleichmäßige Wärmeübertragung durch die Werkzeugwand, was zu einer unterschiedlichen Wandstärke der Kunststoffprodukte führt. Außerdem sind starke Gratbildungen an den Teilen zu erwarten. Hohe Nacharbeitungskosten sind die Folge.

Die Oberflächenqualität und Kontur des Werkzeughohlraums überträgt sich auf das Aussehen des Formteils. Die Forderungen der Artikelzeichnung in Bezug auf die Ausbildung der Konturen mit eventuellen Hinterschneidungen sowie auf die Oberflächengüte, unter Umständen mit Narbungsstrukturen, beeinflussen wesentlich die Wahl des geeigneten Werkzeugwerkstoffs sowie des günstigsten Herstellungsverfahrens. Auch die verfahrensbedingten, unterschiedlichen Anforderungen beim Verarbeiten von PE, PP, X-PE, PA, PC, PVC (z. B. die Korrosionsprobleme, die durch Chlorwasserstoff bei der Verarbeitung von PVC entstehen) sind in die konstruktiven Überlegungen einzubeziehen.

1.6.4 Nomenklatur Rotationsformwerkzeuge

Die Auslegung eines Rotationswerkzeuges kann bedingt durch die generelle Einfachheit solcher Formwerkzeuge sehr vielfältig sein. Neben dem Einfachwerkzeug (= 1 Produkt wird in einer Form hergestellt), gibt es auch Doppel- oder Mehrfachwerkzeuge (= 2 oder mehr Produkte werden in einer Form hergestellt und nachträglich mechanisch getrennt) und Kombinationswerkzeuge (= verschiedene Produkte können in einem entsprechend umrüstbar gestalteten Rotationswerkzeug hergestellt werden). Zum Beispiel zeigt das Bild 1.6.1 ein solches Kombinationswerkzeug. Dieses Aluminiumguss Rotationswerkzeug kann mit Wechseleinsätzen so umgebaut werden, dass entweder eine BBQ-Donut® Hälfte (Bild 1.6.2) mit Treppeneinstieg oder eine Hälfte mit Motor- und Schirmhalterung rotiert werden kann. Das Werkzeug besteht im gesamten aus 10 Formschalen.

Das Bild 1.6.2 zeigt das konfektionierte Endprodukt, eine schwimmende Grillinsel, den „BBQ-Donut®“. Beide Donuthälften werden im entsprechend umgebauten Kombinationswerkzeug hergestellt. Die aus PE rotierten Hälften, haben eine Abmessung von je $4000 \times 2000 \times 1200$ mm.

Von einem Einzelwerkzeug wird gesprochen, wenn nur ein Werkzeug für ein Produkt hergestellt wird. Übersteigt der Bedarf die Ausbringungsmenge eines Werkzeuges, können identische Folgewerkzeuge hergestellt werden. Für die Herstellung von hohen Stückzahlen empfiehlt sich ein so genanntes Spider-Konzept, bei dem viele Formnester in einem Rahmen fest miteinander montiert werden. Öffnen und Verschließen dieser so verbundenen Einzelwerkzeuge erfolgt dann in einem einzigen Arbeitsschritt und bewirkt eine deutliche Zeitersparnis im Handling.

Der Aufbau eines Rotationswerkzeuges kann 2-teilig, das heißt bestehend aus 2 Formschalen, oder je nach Komplexität auch 3-, 4-, 5-teilig etc. erfolgen (siehe auch Bild 1.6.1). Die Teilig-



Bild 1.6.1: Werkzeug BBQ-Donut



Bild 1.6.2: Produkt BBQ-Donut

keit eines Werkzeuges richtet sich vornehmlich nach der Entformbarkeit des zu rotierenden Kunststoffproduktes. Das bedeutet, das Werkzeug muss so geteilt werden, dass die Abnahme der Formschalen vom Produkt, bzw. die Entnahme des rotierten Kunststoffkörpers aus den Formschalen ohne Beschädigungen möglich ist. Weitere Entscheidungskriterien bei der Auswahl der Werkzeugtrennung, wie die optischen und ästhetischen Ansprüche des Kunden (Sichtbereich), allgemeines Handling der Formhälften, usw. können zusätzliche Formteile erfordern.

