CHIMIA

Volumen 7 Fasc. 4 1953 73–100

Das Präzisionsgießverfahren

Von W. H. SULZER, Dipl.-Ing.

Gebrüder Sulzer, Aktiengesellschaft, Winterthur

Die Methode, einteilige Gießformen mit Hilfe von ausschmelzbaren Modellen herzustellen, ist nicht etwa eine Erfindung der Neuzeit. In der Kunstgießerei bediente man sich dieses Verfahrens schon seit alters her. Die Chinesen beispielsweise waren darin Meister ihres Fachs, bereits einige tausend Jahre vor Christus.

Die Arbeitsweise, wie sie uns von dieser Epoche überliefert wurde, hat sich beinahe unverändert bis zum heutigen Tage im Kunstgießereigewerbe erhalten können. Der große Schritt bis zum heute bekannten industriellen Präzisionsgießverfahren wurde hauptsächlich durch zwei in der Neuzeit entstandene Gebiete gefördert, nämlich durch die Zahntechnik und den vor allem in den Vereinigten Staaten von Amerika als Heimgewerbe betriebenen Bijouterieguß. Das Gießen von Zahnprothesen, das höchste Genauigkeit und Feinheit der Oberfläche erfordert, ergänzte das Ausschmelzverfahren im Sinne einer Erhöhung der erzielbaren Maßgenauigkeit. Der Bijouterieguß, der die Aufgabe hatte, möglichst viele gleichartige Produkte herzustellen, wobei es weniger auf Maßhaltigkeit als auf rationelle Herstellungsweise ankam, löste das Problem der Fabrikation von Modellen in großen Serien und trug damit wesentlich dazu bei, dieses Verfahren für die industrielle Anwendung interessant und aussichtsreich zu gestalten. So bildeten diese drei Hauptgebiete, der Kunstguß, der Bijouterieguß und die Zahntechnik, die Ausgangspunkte, aus denen heraus sich das heutige Präzisionsgießverfahren entwickeln konnte, wobei der Begriff Präzisionsguß hier ausschließlich für die Herstellung von einteiligen Formen mittels ausschmelzbaren Modellen verwendet werden soll. In gewissem Sinne könnte ja z. B. der Spritzguß, der Kokillenguß, das CRONING-Verfahren und andere in die Kategorie «Präzisionsguß» eingereiht werden. Die grundlegenden Unterschiede zu dem Ausschmelzverfahren rechtfertigen jedoch die Schaffung eines neuen Begriffes, der im Ausland auch etwa mit «*cire perdue*», «*lost wax*», «*investment casting*» usw. umschrieben wird.

Die wesentlichsten Merkmale des Verfahrens sind kurz die folgenden:

In einer Matrize oder Kokille wird zunächst pro Abguß je ein entsprechendes Modell hergestellt, das die Maßkorrekturen für die Volumenveränderungen während des Form- und Gießverfahrens bereits enthält. Als Werkstoff für dieses Modell muß ein Material gewählt werden, das durch Temperaturerhöhung zum Schmelzen und damit zum Ausfließen aus der Form gebracht werden kann, ohne daß dabei Rückstände, wie Asche usw., zurückbleiben. Im industriellen Präzisionsgießverfahren wird, wie auch beim Kunstguß und in der Zahntechnik, ein Wachs verwendet, das z. B. durch Mischung von geeigneten pflanzlichen und mineralischen Bestandteilen hergestellt wird. An Stelle von Wachs wird jedoch auch Kunstharz als Modellwerkstoff gebraucht, da dieses viel genauere und regelmäßigere Abgüsse gewährleistet. Ist nun ein solches Modell vorhanden, so muß es nach Anbringung geeigneter Eingüsse in einem Formstoff eingeformt werden, wobei verschiedene Methoden, auf die später noch näher eingetreten werden soll, Anwendung finden. Nachdem die Gießform hergestellt und das Modell ausgeschmolzen ist, erfolgt das Gießen, entweder statisch, auf Schleudergießmaschinen oder durch Druckgießen in einem kleinen Kippofen, der jeweils die für eine einzige Form benötigte Materialmenge enthält. Nach dem Erstarren des Metalls wird die Form zerstört, worauf die üblichen Nacharbeiten, wie Abtrennen der Eingüsse, Verputzen, Wärmebehandlung usw., erfolgen können.

Obschon das Prinzip des Verfahrens höchst einfach erscheint, treten doch durch die Vielzahl von grundverschiedenen Arbeitsgängen mannigfache Probleme auf, deren Lösung eingehende theoretische und praktische Kenntnisse und Erfahrung erfordern. Nur eine peinlich genaue Überwachung und Kontrolle der Fabrikation gewährleisten ein gleichmäßiges und qualitativ hochstehendes Endprodukt. Die Tatsache, daß gegossene Teile in direkten Wettbewerb mit mechanisch hergestellten treten, erfordert, daß auch die in der mechanischen Bearbeitung üblichen Maßgenauigkeiten, also Bruchteile von Millimetern, erreicht werden müssen. Die Festigkeitseigenschaften, die beim mechanisch bearbeiteten Teil in hohem Maße durch die Warmverformung bestimmt werden, sind beim Präzisionsguß durch Wahl einer entsprechenden Legierung und durch geeignete Wärmebehandlung auf vergleichbare Werte zu bringen. Der Präzisionsguß muß also, kurz gesagt, die Maßtoleranzen etwa des Spritzgusses einhalten können, für Werkstoffe, deren Festigkeiten und sonstige Materialeigenschaften an diejenigen gewalzter und geschmiedeter Halbfabrikate herankommen. Wie dies möglich ist,

soll im folgenden anhand der einzelnen Arbeitsgänge kurz dargelegt werden.

