

Kunststoffe

ORGAN DEUTSCHER KUNSTSTOFF-FACHVERBÄNDE

R. Simmonds, Kaarst-Büttgen

Lichtbogen- Metallspritzen zum Herstellen von Werkzeugen

CARL HANSER
VERLAG
MÜNCHEN

Alle Rechte, auch die des
Nachdrucks, der photo-
mechanischen Wiedergabe
dieses Sonderdrucks
und der Übersetzung,
behält sich der Verlag vor.

HEK GmbH
Kaninchenborn 28
23560 Lübeck, Germany
Telefon (0451) 530040
Telefax (0451) 5300450

HEK



Lichtbogen-Metallspritzen zum Herstellen von Werkzeugen

Das Lichtbogen-Metallspritzen findet mehr und mehr Anwendung, um den immer dringender werdenden Bedarf nach einem preisgünstigen und schnellen Verfahren zum Herstellen von Werkzeugen zu befriedigen. Die Verfahrenstechnik und Anwendungen werden beschrieben.

1 Prinzip des Lichtbogen-Metallspritzens

Beim Lichtbogen-Metallspritzen wird der Werkstoff verflüssigt und in sehr heißem Zustand mit speziellen Pistolen, ähnlich dem Farbspritzen, ausgetragen. Das Metall wird mit über 2000 °C aufgeschmolzen und durch Zufuhr von Luft in kleine Partikel zerstäubt. Beim Auftreffen auf das etwa 20 cm entfernte Modell ist der Luft-Metallpartikel-Strom auf etwa 60 °C abgekühlt. Die runden Partikel bilden beim Aufprall einen Flüssigkeitsfilm, mit dem die nachfolgenden Tröpfchen verschmelzen, so daß eine homogene, sofort erstarrende Oberfläche entsteht.

Wenn sich die Metalltröpfchen schon soweit abgekühlt haben, daß sie beim Aufprallen auf das Modell bereits erstarrt sind, verschmelzen sie nicht mehr miteinander und verformen sich auch nicht mehr, sondern kommen nur in punktförmige Berührungen mit den benachbarten Metallteilchen. Somit erhält man eine inhomogene Schicht mit Lufteinschlüssen.

Ist das Metall zu heiß, wird die Metallschmelze auf der Modelloberfläche vom Luftstrom verdrängt. Beide beschriebenen und unerwünschten Vorkommnisse lassen sich durch die Menge des Spritzguts, die in der Pistole eingebauten Regler und mit der Luftzufuhr regulieren. Im praktischen Betrieb ist es wichtig, bei richtiger Temperatur zu arbeiten und auf gleichmäßigen Abstand der Düse vom Modell zu achten (etwa 10 bis 20 cm). Spritzfehler kann man in der Regel schon nach kurzer Zeit optisch erkennen.

2 Legierungen

Die verwendeten Legierungen (Hersteller: MCP Mining and Chemical Products, Genf/Schweiz) schmelzen bei niedriger Temperatur. Sie bestehen hauptsächlich aus Wismut, Zinn, Zink und für besonders niedrige Schmelzpunkte auch Indium. Durch Verwenden einiger oder aller dieser Metalle kann eine Vielzahl unterschiedlicher Schmelztemperaturen erreicht werden, beispielsweise 47, 58, 70, 96, 124 und 137 °C.

Die meisten Legierungen, die für das Metallspritzen geeignet sind, sind genormt und enthalten Wismut. Beim Erstarren weist Wismut eine Volumenzunahme von etwa 3,3% auf. Durch Mischen mit andern Metallen, die ihrerseits schrumpfen, läßt sich der Volumensprung beim Erstarren beeinflussen. Je nach Legierung erhält man Werkstücke, deren Abmessungen beim Erstarren unverändert bleiben oder die sich erheblich ausdehnen.

Alle Legierungen haben eine verhältnismäßig hohe Dichte; die Festigkeit nimmt durch Altern zu. Weil die Legierungen beständig sind, bieten sie den Vorteil, daß sie immer wieder umgeschmolzen und erneut verwendet werden können. Sie eignen sich für normalen Schwerkraftguß wie auch für Druck- und Vakuumguß, und sie können wie Lacke verspritzt werden. Hierbei ist die Wiedergabegenauigkeit sehr gut und läßt Reproduktionen von Konturen jeder Art zu. Durch die niedrige Austrittstemperatur sind sogar Modelle aus Wachs, Gips, Plastilin oder Holz verwendbar.