1.6.5 Werkzeugarten

Die für die Rotationsproduktion benötigten Werkzeuge können aus verschiedenen wärmeleitfähigen Materialien hergestellt werden, wobei jede Ausführung gewisse Vor- und Nachteile hat. Die Auswahl des jeweils am besten geeigneten Rotationswerkzeuges erfolgt nach verschiedenen technischen Kriterien (Größe, Komplexität, Genauigkeit, Oberflächenstruktur, geplante Stückzahlen, etc.) aber auch nach wirtschaftlichen Faktoren wie Kosten und Herstellungszeiten.

Für das Rotationsformen kommen in der heutigen Industrie in erster Linie Werkzeuge aus Aluminium (Aluguss oder CNC-gefräst) oder aus Stahlblech zum Einsatz. Speziell für das Rotationsformen von PVC Plastisolen haben sich so genannte Galvanoformen etabliert. Daneben gibt es noch eine Reihe verschiedener Werkstoffe, die zumindest für eine Prototypenfertigung eingesetzt werden können.

1.6.5.1 Prototypen-Rotationswerkzeuge

Bedingt durch die hohe Temperaturbelastung bei der Herstellung von rotierten Kunststoffteilen ist es kaum möglich, günstige Prototypenwerkzeuge einzusetzen. Ein Rotationswerkzeug

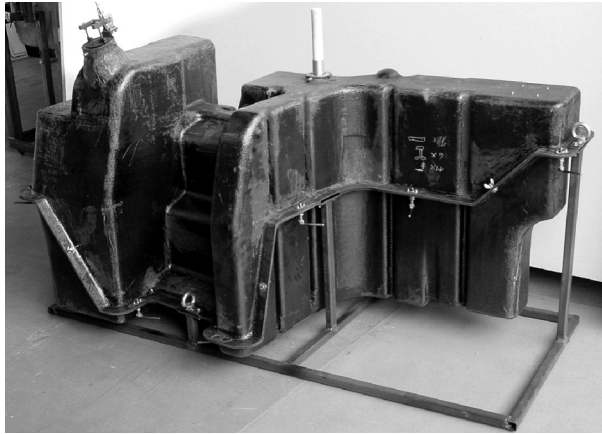


Bild 1.6.3: Prototypenwerkzeug mit Kohlefaserformschalen

muss zum einen eine gewisse Wärmeleitfähigkeit besitzen, zum anderen aber auch den stetigen Wechsel zwischen Aufheizen und Abkühlen verkraften.

Im Prototypenbau werden daher am häufigsten Werkzeuge eingesetzt, deren Formschalen im Metallspritz-Verfahren hergestellt wurden. Bedingt durch den Metallspritzprozess ist dies aber nur bei einfacheren und flachen Konturen möglich. Das aufgespritzte Metall ist vergleichsweise porös und führt zu einer mangelhaften Oberflächenqualität der Kunststoffprodukte. Zudem ist das Metall nur bedingt dem ständigen Temperaturwechsel der Rotationsproduktion gewachsen, wird nach kurzer Zeit spröde und neigt zur Rissbildung.

Eine Alternative im Prototypenformenbau ist die Nutzung von im Autoklavofen hergestellten Kohlefaser-Formschalen. Zwar hat diese Art der Prototypenform den Vorzug, dass nahezu keine Einschränkung bezüglich der Formgestaltung besteht, jedoch steht neben den hohen Herstellungskosten auch die sehr begrenzte Lebensdauer einem breiteren Einsatz im Wege.

Bild 1.6.3 zeigt ein Kohlefaser Prototypenwerkzeug für einen 400 Liter Kraftstoffbehälter, mit vereinfachtem Rahmenaufbau und verschraubten Formflanschen. Die formseitige Einbringung aller benötigten Anbauten wie Tankgeber, Gewindestutzen, Einsätze, etc. ermöglicht das Rotieren von Prototypen in seriennaher Ausführung.