Die einzelnen Arbeitsgänge des Präzisionsgießverfahrens

1. Formenbau

Die Herstellung der ausschmelzbaren Modelle erfordert Werkzeuge, die für die Serienherstellung geeignet sind und den meistens sehr hohen Anforderungen an Präzision und Feinheit der Oberfläche, die an das darin produzierte Modell gestellt werden, genügen. Die Oberflächengüte und Maßgenauigkeit des Präszisionsgußstückes wird in erster Linie durch das Modell bestimmt, das zur Herstellung des Gußteils gebraucht wurde; mit andern Worten, je genauer die Spritzform gearbeitet ist, um so genauer wird auch das Modell und das Gußstück ausfallen. Genügen bei der Herstellung von Bijouterieartikeln oder von kunstgewerblichen Gegenständen Spritzformen aus Gummi oder Blei, so ist dies für den Präzisionsguß, der ja mit mechanisch bearbeiteten Produkten in Konkurrenz treten muß, ganz ausgeschlossen. Die bekannteste Methode, einigermaßen genaue und nicht zu teure Matrizen zu erhalten, besteht darin, ein Urmodell aus Stahl, bei welchem die Maßkorrekturen für die Schwindung bereits berücksichtigt sind, in einem geeigneten, leicht verformbaren Metall abzudrücken. Da sich dieser Vorgang bei nicht allzu hohen Temperaturen und Drücken abspielen soll, muß als Werkstoff für diese Art Spritzformen eine Legierung gewählt werden, die verhältnismäßig gute Kaltverformbarkeit aufweist. Diese Eigenschaft hat z. B. eine Wismut-Zinn-Legierung, die bei einem Gehalt von 58% Bi und 42% Sn einen Schmelzpunkt von etwa 140 °C besitzt. Es ist leicht einzusehen, daß eine solche Spritzform der Gefahr einer Beschädigung durch Kratzer besonders ausgesetzt ist. Ferner wird sich die Kokille bei langer Benützungsdauer verformen, wodurch ein in gewissen Zeitabständen wiederholtes Nachpressen mit dem Urmodell erforderlich wird. Trotzdem eignet sich die Weichmetallkokille speziell in Fällen, wo rasch einige Probeabgüsse hergestellt werden sollen oder wo vor Inangriffnahme großer Serien gewisse gieß- und maßtechnische Gesichtspunkte abzuklären sind.

Wesentlich genauere Modelle erzielt man durch die Verwendung von Kokillen aus Stahl, deren Herstellung zu beschreiben sich hier erübrigt, da sie sich im wesentlichen an die im allgemeinen Formenbau üblichen Methoden hält.

Bei solchen Stahlformen können komplizierte Formteile, wie Bohrungskerne, seitlich und vertikal angeordnete Züge und Ausstoßer, eingebaut werden, die sich automatisch durch das Öffnen und Schließen der Kokille steuern lassen. Ist die Abnützung und Verletzbarkeit von Weichmetallkokillen relativ groß, so sind Stahlformen bei den für Kunstharz nötigen Preßdrücken und Preßtemperaturen praktisch abnützungsfrei, um so mehr, als die am meisten beanspruchten Partien derselben gehärtet werden.

2. Modellfabrikation

In den Anfängen des industriellen Präzisionsgießverfahrens war Wachs der ausschließlich verwendete Werkstoff für die Herstellung der ausschmelzbaren Modelle. Die relativ bedeutenden Maßveränderungen durch Kriechverformung bei Raumtemperatur, die hohe Verletzbarkeit sowie die dadurch bedingte Unmöglichkeit, Wachsmodelle längere Zeit auf Lager zu legen, ergaben die Notwendigkeit, das Wachs als Modellwerkstoff durch ein besser geeignetes Material zu ersetzen.

Thermoplastische Kunststoffe eignen sich hiefür in hervorragendem Maße und ergeben durch ihre Formbeständigkeit bei erhöhten Temperaturen, wo Wachs bereits plastisch verformbar ist, wesentlich genauere Abgüsse. Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß infolge der höheren Viskosität des Kunstharzes sogenannte Gräte und Federn, die bei Wachsmodellen durch die Trennfugen der Kokillenhälften gebildet werden, fehlen. Die Entfernung dieser Gräte erfordert bei Wachsmodellen einen beträchtlichen Arbeitsaufwand, der bei Verwendung von Kunstharz wegfällt.

Da die Verarbeitungstemperatur eines solchen Kunstharzes über dem Schmelzpunkt der für die Weichmetallkokille verwendeten Legierung liegt, bleibt die Benützung solcher Kokillen ausschließlich auf Wachsmodelle beschränkt. Der Nachteil der wesentlich höheren Gestehungskosten einer Stahlkokille wird durch die oben beschriebenen Vorteile bei der Verwendung von Kunstharz als Modellwerkstoff mehr als ausgeglichen.

Die Herstellung der Kunstharzmodelle geschieht mit Hilfe von hydraulischen Pressen, die sich von den in der Kunststoffindustrie verwendeten Maschinen in keiner Weise unterscheiden. Hingegen sind für die Fabrikation von Wachsmodellen speziell konstruierte Pressen nötig, welche für wesentlich kleinere Drücke und Temperaturen gebaut sind, entsprechend den tieferen Spritztemperaturen des Modellwachses gegenüber Kunstharz; jedoch müssen wegen des viel engeren Erstarrungsbereichs die Spritztemperaturen sehr genau eingehalten werden können.

