

1.5.7 Reflexionsvermögen

Das sichtbare Licht umfaßt die elektromagnetischen Strahlungen, deren Wellenlängen etwa in dem Bereich zwischen 400 nm und 700 nm liegen.

Alle Metalle sind als undurchsichtige Körper aufzufassen, die an der Oberfläche einen Teil des auffallenden Lichts absorbieren und die restliche Strahlung reflektieren. Dadurch werden Eigenfarbe und Helligkeit der Metalle bestimmt.

In Form eines Diagramms ist auf Bild 1.19 dargestellt, welcher Anteil der Strahlungen unterschiedlicher Wellenlänge von den Edelmetallen reflektiert wird, wenn das auftreffende Licht mit 100 % eingesetzt wird. Deutlich erkennt man beim Gold, dem einzigen farbigen Edelmetall, daß die Reflexion der violetten und blauen Töne wesentlich geringer ist als bei den gelben und roten. Silber hat unter allen Metallen das höchste Reflexionsvermögen; die Werte der Platinmetalle

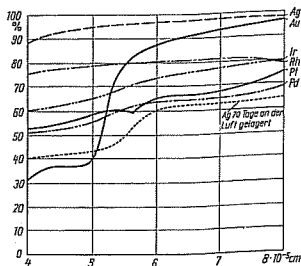


Bild 1.19 Reflexionsvermögen der wichtigsten Edelmetalle im Bereich des sichtbaren Lichts

liegen deutlich niedriger; der Kurvenverlauf ist bei allen diesen weißblauen Metallen ähnlich. Wenn das Silber anläuft, verringert sich das Reflexionsvermögen sehr, weil in dem entstehenden Silbersulfid-Belag erhebliche Teile des Lichts absorbiert werden. In der zunächst dünnen Schicht, die noch gelblich aussieht, werden die violetten und blauen Strahlungen zurück-

gehalten; mit steigender Schichtdicke entspricht die Absorption der abgebildeten Kurve, und die Schicht sieht bräunlich-gelb aus; wird der Belag noch dicker, wird das auf-fallende Licht fast restlos absorbiert, so daß der Silbergegenstand dann schwarz oder blau-schwarz aussieht. Bei den mit Schwefelober-geschwätzten (»oxidierten«) Silbergegenständen wird eine solche Wirkung beabsichtigt. Wenn man Silbergegenstände galvanisch rhodiniert, um sie vor dem Anlaufen zu schützen, wird das Reflexionsvermögen des Silbers durch das etwas niedrigere des Rhodiums ersetzt, man hat aber die Gewißheit, daß diese Wirkung auf die Dauer erhalten bleibt, weil das Rhodium an der Luft absolut beständig ist.

1.6 Edelmetalllegierungen

Als Legierung bezeichnet man die Mischung von zwei oder mehr Metallen bzw. von Metall mit Nichtmetallen, die meist durch Zusammenschmelzen der Komponenten hergestellt werden, ausnahmsweise aber auch durch Diffusion fester, flüssiger oder gasförmiger Stoffe in Metall entstehen können. Diese Mischungen haben selbst wieder metallische Eigenschaften.

Durch gezielte Auswahl und Dosierung der Komponenten können die Eigenschaften der reinen Metalle wesentlich beeinflusst und ganz neue Qualitäten geschaffen werden. Bei den Edelmetallen kommt noch die Verminderung des Preises dazu.

1.6.1 Löslichkeit der Metalle

Verhalten in flüssigem Zustand
Beim Zusammenschmelzen der Metalle können sich folgende Möglichkeiten ergeben.

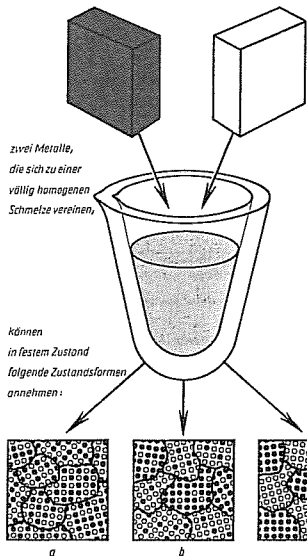
Völlige Unmischbarkeit. Es gibt in flüssigem Zustand keine gegenseitige Löslichkeit der Komponenten, die Metalle lagern sich entsprechend ihrer Dichte in deutlich unterscheidbaren Schichten übereinander ab. Dem entsprechend würden sich beim Gießen die Metalle voneinander getrennt in der Form absetzen.

Wenn man den Metallen in flüssigem Zustand

keine homogene Mischung zu erreichen ist, besteht keine Möglichkeit, daraus eine brauchbare Legierung herzustellen!

Völlige Löslichkeit. Hierbei lösen sich die Metalle in jedem beliebigen Mischungsverhältnis zu einer homogenen Schmelze, in der die Ausgangsstoffe nicht mehr zu unterscheiden sind. Dieser Fall ist der bei weitem häufigste und wichtigste, denn nur aus einer homogenen Schmelze kann eine Legierung entstehen.

Begrenzte Löslichkeit. In der Schmelze des einen Metalls wird nur eine begrenzte Menge des jeweils anderen Metalls aufgenommen; wird diese Grenze überschritten, setzt sich der Überschuss als unlösliche Schicht in der Schmelze ab.



Verhalten in festem Zustand (Bild 1.20)

Homogene Mischkristalle. Wenn die beteiligten Metalle den gleichen Gittertyp bilden und etwa gleiche Atomgröße haben, kann es sein, daß die völlige Löslichkeit auch in festem Zustand beibehalten wird. Das Kristallgitter wird von den Atomen der beteiligten Metalle gemeinsam aufgebaut, in jedem Kristallit sind die Legierungsmetalle in gleichem Verhältnis wie in der Gesamtleistung verteilt. So entspricht das Mikroschliffbild einer Legierung Au-Ag oder Au-Cu dem eines reinen Metalls.