1.6.5.2 Stahlblech-Rotationswerkzeuge

Vornehmlich bei großvolumigen Produkten (Lagertanks) und bei Artikelkonturen mit geringem Schwierigkeitsgrad werden Werkzeuge aus Stahlblech verwendet. Die Wanddicken betragen in der Regel 1,5 bis 4 mm. Dabei werden einzelne Blechteile verschweißt oder verlötet. Nach einer Wärmebehandlung zur Spannungsreduzierung sollten die Werkzeugpassflächen zur besseren Dichtung nachbearbeitet werden. Die Schweiß- oder Lotnähte müssen durch aufwändige Handarbeit nachgeschliffen und poliert werden. Das Ergebnis hinsichtlich der Oberflächenqualität ist dadurch stark von der Geschicklichkeit des Blechners abhängig.

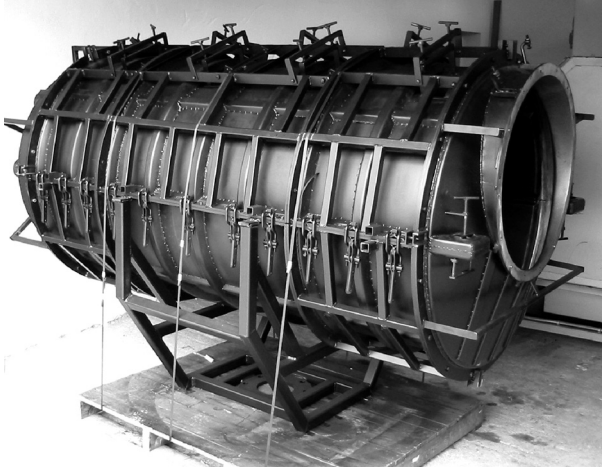


Bild 1.6.4: Stahlblechwerkzeug

Ein Stahlblech-Rotationswerkzeug für die Herstellung eines Inspektionsschachts (Durchmesser 1000 mm, Höhe 2200 mm) ist in Bild 1.6.4 dargestellt. Vor dem Öffnen der Formschalen müssen die 8 anrotierten Treppenstufen, die entgegen der Entformrichtung liegen, über ein Scharniersystem zurückgezogen werden.

1.6.5.3 Aluminium-Rotationswerkzeuge

Diese können entweder aus CNC-gefrästen oder aus gegossenen Aluminiumformschalen bestehen, wobei auch durchaus eine Kombination beider Verfahren möglich ist. Somit lässt sich ein Werkzeug kombiniert aus Aluguss- und CNC-gefrästen Schalen aufbauen. Darüber hinaus können ebenso Formschalen aus verschiedenen Materialien innerhalb eines Werkzeugs verbaut werden, z. B. Alu mit Stahl.

Die Produktionsschritte der beiden Verfahren unterscheiden sich hierbei gravierend. Während für die Herstellung einer nach Daten gefrästen Aluform zuerst die komplette Konstruktion der Formschalen inklusive der Gestaltung der Formtrennung und Flansche erarbeitet werden muss, beginnt die Herstellung einer Gussform oft mit der Erstellung eines Positivmodells (nach Muster, Zeichnung oder 3D-Daten).

CNC-gefräste Werkzeuge werden hauptsächlich dann eingesetzt, wenn die zu zerspanenden Aluminiumblöcke sehr flach, die Herstellungszeit kritisch, oder die geforderten Toleranzen sehr hoch sind.

Für eine wirtschaftliche Rotationsproduktion ist es unerlässlich, die Formschalen auf Wandstärke zu bearbeiten – also beidseitig zu fräsen. Nur so kann eine gleichmäßige und schnelle Wärmedurchdringung der Formwand gewährleistet werden.

Bild 1.6.5 zeigt ein CNC-gefrästes Aluminium Rotationswerkzeug für einen Schachtdeckel (Durchmesser 700 mm) mit gebogenem Stahlrohrrahmen und Handverschlüssen.