Interesshalber sollen hier noch einige andere Modellwerkstoffe aufgezählt werden, die bereits zum Teil Anwendung finden. Für gewisse Fälle scheint sich gefrorenes Quecksilber bewährt zu haben, wobei umfangreiche Einrichtungen für das Gefrieren des Quecksilbers und für die Aufbewahrung und Weiterverarbeitung der gefrorenen Quecksilbermodelle benötigt werden. Für Spezialfälle hat sich auch eine niedrig schmelzende Legierung, ähnlich derjenigen, wie sie für die Weichmetallkokillen Anwendung finden, durchsetzen können. Diese anorganischen Modellwerkstoffe haben aber den Nachteil, daß Rückstände, die nach dem Ausschmelzen noch in der Form enthalten sind, nicht verflüchtigt werden können, wie dies sowohl beim Modellwachs als auch beim Kunstharz der Fall ist, sondern es muß darauf geachtet werden, daß alles in der Form enthaltene Material rest-

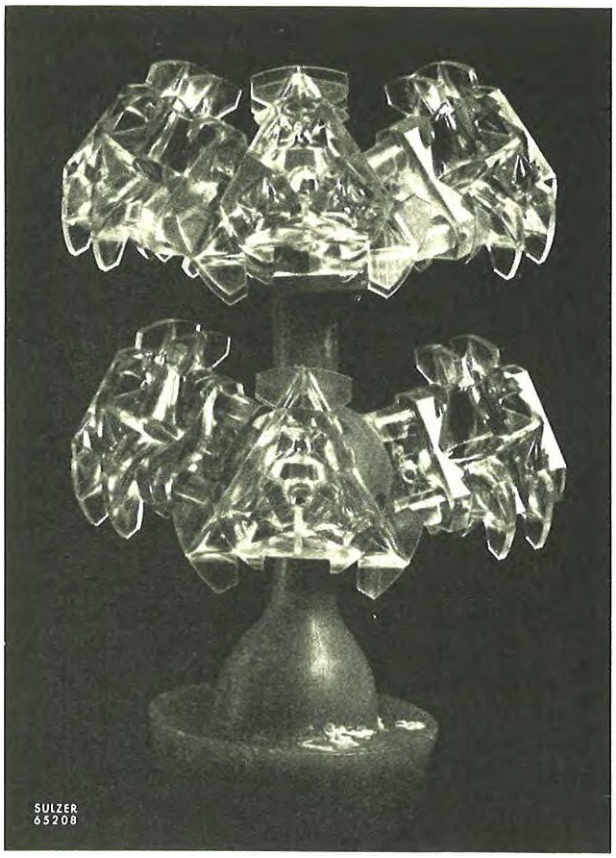


Abb. 1. Kunstharzmodelle mit Einguß zusammengebaut

los ausfließen kann, ohne in Hinterschneidungen oder taschenförmigen Partien der Gießform liegen zu bleiben.

Wenn die Modelle, je nach dem Ausbau der Kokille, der sich nach der Stückgröße und nach den verlangten Serien richtet, entweder einzeln oder in ganzen Kämmen gepreßt worden sind, so müssen sie mit den nötigen Eingüssen zusammengebaut werden. Dabei werden auch für Kunstharzmodelle aus wirtschaftlichen Gründen Eingüsse und Trichter aus Wachs verwendet, da sich das Aufkleben sehr einfach gestaltet und hiezu ein Modellwachs zweiter Qualität verwendet werden kann. Dieser Zusammenbau erfolgt unter Verwendung von gas- oder elektrisch beheizten Werkzeugen, wobei darauf geachtet wird, möglichst viele Teile in einer Gießform anzuordnen. Das entstehende Gebilde gleicht einem Baum, der als Positivmodell zur Herstellung der feuerfesten Gießform dient (Abb. 1). Die benötigten Gießkanäle und Aufgüsse werden, soweit möglich, bereits zusammen mit dem Modell in der Kokille hergestellt.

Die Trennung eines Modells in zwei oder mehrere Teile und ein nachträgliches Zusammenfügen derselben findet dort statt, wo infolge der komplizierten Gestaltung des Teils eine viel zu umständliche und kostspielige Kokille nötig wäre, sofern eine solche ohne einschneidende Konzessionen an die konstruktive Ausführung überhaupt zu bauen wäre. Diese Methode des zusammengesetzten Modells eröffnet dem Konstrukteur vielerlei Möglichkeiten zur Gestaltung von komplizierten Bestandteilen, die sonst nur durch Zusammenschweißen, Verschrauben, Vernieten usw. von metallischen Einzelteilen auszuführen wären.

3. Herstellung der Gießform

Die nächste Fabrikationsphase besteht in der Herstellung der Gießform. Hier kann man zwei Verfahren unterscheiden, nämlich das Tauchverfahren und das Einfachformverfahren (Abb. 2).

Im ersten Fall werden die fertig zusammengebauten Modelle mit einem sehr feinen feuerfesten Überzug in der Weise versehen, daß sie in ein flüssiges Gemisch aus Formstoff und Bindemittel getaucht werden, wobei eine dünne, etwa 0,5 bis 1 mm starke Schicht an der Modelloberfläche haften bleibt. Nach dem Trocknen des Überzuges werden die Modelle mit dem Einguß nach unten auf einer zum späteren Ausfließen des Modellwerkstoffes durchlochten Platte angebracht, worauf ein zylindrischer Formkasten aus zunderfreiem Blech über das Ganze gestülpt und mit Wachs auf der Grundplatte abgedichtet wird. Dieses so gebildete Gefäß wird nun aufgefüllt mit der sogenannten Hinterfüllmasse, einer relativ grobkörnigen Mischung, die mit dem Bindemittel zu einem dickflüssigen Brei vermischt wird. Das eingefüllte Formmaterial wird dann auf geeigneten Rütteltischen durch Vibration verdichtet. Der Überzug übernimmt dadurch gewissermaßen die Rolle des Modellsandes, der die feine Oberfläche des Abgusses gewährleistet, wogegen die Füllmasse die Aufgabe hat, den Überzug