Folgende vier Legierungen, die die gewünschten Eigenschaften wie Maßstabilität und einfache Anwendung haben, sind speziell für den Werkzeugbau entwickelt worden:

- MCP 150 hat einen Schmelzbereich von 138 bis 170 °C und wird beim Herstellen von Werkzeugen zur Polyurethanverarbeitung sowie zum Warmformen eingesetzt.
- MCP 200 schmilzt bei 200 °C und wird vorwiegend zum Herstellen von Spritzgießwerkzeugen verwendet. Trotz der relativ niedrigen Schmelztemperatur können Thermoplaste mit Schmelztemperaturen bis 350 °C verarbeitet werden.
- MCP 350 mit einem Schmelzbereich zwischen 198 und 350 °C wird in Verbindung mit dem Lichtbogen-Spritzverfahren eingesetzt.
- MCP 400 (Schmelzbereich 390 bis 410 °C) wird ebenfalls in Verbindung mit dem Lichtbogen-Spritzverfahren eingesetzt. Diese Legierung eignet sich zum Herstellen von Werkzeugen zur SMC-, PUR-RIM- und Elastomerverarbeitung, für das Spritzgießen sowie zur Produktion von Gießereimodellen.

Für die Herstellung von Werkzeugen haben die Legierungen den wesentlichen Vorteil, daß aufgrund der niedrigen Verarbeitungstemperatur keine Spannungen im Werkzeug auftreten und kein Schwund vorhanden ist; somit entspricht das Werkzeug in seinen Abmessungen genau dem Modell.

3 Metallspritzen

Man unterscheidet zwischen dem Metallspritzen bei hohen und bei niedrigen Temperaturen. Im ersten Fall wird das feste Metall in einem Lichtbogen geschmolzen, in dem sogar Molybdän bei 2620 °C schmilzt. Im zweiten Fall wird das Metall in der Spritzpistole durch elektrische Heizelemente verflüssigt. Dies Verfahren ist auf Metalle mit einem maximalen Schmelzpunkt von etwa 200 °C begrenzt.

In gewisser Hinsicht kann man das Metallspritzen auch mit galvanoplastischen Vorgängen vergleichen. Die Galvanoplastik ist das genaueste Verfahren für die metallische Wiedergabe von Oberflächen. Hierbei werden Metallionen von einer Anode auf ein Modell übertragen. Obwohl die in der Zerstäuberdüse einer Spritzpistole erzeugten flüssigen Metalltröpfchen viel größer sind, ist die Güte der Oberflächenwiedergabe nahezu ebenso gut wie beim Galvanoverfahren. Außerdem läßt sich das Metallspritzen viel schneller durchführen. Die Investitionskosten sind niedrig, und für die Be-

dienung ist keine besondere Erfahrung erforderlich. Weiterhin kann man nach dem Spritzverfahren auch Werkzeuge herstellen, die für das Galvanosystem zu groß sind oder dabei zu teuer würden. Beispielsweise wurden durch Metallspritzen schon mehrere Quadratmeter große Autoklavenwerkzeuge zum Herstellen von Verbundwerkstoffteilen für die Automobil- und Flugzeugindustrie gefertigt.

Bei einem in den letzten Jahren entwickelten Verfahren, dem Lichtbogen-Spritzverfahren läßt sich das geschmolzene Metall unter Anwendung eines Luftstrahls hoher Geschwindigkeit auf ähnliche Weise wie Spritzlack auftragen. Eine wesentliche Voraussetzung dazu ist das Einstellen einer geeigneten Abschmelzleistung. Der Drahtvorschub ist gerade so schnell, daß der Abstand zwischen den Drahtspritzen gleich bleibt. Zwischen den beiden Drähten (Durchmesser: 1,6 mm) wird eine elektrische Spannung zum Erzeugen des Lichtbogens angelegt. Bei der hohen Temperatur des Lichtbogens