Bild 1.6.5: CNC-gefrästes Rotations-Werkzeug



Bild 1.6.6: Aluminiumgießen

Der Einsatz von im Aluminiumguss hergestellten Formschalen ist dagegen bei größeren und tieferen Formschalen oder bei benötigten Folgewerkzeugen von Vorteil. Für die Herstellung von Aluminiumguss-Formschalen müssen zuerst entsprechende Gießformen erstellt werden, die in der Regel aus Sand oder Sand/Keramikformen bestehen. Der Aluminiumgießprozess, wie beispielhaft in Bild 1.6.6 dargestellt, erfolgt von Hand.

Zur Erstellung solcher Gießformen werden entsprechende Negativschalen benötigt, die genau den gewünschten Formschalen entsprechen, also auch schon die benötigten Formflansche enthalten und auf die gewünschte Formwandstärke (in der Regel zwischen 7 bis 12 mm)

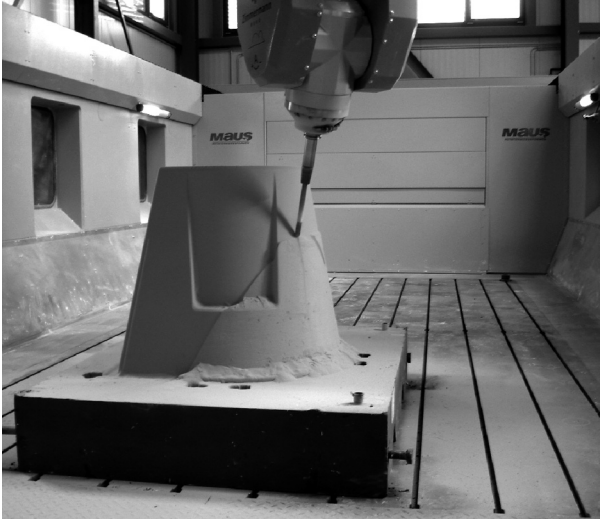


Bild 1.6.7: Sandform-CNC-Bearbeitung

gearbeitet sind. Diese Negativschalen werden entweder direkt nach Daten erstellt, oder von einem zuvor erstellten Positiv Modell abgenommen. Auf das Positivmodell aufgebrachte Strukturen wie Holzmaserungen, Terracotta- oder Steinstrukturen, etc. können durch entsprechende Abformungen direkt in die Gießform und somit in den Aluminiumabguss einfließen.

Je nach Art des Aluminiumgieß-Verfahrens gibt es geringfügige Unterschiede in der Herstellung der Gießformen. Die modernste Art, solche Gießformen herzustellen, ist das CNC-Fräsen aus Sandrohlungen nach zuvor erstellten CAM-Daten. Dies erfordert aber, wie auch bei CNC-gefrästen Werkzeugen, zunächst die aufwändige Konstruktion der Formschalen. Die Konturen der Formschalen können dann aus den Sandformen gemäß den CAM-Daten CNC-gefräst werden. Bild 1.6.7 zeigt die 5-Achs-CNC-Bearbeitung einer Sandgießform für die Herstellung eines Aluminiumguss Rotationswerkzeuges für einen Designer Gartenstuhl, bzw. Loungechair.

Während eine CNC-gefräste Form oft innerhalb von nur etwa fünf bis sechs Wochen hergestellt werden kann, beträgt die standardmäßige Herstellungszeit einer traditionell gegossenen Form ca. acht bis zehn Wochen. Selbstverständlich haben ebenso die Größe und Komplexität der Werkzeuge einen hohen Einfluss auf die Produktionszeit.