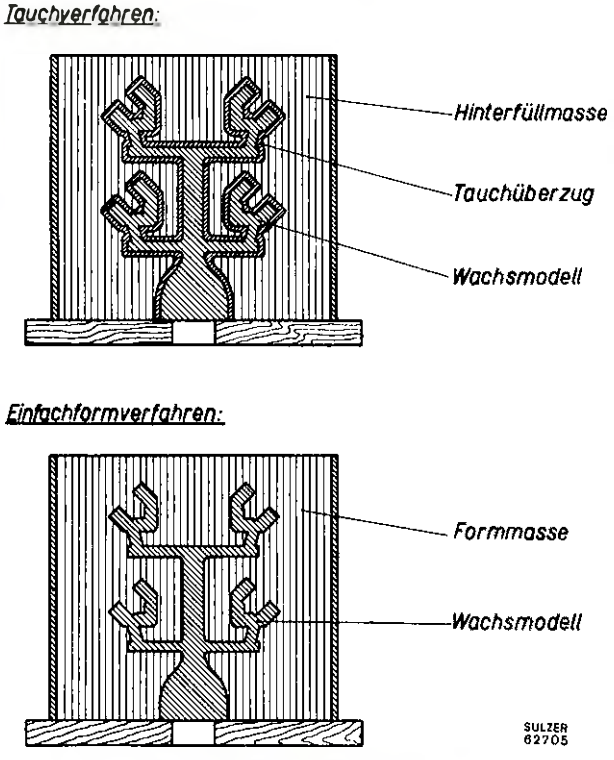


Abb. 2. Präzisionsgußformverfahren

nach erfolgtem Ausschmelzen des Modells zu stützen. An Stelle der durch Tauchen erzeugten Schicht kann auch ein aufgespritzter Überzug verwendet werden.

Dem gegenüber besteht das sogenannte Einfachformverfahren darin, daß der Tauch- oder Spritzüberzug weggelassen wird. An die Stelle der relativ grobkörnigen Hinterfüllung tritt eine feinkörnige, feuerfeste Masse, welche einerseits fein genug sein muß, um eine entsprechende Gußoberfläche zu gewährleisten, anderseits aber auch die nötige Festigkeit erreichen soll, um den beim Brennen und Gießen auftretenden Kräften zu widerstehen. Diese Masse, die so dünnflüssig ist, daß sie alle Hohlräume und Konturen des Modells ausfüllt, enthält stets etwas durch den Mischprozeß eingebrachte Luft, welche durch Evakuieren unter der Vakuumglocke entfernt wird.

Dieses Einfachformverfahren ist nicht sehr verbreitet und wird vorwiegend für das Vergießen von Nichteisenmetallen mit relativ niedrigem Schmelzpunkt angewandt.

Das Bindemittel spielt für sämtliche Arten der Formherstellung eine ausschlaggebende Rolle. Nicht nur muß es ebenso feuerfest sein wie der Formstoff selbst, es muß sich auch verhältnismäßig leicht verarbeiten lassen und nicht zuletzt die Herstellung billiger Formen ermöglichen. Betriebstechnisch kann es nicht gleichgültig sein, ob das Bindemittel in wenigen Minuten oder in einigen Stunden abbindet und erhärtet. Der Binder muß außerdem so beschaffen sein, daß die Festigkeit der Form den auftretenden Kräften, beispielsweise beim Trocknen und Brennen, beim Ausfließen des Modellwerkstoffes oder beim Schleudergießen, standhält. Da die richtige Zubereitung des Formstoffes eine große Erfahrung und langwierige Versuche erfordert, ist es verständlich, daß sich die mit Präzisionsguß befassenden Unternehmen hinsichtlich der Veröffentlichung der verwendeten Formstoffe und Bindemittel größte Zurückhaltung auferlegen.

Die Anforderungen, die an die Formmasse bezüglich der Feuerbeständigkeit gestellt werden müssen, richten sich nach dem zu vergießenden Metall. Ist für gewisse niedrig schmelzende Buntmetallegierungen z. B. eine Mischung aus Gips und Quarz genügend feuerfest, so können für Stähle und höher schmelzende Sonderlegierungen nur die reinsten Rohstoffe verwendet werden, bei denen keine Gefahr besteht, daß sie mit einzelnen Legierungsbestandteilen leichtschmelzende Schlacken bilden können. Als trockene Bestandteile der Formmasse kommen insbesondere in Frage: Quarz, Tonerde, Zirkon-Silikat, Zirkon-Oxyd, Magnesia, Schamotte, Sillimanite, u. a. m.

4. Das Trocknen und Brennen der Gießformen

Der Vorgang des Trocknens und Brennens der Formen wird aus betriebstechnischen Gründen meistens in zwei Schritte unterteilt, obschon es prinzipiell möglich wäre, das ganze Temperaturintervall bis zur Erreichung der Formendtemperatur in ein und demselben Ofen zu erzeugen. Im Trocknungsprozeß werden die Formen in elektrisch beheizten Öfen über den Schmelzpunkt des Modellwachses hinaus erhitzt, so daß es aus der Form ausläuft. Selbstverständlich muß dabei die Formfestigkeit einen solchen Grad erreicht haben, daß die durch das Modell gegebene Gestalt des Hohlraumes beibehalten wird. Das ausgeschmolzene Wachs kann zum größten Teil wieder zurückgewonnen und nach erfolgter Reinigung und Regenerierung für die Herstellung neuer Wachsmodelle verwendet werden. Der Trocknungsprozeß, bei dem etwa 60% der Formfeuchtigkeit abgeführt werden, muß ganz besonders sorgfältig überwacht werden. Die Modellwerkstoffe besitzen in den niederen Temperaturbereichen wesentlich höhere Ausdehnungskoeffizienten als der sie umgebende Formstoff. Da aber die Form in den frühen Stadien des Trocknungsprozesses noch eine gewisse Elastizität aufweist und dadurch den Deformationen der Modelle folgen kann, muß durch richtige Temperaturführung für eine gleichmäßige und nicht zu schroffe Erwärmung gesorgt werden, sonst kann es vorkommen, daß das sich ausdehnende Modell die Formmasse sprengt und damit Risse in der Form verursacht, die am Abguß als Gräte und Federn in Erscheinung treten und das Gußstück unbrauchbar machen können.