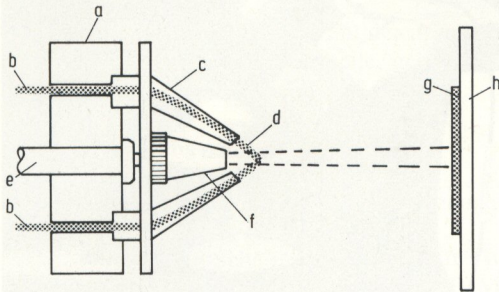


Bild 1. Arbeitsweise des Lichtbogen-Metallspritzens
a: Wärmeisoliertes Gehäuse der Lichtbogenspritzpistole, b: Draht aus einer niedrigschmelzenden Legierung, c: Drahtführung, d: Lichtbogen, e: Luftzufuhr, f: Luftdüse, g: Metallschicht, h: Modell

(4300 °C) schmilzt der Draht mit verhältnismäßig wenig Oxidation und geringer Wärmeübertragung auf den Grundwerkstoff. Metalle wie Aluminium, Kupfer, Zink, Stahl, Bronze und Molybdän können nach diesem Verfahren gespritzt werden (Bild 1).

4 Spritztechnik

Es ist verhältnismäßig einfach, beim Metallspritzen eine gute Oberfläche zu erzielen. Man trägt dafür eine Schicht nach der anderen auf. Die Pistole soll über dem Modell nicht zu schnell hin- und herbewegt werden, sondern so lange auf jeder Stelle bleiben, bis ein heller, silberner Farbton sichtbar wird. Die erste Schicht, d. h. die spätere Werkzeugoberfläche, ist am wichtigsten. Es empfiehlt sich, das Spritzen mit kleinen Metallpartikeln zu beginnen. Danach wird der Belag schneller aufgetragen, indem man mit größeren Partikeln spritzt.

Die aufzutragende Schichtdicke beträgt bei Werkzeugen für die PUR-Verarbeitung 1 mm, bei Spritzgießwerkzeugen bis zu 3 mm. Bei Vertiefungen und Hohlräumen verursacht die Turbulenz des Luftstroms auf der Oberfläche des Mo-

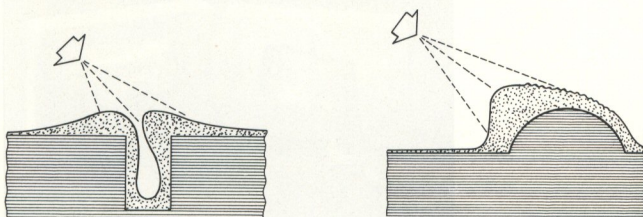


Bild 2 (links). Unvollständig gefüllter, erhabener Werkzeugbereich beim Metallspritzen
(Erläuterungen im Text)

Bild 3 (rechts). Einseitige Ablagerung der Metallschicht bei nichtrotierendem Modell

dells Schwierigkeiten. Der metallische Belag erhöht sich dabei an den Kanten der Vertiefungen, und es besteht die Gefahr, daß sich der Eingang der Vertiefung ganz verschließt, ehe der Boden vollständig mit Metall gefüllt ist (Bild 2).

In ähnlicher Weise kann eine unregelmäßige Metallablagerung hinter dem eigentlichen Gebiet, auf das die Pistole gerichtet ist, entstehen. Man hat in diesem Fall zu lange aus einer Richtung gespritzt. Die im Schatten der Spritzkante sich aufbauenden Teile können eine zerklüftete Oberfläche zeigen (Bild 3).

Um dies zu vermeiden, muß das Teil rotieren, und die Pistole soll nach Möglichkeit rechtwinklig auf die Modelloberfläche gerichtet sein. Beim Spritzen großer, insbesondere schalenförmiger Modelle, kann sich Metallstaub auf den Flächen absetzen, die von der gerade bearbeitenden Fläche entfernt liegen. Es ist deshalb angebracht, eine Spritzkabine mit Absaugung zu verwenden, auch damit das Bedienpersonal eine saubere Atmosphäre und freie Sicht bei der Arbeit hat.