1.6.5.4 Galvanoformen

In Falle von Galvanoformen wird ein Modell bis in kleinste Einzelheiten exakt abgeformt (siehe auch Abschnitt 4.3). Das Badpositivmodell, das dem fertigen Artikel entspricht, ist somit Grundlage für das galvanische Herstellen von Rotationswerkzeugen und Slushformen. Bereits hier müssen also alle geforderten Feinheiten wie Oberflächengüte, Maßtoleranzen,

Hautauslauf, Befestigungselemente usw. festgelegt werden. Durch die exakte Abformung ist es z. B. für die Prothesen-Herstellung möglich, Rotationswerkzeuge bereitzustellen, deren Innenkontur eine genaue Abbildung der menschlichen Haut ist. Hier zeigt sich die Präzision der Galvanoformung und die Kunst, geeignete Badmodelle aus gegenüber den Badlösungen resistenten Werkstoffen zu fertigen.

Die Anforderungen an die Modelle werden sehr stark vom Rotations-Verarbeitungsverfahren sowie vom eingesetzten Bauteil-Werkstoff beeinflusst. Für die Bauteile, die in fast allen Anwendungsfällen Hinterschneidungen aufweisen, nutzt man die elastischen Werkstoffe PVC, TPU und TPO. Zusätzlich ist zu beachten, dass im Sichtbereich der Bauteile im Regelfall keine Formteilungs-Markierungen akzeptiert werden. Somit sind einteilige Rotations- und Slush-Werkzeuge Voraussetzung, die mit entsprechenden Öffnungen versehen sind, aus denen die elastischen Bauteile entformt werden können. Auch das Entformen der für das Galvanoformen benutzten Modelle muss häufig durch die kleinen Werkzeug-Öffnungen erfolgen. Deshalb werden hierfür Modellwerkstoffe benötigt, die sich mechanisch oder chemisch zerstören lassen.

Für eine wirtschaftliche Massenproduktion von Puppenteilen und Spielzeugtieren sind mehrere identische Galvanoformen erforderlich. Hierfür werden die Badmodelle wie folgt ausgeführt:

Zunächst ist ein Urmodell aus geeignetem Wachs zu modellieren. Nach diesem Urmodell wird galvanisch eine so genannte Mutterform gefertigt, mit der im Rotationsofen die benötigten Einzelmodelle zum Herstellen der Serienwerkzeuge rotiert werden. Hierbei sind dickwandige PVC-Modelle in harter Einstellung üblich. Sofern erforderlich, können die möglicherweise elastischen PVC-Modelle auf der Innenseite durch Beschichten mit Gießharz oder Wachs stabilisiert werden. Wichtig ist, dass bei der Urmodell-Herstellung nach diesem Modell-Vervielfältigungs-Verfahren der doppelte Materialschwund berücksichtigt werden muss. Zweckmäßig ist es auch, bereits bei den Urmodellen und Mutterformen Verlängerungen, konische Stutzen und ähnliche Ausbildungen vorzusehen, die für das spätere Verschluss-System von Wichtigkeit sind, denn über die PVC-Modelle werden diese Konturen auf die Serienformen übertragen.

Zum Fertigen von Prothesenüberzügen, so genannten „Schmuckhänden“, werden vom menschlichen Unterarm Silikonnegativmodelle abgeformt, in denen dann die Badmodelle entweder aus Wachs oder aus Spezial-Gießharz erstellt werden. Somit ist gewährleistet, dass die feinen Hautporen und Hautstrukturen exakt auf die Galvanoformen übertragen werden.

Zur Unterrichtung in Schulen, Universitäten und Instituten benötigt man naturwissenschaftliche und anatomische Demonstrationsobjekte, die in der Regel im Rotationsverfahren aus hart eingestelltem PVC gefertigt sind. Für die Modellerstellung benutzt man entweder vergrößerte Modellierungen (Bild 1.6.8) oder, beispielsweise bei der Skeletterstellung, Originalknochen. Diese werden in Plastilin eingebettet, um so die notwendige Formtrennung modellieren zu können. Bedingt durch die anatomischen Konturen ist die Trennungsebene im Regelfall gewellt, wird mitgeformt und erhält Fixierungen, wie z. B. Nut und Feder, damit die jeweiligen Werkzeugelemente unverrückbar aufeinander passen. Über Silikonnegativabformungen, die zwei- oder mehrteilig gefertigt werden können, hat der Modellbauer dann



Bild 1.6.8: Badmodell zum Fertigen der Galvanoform für die Herstellung von anatomischen Demonstrationsobjekten (Auge)

die Möglichkeit, zwei- oder mehrteilige Badmodelle aus Epoxidharz abzunehmen, die dann wiederum als Badmodelle Verwendung finden. Auch bei dieser Methode werden die feinsten Knochenstrukturen auf die Innenkontur der Galvanoformen übertragen.