Beim Brennen in gut regulierbaren elektrisch oder gasbeheizten Öfen wird die Formtemperatur weiter gesteigert, wobei nun auch das Kunstharz zu schmelzen beginnt und mit dem im Ofen vorhandenen Luftsauerstoff verbrennt. Dabei muß sowohl Brenndauer als auch Temperatur so eingestellt werden, daß keinerlei verbrennbare Rückstände mehr in der Form zurückbleiben. Bei der Erreichung der Formendtemperatur, welche je nach der Formgebung des Stückes, dem gewählten Formstoff und der zu vergießenden Legierung bis zu 1000 °C betragen kann, werden die Formen aus dem Ofen entfernt und sofort abgegossen.

5. Das Schmelzen und Gießen

Der Gießvorgang selbst erfolgt, falls die Form der Stücke dies erlaubt, statisch. Wo ein etwas erhöhter Gießdruck notwendig ist, werden die Präzisionsgußformen entweder mit Hilfe von Kippöfen oder auf Schleudergießmaschinen abgegossen (Abb. 3). Der Kippofen ist zugleich Schmelzaggregat und Gießmaschine. Das Schmelzgewicht wird so bemessen, daß es zum Abgießen einer Präzisionsgußform genügt. Sobald die Schmelze die durch Erfahrung ermittelte, optimale Gießtemperatur erreicht hat, wird die Gießform unter Verwendung einer Asbestdichtung so auf die Chargieröffnung des Ofens festgeklemmt, daß beim Kippen um 180° die Schmelze durch die Chargieröffnung in den Eingußtrichter der Form fließt. Während des Ausgießens kann der Gasdruck im Schmelzraum des Ofens durch Einführung von Druckluft oder inertem Gas soweit erhöht werden, als dies zum Ausfüllen der Formhohlräume erforderlich ist.

Dieser Kippofen ist als ein ausgesprochenes Umschmelzaggregat zu betrachten. Als Einschmelzmaterialien kom-

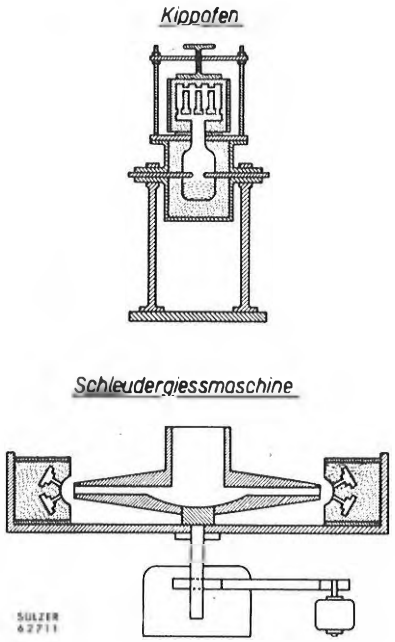


Abb. 3. Präzisionsguß. Gießmethoden (schematisch)

men praktisch nur vorgewalzte oder vorgegossene Stangen bestimmter Größe in Frage. Die Beheizung erfolgt indirekt durch einen Lichtbogen zwischen zwei Graphitelektroden, was zur Folge hat, daß durch die Reaktion der hocherhitzten Graphitelektroden mit dem anwesenden Sauerstoff eine kohlenoxydhaltige Atmosphäre gebildet wird, die das einschmelzende Material vor stärkerer Oxydation schützt. Diese Kohlenoxydatmosphäre kann aufkohlend wirken und erschwert dadurch die Herstellung kohlenstoffarmer oder kohlenstofffreier Legierungen. Als nachteilig in bezug auf die genaue Einhaltung der Gießtemperaturen wirkt sich die schlechte Regulierbarkeit der Strahlungsbeheizung zusammen mit dem geringen Fassungsvermögen des Ofens aus. Eine metallurgische Behandlung des Schmelzbades ist nicht oder nur mit großen Schwierigkeiten durchführbar. Ein weiterer, wirtschaftlich stark ins Gewicht fallender Nachteil entsteht dadurch, daß der metallische Einsatz dieser Kippöfen keine größeren Stücke enthalten darf, als durch die relativ kleine Ofenöffnung hindurchgehen, was bedeutet, daß die anfallenden Eingüsse und Trichter durch Umschmelzen oder andere kostspielige Maßnahmen auf eine verwendbare Stückgröße gebracht werden müssen.

Im Schleuderverfahren werden die Formen auf Schleudergießmaschinen befestigt, welche aus einem horizontalen Drehtisch bestehen, der bis zu vier Formen in radialer Anordnung aufnehmen kann. Das flüssige Metall wird in ein zentrales Kernstück eingegossen, wobei durch die Zentrifugalkraft das Metall in die Form fließt. Es lassen sich je nach der angewandten Drehzahl Beschleunigungen erzielen, die ein Vielfaches der Erdbeschleunigung ausmachen können. Der Transport des flüssigen Metalls von den Öfen zur Schleuder findet in vorbeheizten Gießpfannen statt, deren Inhalt der Materialmenge genau entsprechen muß, die für das Abgießen der Formen einer Schleuder nötig ist.

Die Anwendung des Prinzips des Schleudergießens erfordert Schmelzaggregate, die gegenüber den Kippöfen eine wesentlich größere Schmelzleistung aufweisen. Immerhin sind die beim Präzisionsguß zum Vergießen gelangenden Metallmengen um ein Vielfaches kleiner als bei den üblichen Produktionsverfahren zur Herstellung von Guß- und Schmiedestücken. Außerdem bedingen die hohen Ansprüche, die an die neuzeitlichen Legierungen des industriellen Präzisionsgießverfahrens gestellt werden, besondere, den spezifischen Anforderungen genügende Schmelzeinrichtungen.