5 Herstellen von Werkzeugen

Das Metallspritzen ist im wesentlichen ein Kopieren von Formen und Profilen. Da die Kopie nicht besser sein kann als das Modell, lohnt es sich, die für die sorgfältige Vorbereitung des Modells erforderliche Zeit aufzuwenden. Das Spritzen ist ein sehr genaues Abbildungsverfahren und liefert eine starre Schale. Daher sind Hinterschneidungen nur mit Hilfe von Einlegeteilen möglich, die manuell aus dem Spritzling entfernt werden.

Der Arbeitsvorgang zum Herstellen der beiden Hälften eines Spritzgießwerkzeugs beginnt mit dem Auftragen der einzelnen Metallschichten auf das Modell (Bild 4 A). Die so erzeugte dünne Metallmaske muß wegen der hohen Spritz- und Schließdrücke mit einer weiteren niedrigschmelzenden Legierung hinterfütert werden (Bild 4 B), die hohe Druckfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit aufweist (Tabelle 1).

Tabelle 1. Materialeigenschaften einer zum Hinterfütern von Spritzgießwerkzeugen geeigneten niedrigschmelzenden Metallegierung

Eigenschaft		Wert
Schmelzpunkt	°C	138
Ausdehnung beim Erstarren	%	+0,05
Dichte	g/cm ³	8,58
Brinellhärte	HB	23
Zugfestigkeit	N/mm ²	55

Nach dem Erstarren der Legierung wird die gegossene Oberfläche plangefräst und mit einer Stahl-Druckplatte verschraubt. Nach dem Wenden der nun fertigen Werkzeughälfte wird die das Modell tragende Platte abgehoben (Bild 4 C), das Modell entnommen, gereinigt, erneut mit Trennmittel versehen und wieder eingesetzt. Anschließend laufen beim Herstellen der zweiten Werkzeughälfte die beschriebenen Arbeitsgänge erneut ab (Bild 4 D bis F). Nun muß noch der Anfluß angebracht werden, damit das Werkzeug verwendungsbereit ist.

Bei der späteren Verwendung kann ein solches Werkzeug ohne Bedenken auf 120 °C erwärmt werden. Meistens arbeitet man bei Werkzeugtemperaturen ab etwa 100 °C mit Kühlrohren. In metallgespritzten Werkzeugen können Kunststoffe mit Schmelzetemperaturen bis zu 350 °C verarbeitet werden, wenn man entsprechend kühlt oder Zykluszeitverlängerungen in Kauf nimmt. Ergänzend soll hier noch erwähnt werden, daß alle Oberflächen metallgespritzter Werkzeuge sich galvanisch behandeln lassen.