Die jeweiligen Badpositivmodelle werden mit Halterungen versehen, bekommen Kontaktzuführungen und müssen nach sorgfältigem Reinigen durch Aufbringen einer Silberschicht, deren Schichtdicke $< 1 \mu$ ist, elektrisch leitend gemacht werden. Während des Galvanisierens bildet das versilberte Modell die Kathode. Unter Verwendung geeigneter Elektrolyte wird an der Kathode – ähnlich wie bei der bekannten Oberflächen-Galvanisierung – Kupfer oder Nickel in der erforderlichen Wanddicke abgeschieden. Für kleine und mittelgroße Galvanoformen ist eine Wanddicke von 2 bis 3 mm ideal, für Großwerkzeuge je nach Ausführung und Oberflächen-Geometrie bis zu 5 mm Wanddicke. Der galvanische Prozess dauert in Abhängigkeit von der geforderten Wanddicke und der Komplexität der Oberflächen-Geometrie zwischen zwei und acht Wochen. Nach Erreichen der Soll-Wanddicke werden die Halterungen und Kontakte entfernt, das Modell wird entformt, und die Galvanoform liegt als negatives Abbild des Positivmodells vor. Zur Funktionsfähigkeit müssen nur noch Befestigungselemente und Verschlusseinrichtungen angebracht werden.

Ursprünglich wurden galvanisch gefertigte Rotationswerkzeuge ausschließlich in sauren Kupferbädern erzeugt. Die einfache Handhabung der Kupferbäder, die bei Raumtemperatur arbeiten und somit die Benutzung von Wachsmodellen problemlos ermöglichten, und die bekannt gute Wärmeleitfähigkeit des Kupfers sind Vorteile dieses Verfahrens. Da das in sauren Bädern abgeschiedene Kupfer sehr weich ist, können die darin gefertigten Galvanoformen leicht mechanisch beschädigt werden. Ein weiterer Nachteil ist die Gefahr, dass Spaltprodukte von PVC zu Korrosion führen können. Um die Korrosion auszuschalten, erhalten die Galvanoformen aus Kupfer eine chemische Vernickelung der Innenkontur, gegebenenfalls auch der Außenkontur. Diese chemische Vernickelung liegt im Mikron-Bereich und kann im Regelfall in Bezug auf die Werkzeugoberfläche vernachlässigt werden. Allerdings hat die sehr dünne Nickelschicht nur eine begrenzte Standzeit, so dass die Kupfer-Galvanoformen von Zeit zu Zeit neu vernickelt werden müssen.

Um diese Schwierigkeiten auszuschalten und um den Anforderungen der Großserienfertigung der Automobilindustrie gerecht zu werden, ist es heute Stand der Technik, Galvanoformen aus Sulfamatnickel zu fertigen, die höhere Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit garantieren. Während des galvanischen Aufbaus der Sulfamatnickel-Galvanoschalen ist es möglich, örtliche Verdickungen zu erzeugen, z. B. im Flanschbereich von mehrteiligen Werkzeugen für die Befestigung von Spannelementen und dergleichen.

Nicht außer Acht gelassen werden darf die Tatsache, dass Nickel gegenüber Kupfer ein schlechterer Wärmeleiter ist. Hier hat man die Möglichkeit, Formschalen zu erzeugen, die aus 1 bis 2 mm Sulfamatnickel bestehen und anschließend mit Hartkupfer verstärkt werden. Diese Kombination vereint die Vorteile, die der Werkstoff Nickel bietet, mit der guten Wärmeleitfähigkeit des Kupfers.