Der mit Graphitstab beheizte Trommelofen, welcher zur Erzielung eines gleichmäßigen Schmelzvorganges eine einstellbare Schaukelbewegung um die Längsachse des trommelförmigen Schmelzraumes ausführt, besitzt einen in der Längsachse angeordneten Graphitstab, der durch niedrig gespannte Heizströme auf etwa 2000° erhitzt wird und durch Strahlung das Schmelzgut erwärmt.

Der kernlose Mittel- oder Hochfrequenz-Induktionsofen stellt einen Ofentyp dar, der sich in der Präzisionsgießerei als besonders vielseitig erwiesen hat. Die Wirkungsweise dieses Ofens ist einem Transformator vergleichbar, wobei die Ofenspule die Primär-, das Schmelzgut die Sekundärwicklung darstellt. Wenn ein mittel- oder hochfrequenter Wechselstrom (die Frequenz richtet sich im allgemeinen nach der Größe des Ofens) die hohle, innen wassergekühlte Kupferspule durchfließt, so entsteht in dem von der Spule umschlossenen Raum ein elektromagnetisches Wechselfeld. Ein in dieses Feld eingebrachter elektrischer Leiter, im vorliegenden Fall das Schmelzgut, erwärmt sich durch induzierte Ströme bis zum Schmelzpunkt und darüber hinaus.

Der kernlose Induktionsschmelzofen ist zur Herstellung von Legierungen, die hochschmelzende Metalle enthalten, sehr geeignet. Da die Induktionsströme je nach Frequenz und aufgegebener Leistung eine mehr oder weniger intensive Bewegung des flüssigen Schmelzbades erzeugen, werden die erst bei sehr hohen Temperaturen schmelzenden Reinmetalle, wie z. B. Wolfram, Molybdän, Niob und Tantal, in kurzer Zeit aufgelöst und in der Schmelze gleichmäßig verteilt. Schrott aus hochlegierten oder kohlenstofffreien Stählen und Legierungen läßt sich gut im Induktionsofen einschmelzen und durch entsprechende metallurgische Behandlung zu einem hochwertigen Produkt umwandeln. Der Rückgewinnungsfaktor kann bis zu etwa 98% des Legierungsinhaltes gehen. Es ist deshalb möglich, die Analyse des Fertigproduktes in engen Grenzen zu halten, falls die Zusammensetzung des Einsatzes bekannt ist.

Die Möglichkeit der stufenlosen Regulierung der Leistungsaufnahme gestattet, die gewünschten Badtemperaturen genau einzustellen. Die Kontrolle der optimalen Schmelz- und Gießtemperaturen ist eine wesentliche Voraussetzung für ein qualitativ hochwertiges und in seinen

Eigenschaften gleichmäßiges Erzeugnis. Gewisse warmfeste Legierungen z. B. weisen je nach den eingehaltenen Gießtemperaturen verschiedene Warmfestigkeiten auf. Mit Hilfe eines Platin-Platinrhodium-Eintauchthermoelementes können beim Induktionsofen die Gießtemperaturen genau registriert und abgelesen werden.

Als Ofenauskleidung haben sich sowohl basische, feuerfeste Stoffe (Magnesit, Magnesia-Spinell) als auch saure Futter, wie Silika oder Zirkonsilikat, bewährt.

Bei der Abkühlung des Metalls in der Form gelten dieselben Gesetze über die Erstarrung aus dem schmelzflüssigen Zustand, wie bei allen bisher bekannten Gießmethoden. Die Bemessuug der Steiger und Aufgüsse sowie der Anschnitte richtet sich nach den verschiedenen Gießdrücken bei den jeweils verwendeten Gießverfahren (Schleudergießen, Kippgießen oder Statischgießen).

Im allgemeinen werden die Präzisionsgußformen im Gegensatz zum gewöhnlichen Sandguß heiß, d. h. bei Formtemperaturen zwischen 700 und 1000 °C, abgegossen. Damit treten zusätzliche Probleme hinsichtlich der Vorausberechnung der Schwindung und der Anschnitttechnik auf. Infolge der Wärmeausdehnung der feuerfesten Materialien, die zur Herstellung der Gießform dienen, vergrößert sich der Formhohlraum bei steigenden Formtemperaturen und damit auch die Abmasse des Gußstückes. Diese Einflüsse können bei den im Präzisionsgießverfahren einzuhaltenden Toleranzen bereits recht spürbar sein, wenn die Formtemperatur nicht genau kontrolliert und eingehalten wird. Es ist deshalb auch sehr wichtig, die linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten der jeweils verwendeten Formstoffe zu kennen (Abb. 4).

Da der Formstoff isolierend wirkt, d. h. je Flächeneinheit nur eine begrenzte Wärmemenge durchläßt, können in der heißen Gießform infolge der zusätzlichen Aufheizung durch das einfließende Metall Wärmestaunngen,