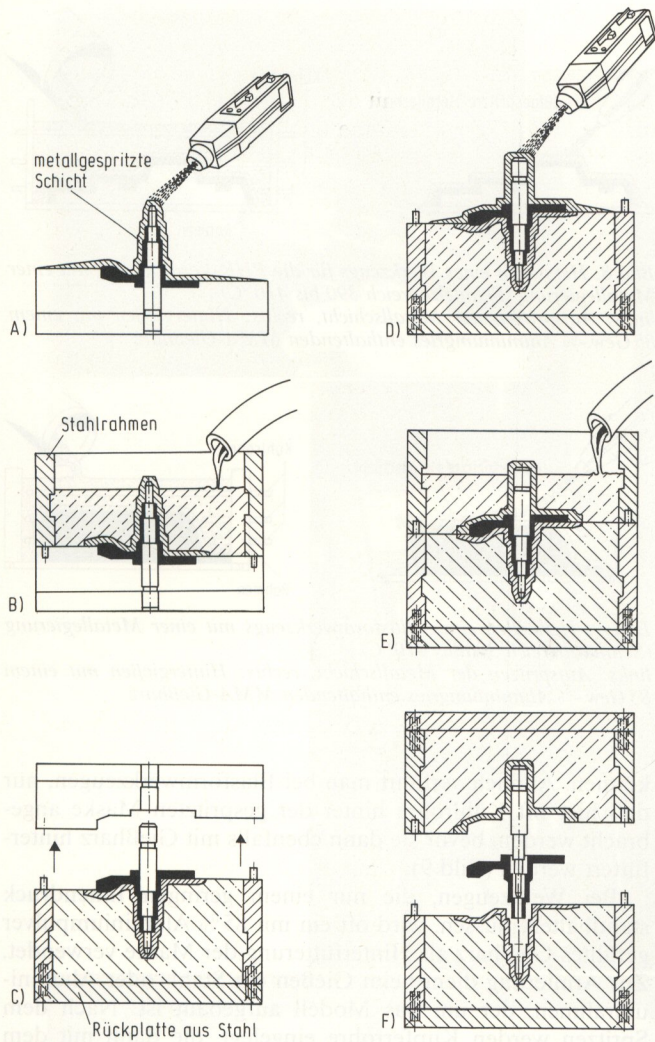


Bild 4. Herstellen eines Spritzgießwerkzeugs mittels Metallspritzen
 A: Herstellen der Kavität in der ersten Werkzeughälfte mit einer Metallegierung (Schmelzpunkt: 390 bis 400 °C), B: Hinterfüllern der ersten Werkzeughälfte mit einer eingegossenen Metallegierung (Schmelzpunkt: 138 °C), C: Wenden der ersten Werkzeughälfte und Entfernen der Grundplatte und des Modells, D: Metallspritzen der zweiten Werkzeughälfte, E: Hinterfüllern der zweiten Werkzeughälfte, F: Fertiges Werkzeug

Tabelle 2. Kostenvergleiche beim Herstellen von Prototypenwerkzeugen

Werkstoff bzw. Herstellverfahren	Werkstoffkosten %	Bearbeitungskosten		Verschiedenes %	Insgesamt %
		maschinell %	manuell %		
Stahl (Produktionswerkzeug)	10	50	30	10	100
Feinzinklegierung	21	5	8	4	38
Galvanowerkzeug	9	2	5	3	19
Gefülltes EP-Harz	11	1	3	2	17
Metallspritzen	2 ¹⁾	1	4	3	12

1: Bei Wiederverwendung der niedrigschmelzenden Legierung

Tabelle 3. Anzahl der Formteile, die mit metallgespritzten Werkzeugen bei den verschiedenen Verarbeitungsverfahren herstellbar sind

Fertigungsverfahren	schwieriges Teil	einfaches Teil
Spritzgießen	10 bis 1000	200 bis 5000
Blasformen	300 bis 500	10000
Pressen von SMC	10 bis 30	100
Naßlaminiern, einschl. Autoklavenverfahren	1000	20000
Kaltpressen	1000	20000
Harzinjektionsverfahren	1000	20000
PUR-Formschäumen	1000 bis 2000	30000 bis 80000
RIM-Verfahren	1000 bis 3000	3000 bis 15000
RRIM-Verfahren	500 bis 1000	1000 bis 5000
Warmumformen	5000	100000

6 Kosten

Ein besonderer Vorteil des beschriebenen Metallspritzverfahrens besteht darin, daß sich damit Werkzeuge in kurzer Zeit und zu günstigen Kosten herstellen lassen. Dies ist vor allem bei Prototypwerkzeugen wichtig.

Tabelle 2 zeigt Kostenvergleiche für die verschiedenen Arten von Prototypwerkzeugen (bezogen auf Stahl-Produkt-