1.6.6 Werkzeugaufbau

1.6.6.1 Verschließen und Verspannen der Formen

Da das Rotationsverfahren ein druckloses Verfahren ist, müssen die Werkzeughälften nicht, wie bei anderen Verarbeitungsverfahren (z. B. Spritzguss), mit hohem Schließdruck gepresst werden. Sie müssen dennoch während der biaxialen Rotationsbewegung zusammen gehalten werden, um das Austreten des Materials zu verhindern. Deshalb werden die Werkzeughälften entweder verspannt oder verschraubt.

Die kostengünstigste Variante sind mit Schrauben fixierte Werkzeugflansche, jedoch ist zu bedenken, dass bei jedem Zyklus die Schrauben entfernt und nach dem Befüllen wieder angebracht werden müssen. (Zum Beispiel hat das in Bild 1.6.3 gezeigte Prototypenwerkzeug geschraubte Werkzeugflansche, da hier die Zykluszeiten zweitrangig sind.)

Um den Werkzeughälften die nötige Stabilität zu verleihen und damit eine möglichst gleichmäßige Verspannung zu erreichen, wird in der Regel ein Stahlrahmen über den Flanschen montiert. Handspanner, Pneumatikzylinder oder ähnliche Verschlüsse werden an diesen Rahmen fest installiert. Darüber hinaus bietet er einen zusätzlichen Schutz gegen Beschädigung der häufig fragilen, dünnwandigen Formschalen. Die Stahlrahmen können entweder wie in Bild 1.6.5 gezeigt aus gebogenem oder geschweißtem Stahlrohr bestehen, im einfachsten Fall auch aus Flachmaterial.

Zwar ist der Einsatz von pneumatischen Zylindern zum Verriegeln der Werkzeuge möglich, allerdings müssen aufgrund der in der Rotationsproduktion typischen Temperaturen sehr exklusive Materialien (z. B. Dichtungen aus Kalrez®) für die Zylinder verwendet werden, die dann zu sehr hohen Herstellungskosten solcher Spezial-Zylinder führen. Aus diesem Grund ist der Einsatz solcher Verschlüsse meist nur bei Massenprodukten, wie zum Beispiel Blumentöpfen oder Kinderspielzeug, verbreitet. Beispielhaft ist in Bild 1.6.9 ein ringförmiger Spider-Aufbau für 8 Pflanzgefäße mit je 700 mm Durchmesser dargestellt. Innerhalb des 3000 mm großen Spiders erfolgt das Verspannen der Einzelwerkzeuge ausschließlich über spezielle Pneumatikzylinder. Für einen optimierten Wärmetransfer sind hier zusätzlich alle Aluminiumguss Werkzeuge mit sog. Profit PinsTM und einer Beschichtung ausgestattet.



Bild 1.6.9: Werkzeug für Spider-Pflanzgefäße

1.6.6.2 Werkzeugwandstärke und Zentrierung

Verglichen mit den verhältnismäßig dünnwandigen Stahlblechwerkzeugen, deren Wandstärke oft nur 1,5 bis 3 mm beträgt, sind die Wandungen der Aluminiumwerkzeuge vergleichsweise dick. Hierbei werden bei Gusschalen, je nach Qualität des Gussverfahrens, Wandstärken zwischen 7 und 15 mm realisiert. Bei den aus Aluminium Blockmaterial CNC-gefrästen Formschalen hat sich eine Standardwandstärke von 7 mm etabliert. Der hinsichtlich der Wärmeübertragung materialbedingte Nachteil der höheren Wandstärken wird durch die, im Vergleich zu Stahlblech, deutlich bessere Wärmeleitfähigkeit von Aluminium wettgemacht (für Wandstärken von Galvanowerkzeugen siehe Abschnitt 4.3).

Unabhängig vom Material sollte grundsätzlich darauf geachtet werden, dass innerhalb eines Werkzeuges die Wandstärke überall möglichst gleich ist, denn es gilt generell: je gleichmäßiger die Formwandstärke, desto gleichmäßiger die Wandstärke des rotierten Produktes.