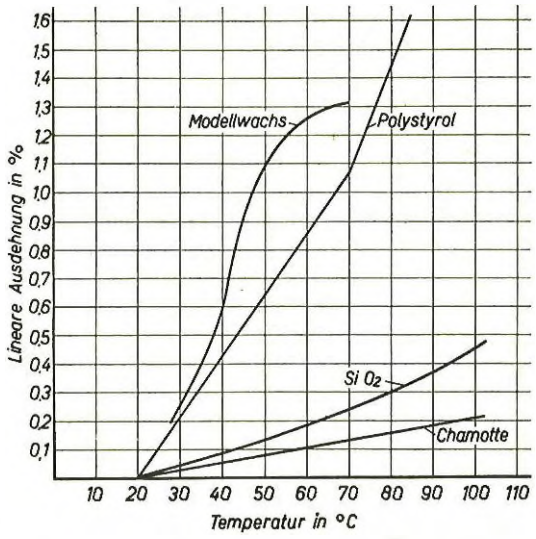
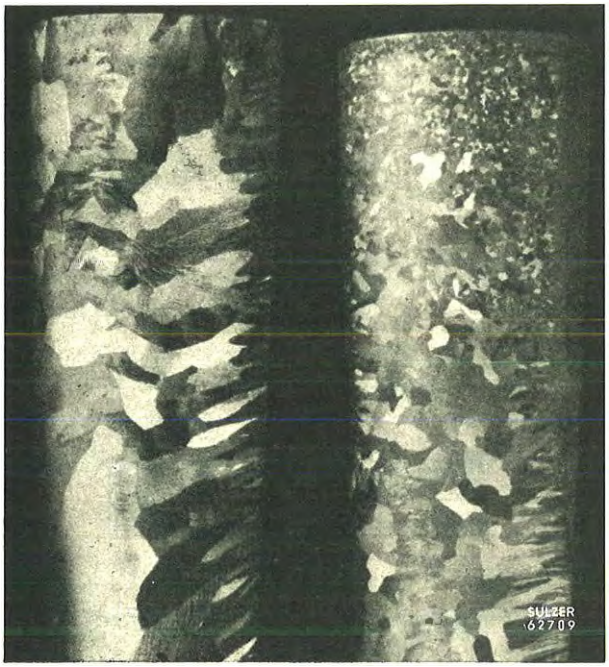


Abb. 4. Lineare Wärmedehnung von Modell- und Formmaterialien



Formtemperatur 800 °C Formtemperatur 20 °C

Abb. 5. Einfluß der Formtemperatur auf die Ausbildung der Primärkristalle

die zu vermehrter Lunkerbildung führen, eintreten, die im Sinne einer möglichst gleichmäßig gerichteten Erstarrung schon durch die Anordnung der Stücke, der Anschnitte und Steiger möglichst auf ein Minimum zu reduzieren sind. Aus diesem Grunde kommt einer völligen Beherrschung der Anschnittechnik, die ganz besondere Erfahrung erfordert, wesentliche Bedeutung zu. Es ist aber auch wichtig, daß die Konstruktion der Gußstücke den besonderen Anforderungen des Gießprozesses angepaßt wird.

Die Eigenschaften der gegossenen metallischen Werkstoffe werden in bestimmten Grenzen von den Abkühlungsbedingungen beeinflußt. Läßt man das Gußstück wie beim Präzisionsguß in der heißen Form abkühlen, so sind die dabei auftretenden Abkühlungsgeschwindigkeiten gegenüber gewöhnlichem Guß relativ klein. Eine Beeinflussung der Ausbildung des Kristallwachstums, besonders bei hochwarmfesten Legierungen, kann durch die Variation von Form- und Gießtemperatur erfolgen. Wird die Formtemperatur gesteigert, so sinkt die Abkühlungsgeschwindigkeit, was sich in der Vergröberung des Kornes zeigt (Abb. 5).

6. Putzerei und Nachbehandlung

Nach dem Abkühlen der Formen auf Raumtemperatur erfolgt das Auspacken mittels geeigneten Vorrichtungen, z. B. Preßlufthämmer usw. Das Aussanden und Abtrennen der Gußstücke vom Stamm geschieht in bekannter Weise mit Sandstrahlgebläse, Trennscheiben und Trennbandsägen. Präzisionsgußstücke bedürfen, ebenso wie

Tab. 1. Zahlentafel

Bezeichnung	Wärmebehandlung	Festigkeitswerte wärmebehandelter Präzisionsgußstäbe					
		Streckgrenze kg/mm²	Zugfestigkeit kg/mm²	Streckgrenzen-Verhältnis %	Kontraktion %	Dehnung %	Kerbzähigkeit mkg/cm²
Unlegierter Einsatzstahl St. C. 16,61 . . .	normalisiert	37,9	51,2	74	73,6	27,8	12,8
Cr–Ni-Einsatzstahl DIN ECN 35	vergütet	64,3	85,3	74	50,7	15,2	ca. 8
Cr–Mo-Einsatzstahl DIN ECMo 80 . . .	vergütet	97,4	113,3	86	54,4	13,0	ca. 4
Cr–Ni-Vergütungsstahl DIN VCN 35 h .	vergütet	90,7	103,4	88	44,0	14,6	ca. 8
Cr–Mo-Vergütungsstahl	vergütet	78,6	85,5	92	62,5	17,0	11,3
Cr–Ni-Stahl 18-8	wärmebehandelt	25,4	53,1	48	61,3	45,4 $L = 5d$	–

geschmiedete oder gewalzte Werkstoffe, einer zweckmäßigen Wärmebehandlung, um optimale und mit warmverformten Werkstoffen vergleichbare Eigenschaften zu erzielen. Neben den bisher meistens üblichen Abschreck- und Anlaßverfahren kann die Wärmebehandlung auch isotherm, d. h. durch Abschrecken im Warmbad, durchgeführt werden. Dieses Verfahren besitzt für Präzisionsgußstücke besondere Vorteile, weil Wärmedeformationen und innere Spannungen weitgehend vermieden werden, bei gleichzeitiger Erreichung sehr guter Festigkeitswerte.

Im warmverformten Werkstoff sind im allgemeinen die Festigkeitseigenschaften in der Faserlängsrichtung höher und in der -querrichtung niedriger als im Gußzustand, während sie im Präzisionsgußstück praktisch unabhängig von der Prüfrichtung sind. Durch Auswahl guter Rohstoffe, Verwendung geeigneter Schmelz-, Gieß- und Wärmebehandlungseinrichtungen sowie durch gründliche Beherrschung der metallurgischen Erfordernisse gelingt es auch beim Präzisionsguß, die für geschmiedetes Material in der bevorzugten Längsrichtung festgelegten Normenprüfwerte zu erfüllen.