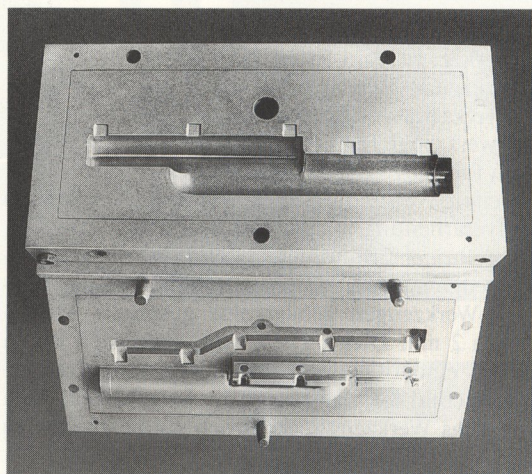


Bild 5. Metallgespritztes Spritzgießwerkzeug für ein Formteil aus ABS

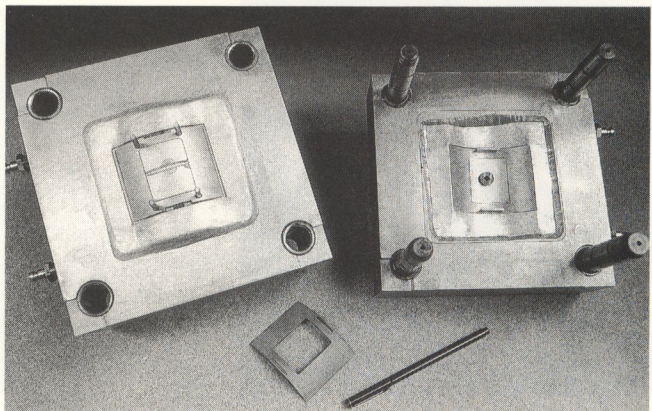


Bild 6. Metallgespritztes Spritzgießwerkzeug für ein elektrisches Schaltelement aus Polycarbonat

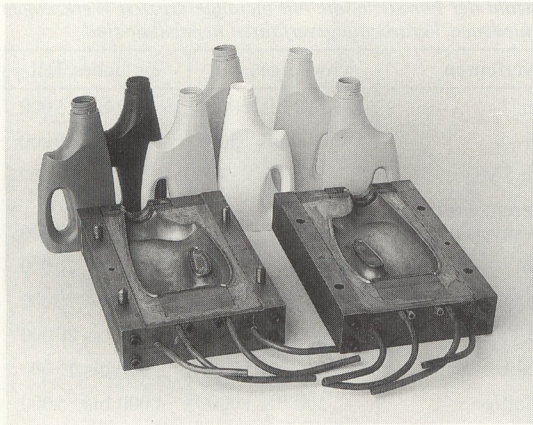


Bild 7. Metallgespritztes Blasformwerkzeug für Flaschen

tions-Werkzeuge). Die Anzahl der in metallgespritzten Werkzeugen herstellbaren Formteile, gegliedert nach Fertigungsverfahren, enthält Tabelle 3.

7 Anwendungsgebiete

Beim Herstellen von folgenden Werkzeugen findet das Lichtbogen-Metallspritzen Anwendung:

- Polyurethan-Schäumwerkzeuge für Weich- und Hart-schaum sowie Werkzeuge für das RIM- und RRIM-Verfahren,
- TSG-Strukturschaumwerkzeuge,
- Spritzgießwerkzeuge (Bild 5 und 6),
- Blasformwerkzeuge (Bild 7),
- Warmformwerkzeuge,
- Autoklavenwerkzeuge für Verbundwerkstoffe,
- Gießformen für Harze und Schaumstoffe.

Dazu treten weitere Anwendungen für Werkzeuge außerhalb der Kunststoffverarbeitung.

Aufgrund mehrjähriger Erfahrungen beim Herstellen der genannten Werkzeuge haben sich folgende Unterschiede ergeben: Bei PUR-Werkzeugen genügt eine gespritzte Metallschale von 1 bis 2 mm Dicke. Diese wird stabilisiert durch Hintergießen mit einem Gießharz, das mit Metallpulver angereichert wurde (Bild 8). Man hat so die Möglichkeit, nach dem Aushärten das Werkzeug mechanisch gut bearbeiten zu

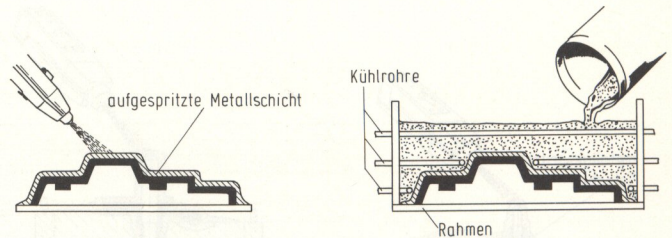


Bild 8. Herstellen eines Werkzeugs für die PUR-Verarbeitung mit einer Metallegierung (Schmelzbereich 390 bis 410 °C)
links: Aufspritzen der Metallschicht, rechts: Hintergießen mit einem 85 Gew.-% Aluminiumgries enthaltenden MMA-Gießharz