Um die Wärmeaufnahme der Aluguss-Formschalen zusätzlich zu verbessern, können die schon genannten Profitpins angegossen werden. An der Formaußenseite vergrößern diese kleinen, kegelförmigen Zapfen die Formoberfläche und sind ein probates Mittel, die Wärmeaufnahme und -abgabe der Formen deutlich zu verbessern. Profitpins können entweder nur partiell für die verbesserte Wärmeaufnahme von Problemzonen oder auch vollflächig angebracht werden. Um so den Produktionsprozess zu verkürzen, sind zum Beispiel auch die in Bild 1.6.9 gezeigten Pflanzgefäße mit solchen Profitpins ausgestattet.

Um das Zusammenlegen der verschiedenen Formschalen aufeinander zu erleichtern und auch um eine möglichst gute Passgenauigkeit zu erzielen, werden auf den Formflanschen Zentrierungen angebracht. In der Regel sind solche Zentrierungen als Stahldübel ausgeführt, wobei auch eine Nut-und-Feder-Zentrierung auf dem Flansch denkbar ist.

1.6.6.3 Werkzeugoberflächen und -änderungen

Wie schon bei Galvanowerkzeugen erläutert, können auch bei Aluminiumgusswerkzeugen Oberflächenstrukturen wie Holzstruktur, Ledernarben, Leinenstrukturen direkt vom Modell übernommen werden, wie im Beispiel des in Bild 1.6.10 gezeigten Aluminiumwerkzeugs für die Herstellung anatomischer Anschauungsmodelle aus PVC.

Neben diesen direkt im Metall erzeugten Oberflächen ist es natürlich möglich, die Metalloberfläche durch entsprechende Nacharbeit zu verändern. Zu den gängigsten Oberflächenbearbeitungen gehört das Verschleifen in verschiedenen Körnungen bis hin zur Hochglanzpolitur und die strahltechnische Oberflächenvergütung durch Sandstrahlen und Kugelstrahlen. Während bei Aluminiumwerkzeugen die Oberflächenstrukturierung mittels Kugelstrahlen zu den gebräuchlichsten Nachbearbeitungsformen zählt, ist dies bei Stahlwerkzeugen verfahrensbedingt nicht möglich.

Speziell bei feinen Oberflächen (geätzte Struktur) ist eine Konservierung und Veredelung der Metalloberfläche durch eine permanente Trennbeschichtung empfehlenswert.

Bedingt durch den vergleichsweise einfachen Aufbau von Rotationswerkzeugen ist eine Änderung oftmals deutlich einfacher durchführbar als zum Beispiel bei Spritzgießwerkzeugen. In der Regel können Änderungen durch Aufschweißen, das Bearbeiten aus der vorhandenen Formwandstärke oder durch Einsetzen von neuen gefrästen oder gegossenen Partien erreicht werden.

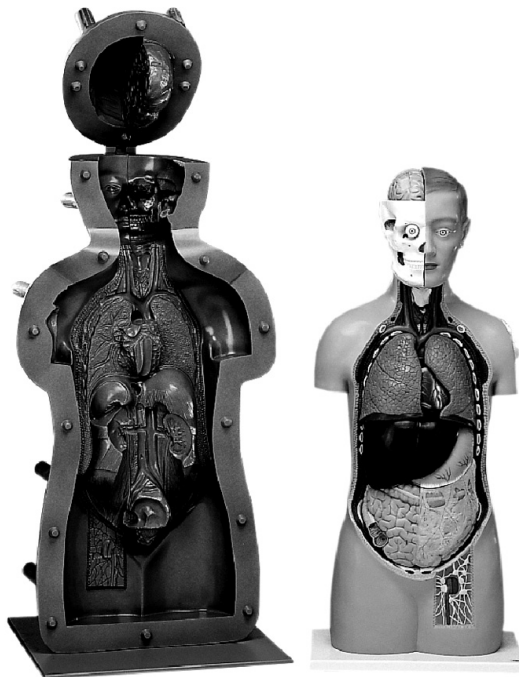


Bild 1.6.10: Werkzeug für und anatomisches Anschauungsmodell