In der folgenden Zahlentafel (Tab. 1) sind erreichbare Festigkeitswerte von einigen der gebräuchlichsten Stahlsorten angegeben. Daneben lassen sich aber auch mit Erfolg alle gießbaren Metalle und Legierungen verwenden, insbesondere Gußeisen und Metallegierungen, hochhitzebeständige und warmfeste Legierungen, Stellite, Werkzeugstähle usw. Hartlegierungen, die z. B. eine Härte von 60–65 Rc im Gußzustand erreichen, oder hochwarmfeste Stähle bieten besonders interessante Möglichkeiten, da eine spanabhebende Bearbeitung solcher Werkstoffe nicht mehr oder nur sehr schwer durchzuführen ist.

Die Genauigkeit, mit der Präzisionsgußstücke hergestellt werden können, richtet sich nach der Größe der Stücke, der verwendeten Kokille sowie der allgemeinen Form der Teile und kann für kleine Dimensionen bis herunter auf ± 0,1 mm gehen, so daß sich ein Großteil der spanabhebenden Bearbeitung vermeiden läßt. Die noch notwendigen Nacharbeiten an Präzisionsgußstükken umfassen z. B. Bearbeitung von Gleit- und Paßflächen, Ausführen von kleinen Bohrungen und Gewinden, Polieren usw. Größere Bohrungen, deren Toleranzen nicht zu eng liegen, können ebenfalls fertig gegossen werden.

Neben den offensichtlichen Vorteilen bei der Verwendung von nicht oder schwierig bearbeitbaren Werkstoffen, wie Stelliten usw., sind Präzisionsgußstücke besonders vorteilhaft bei Teilen, die durch ihre unregelmäßigen und exzentrischen Formen hohe Bearbeitungskosten

Tab. 2. Vergleich von Fabrikationskosten bei Verwendung von Präzisionsguß

Teil A (Serie von 250 Stück)	
Aus Stange bearbeitet inkl. Material und Werkzeugkosten	Fr. 31.90
Präzisionsgußteil	Fr. 4.60
Zusätzliche Bearbeitung	Fr. 8.75
Amortisation der Werkzeugkosten auf 250 Stück	Fr. 7.35
Total	Fr. 20.70
Einsparung bei Verwendung von Präzisionsguß	Fr. 11.20
Teil B (Serie von 750 Stück)	
Aus Stange bearbeitet inkl. Material und Werkzeugkosten	Fr. 15.50
Präzisionsgußteil	Fr. 2.20
Zusätzliche Bearbeitung	Fr. 2.50
Amortisation der Werkzeugkosten auf 750 Stück	Fr. –.85
Total	Fr. 5.55
Einsparung bei Verwendung von Präzisionsguß	Fr. 9.95

durch Fräsen und verwandte Operationen verursachen und kostspielige Maschinen, Vorrichtungen und Facharbeiter zu ihrer Herstellung erfordern. Ein Beispiel für die Einsparungsmöglichkeiten bei einem Bestandteil für Werkzeugmaschinen zeigt die folgende Aufstellung (Tab. 2), wobei die Serie von 250 Stück als sehr klein zu bezeichnen ist. Bei einer Verzehnfachung der Stückzahl sinken die Amortisationskosten für die Kokille beträchtlich, so daß die Gestehungskosten bei Verwendung von Präzisionsgußteilen noch weiter fallen.

Die Oberfläche der Gußstücke ist durch die Verwendung von speziell aufbereitetem Formmaterial außerordentlich fein. Die mittlere Oberflächenrauhigkeit beträgt RMS = 60–100 μ'' entsprechend 0,0015 bis 0,0025 mm.

Durch die Anwendung eines erhöhten Gießdruckes beim Schleudern ist es möglich, dünne Wandungen und scharfe Spitzen einwandfrei zu erzeugen. Im übrigen gelten für die Konstruktion von Präzisionsgußstücken dieselben Gesichtspunkte wie für die Gestaltnng aller Gußstücke, d.h. schroffe Querschnittsveränderungen, scharfe einspringende Kanten, allzu schlanke fliegende Bohrungen usw. sollten möglichst vermieden werden.

Durch die Art des Fabrikationsprozesses, sowie durch das Erfordernis relativ teurer Kokillen ist das beschriebene Präzisionsgießverfahren vorwiegend für die Fabrikation von Massenartikeln geeignet. In dieser Hinsicht gelten ähnliche Gesichtspunkte wie für den Spritzguß. Um jedoch auch kleine Serien oder sogar Einzelstücke wirtschaftlich herstellen zu können, wurde ein ergänzendes Verfahren entwickelt, das es ermöglicht, ohne Kokillen und ohne ausschmelzbare Modelle auszukommen. Die erzielbare Genauigkeit und Oberflächenbeschaffenheit ist dabei durchaus mit den im Ausschmelzverfahren erzielbaren Werten vergleichbar.

Dieses neue Verfahren erlaubt insbesondere, größere Stücke, die sonst im Ausschmelzverfahren nicht mehr herstellbar sind, zu fabrizieren. Insbesondere kommen in Frage: dickwandige Maschinen- und Apparatebestandteile bis zu einem Stückgewicht von 10 kg, vorgegossene Matrizen usw.

Das Präzisionsgießverfahren ist verhältnismäßig neu und muß sich seinen Platz in der Industrie erst noch behaupten. Wenn aber sowohl der Konstrukteur als auch der Betriebsmann sich erst einmal darüber klar sind, was das Präzisionsgießverfahren, richtig angewandt, zu leisten imstande ist, werden sich bestimmt in naher Zukunft neue und interessante Anwendungsgebiete eröffnen.