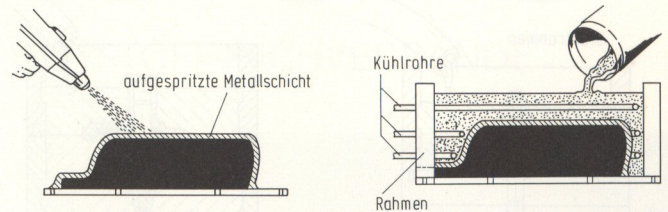


Bild 9. Herstellen eines Blasformwerkzeugs mit einer Metallegierung (Schmelzbereich 390 bis 410 °C)
links: Aufspritzen der Metallschicht, rechts: Hintergießen mit einem 85 Gew.-% Aluminiumgries enthaltenden MMA-Gießharz

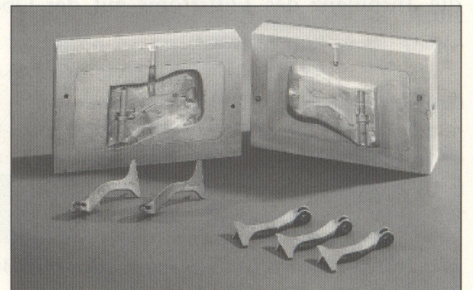
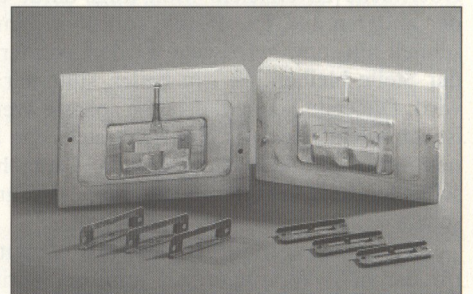
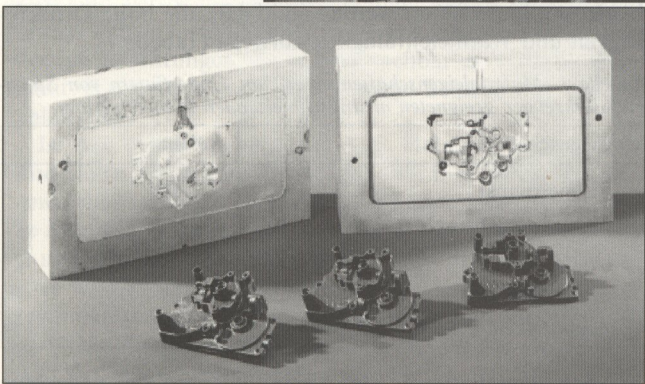
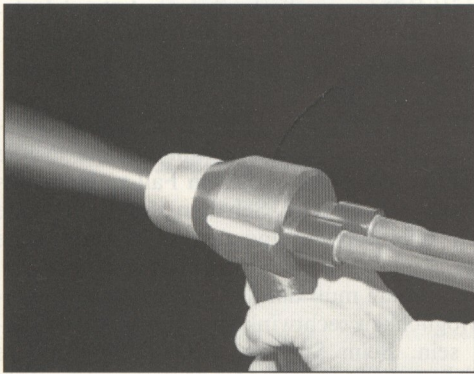
können. Ähnlich verfährt man bei Blasformwerkzeugen, nur daß hier oft Kühlrohre hinter der gespritzten Maske angebracht werden, bevor sie dann ebenfalls mit Gießharz hinterfüllt werden (Bild 9).

Bei Werkzeugen, die nur einem geringen Innendruck standhalten müssen, wird oft ein mit 85 % Aluminiumpulver gefülltes Gießharz als Hinterfüllung der Maske verwendet. Zur Armierung dient beim Gießen ein Stahl- oder Aluminiumrahmen, der um das Modell aufgebaut ist. Nach dem Spritzen werden Kupferrohre eingelegt, die dann mit dem hochgefüllten Gießharzgemisch hinterfüllt werden.

Der Autor dieses Beitrags

Ronald Simmonds, geb. 1943, war mehrere Jahre bei T. E. Raleigh Industries in Großbritannien tätig. Er wechselte 1972 zu HEK, Lübeck, und ist bei diesem Unternehmen heute Leiter der Anwendungstechnik. (1628)

Die neue MCP/TAFÄ Tooling-Pistole 8850



Spritzgießformen für Prototypen, Klein- und Mittelserien hergestellt mit MCP/TAFÄ Verfahren. Formen hergestellt in 2-3 Tagen.