Heterogenes Kristallgemenge. Sind die Komponenten aber in ihrem strukturellen Aufbau unterschiedlich, so »entmischen« sich die einheitliche Schmelze beim Erstarrungsprozess, und jeder Gitterverband wird jeweils nur von einer Atomart gebildet, die Kristallite bestehen immer nur aus einem der beteiligten Metalle. Diese Form absoluter Unlöslichkeit in festem Zustand kommt in der Praxis nur selten vor.

Bild 1.20 Legierungsbildung aus der homogenen Schmelze (Schema). a) homogene Mischkristalle, b) begrenzte Mischkristallbildung, c) heterogenes Kristallgemenge

c) Man schmilzt zusammen:

$$29,26 \text{ g Au } 833 \\ + 1,90 \text{ g Ag} \\ + 10,49 \text{ g Cu}$$

Man erhält:

$$41,65 \text{ g Au } 585$$

Farbänderung bei konstantem Feingehalt. Dieser Fall tritt dann ein, wenn die Legierung nicht in gewünschter Farbe zur Verfügung steht und eine andersfarbige Legierung des gleichen Feingehalts zu diesem Zweck benutzt werden soll. Durch Zugabe von Zusatzmetall wird die Farbe beeinflusst; zum Ausgleich des Feingehalts der größeren Masse der Ziellegierung muß natürlich auch noch Feingold zugesetzt werden. Das Berechnungsverfahren entspricht dem Hochlegieren.

Beispiel. Ausgangslegierung: 24,9 g Au 750, hellgrün, mit 214 Tausendteilen Ag und 36 Tausendteilen Cu
Ziellegierung: x g Au 750, rötlichgelb, mit 83 Tausendteilen Ag und 167 Tausendteilen Cu.

a) Berechnungsverfahren: Hochlegieren, da der Silberanteil fällt, bildet Ag die Rechengrundlage.

b) Zusammensetzung der Ausgangslegierung:

$$1000 : 750 = 24,9 : x \\ x = \frac{750 \cdot 24,9}{1000} = 18,68 \text{ g Au } 750 \\ 1000 : 214 = 24,9 : x \\ x = \frac{214 \cdot 24,9}{1000} = 5,32 \text{ g Ag} \\ 24,9 - (18,68 + 5,32) = 0,9 \text{ g Cu}$$

c) Gesamtmasse der Ziellegierung:

$$1000 : 83 = x : 5,32 \\ x = \frac{1000 \cdot 5,32}{83} = 64,1 \text{ g Au } 750$$

d) Zusammensetzung der Ziellegierung:

$$1000 : 750 = 64,1 : x \\ x = \frac{750 \cdot 64,1}{1000} = 48,08 \text{ g Au}$$

$$1000 : 167 = 64,1 : x$$

$$x = \frac{167 \cdot 64,1}{1000} = 10,70 \text{ g Cu}$$

	Gesamtmasse	Au	Ag	Cu
Ausgangslegierung	24,9	18,68	5,32	0,90
Differenz	+ 39,2	+ 29,40	0	+ 9,80
Ziellegierung	64,1	48,08	5,32	10,70

e) Man schmilzt zusammen: 24,90 g Au 750 + 29,40 g Au + 9,80 g Cu

Man erhält:

$$64,10 \text{ g Au } 750$$

1.7 Kupferlegierungen

Während den Edelmetallen Kupfer nur in geringer Menge zugesetzt wird, um deren Eigenschaften zu verbessern, bildet es nun die Grundlage der Kupferlegierungen, die auch als »Buntmetalle« bezeichnet werden (Tabelle 1.11). Es gelten folgende Normen:

- DIN 1705: Guß-Zinnbronze, Rotguß
- DIN 1709: Guß-Messing, Guß-Sondermessing
- DIN 1714: Guß-Mehrstoff-Aluminiumbronze
- DIN 1716: Guß-Zinn-Blei-Bronze
- DIN 1718: Benennung der Kupferlegierungen
- DIN 1787: Halbzeuge aus Kupfer
- DIN 17660: Messing, Sondermessing
- DIN 17662: Zinnbronzen
- DIN 17663: Neusilber
- DIN 17664: Kupfer-Nickel-Legierungen
- DIN 17665: Aluminiumbronzen.

Cu-Zn ergibt das Messing.

Wird das Kupfer mit Ni, Al, Ag, Be, Mn, Si und speziell mit Sn legiert, werden Bronzen gebildet, die nach dem Zusatzmetall benannt werden, wie »Aluminiumbronze«.

Unter den Mehrstofflegierungen sind in unse-

Tabelle 1.11 Technisch wichtige Kupferlegierungen

Werkstoffsorte	Legierungselemente in %					Brinellhärte in HB	Festigkeit in N/mm²	Dehnung in %	Verwendung
	Cu	Zn	Sn	Ni	Begleitmetalle				
CuZn 4	95...97	3...5	-	-	0,2	60	225	40	Emallieren, Enthalten, Moderschmuck, Dübel
CuZn 10	89...91	9...11	-	-	0,2	60	235	41	Moderschmuck
CuZn 15	84...86	14...16	-	-	0,3	60	255	42	Moderschmuck
CuZn 20	78...81	19...22	-	-	0,3	65	265	43	Moderschmuck
CuZn 30	69...73	27...31	-	-	0,3	70	284	45	Tiefzieharbeiten, Spanlose Kaltformung
CuZn 37	62...65	35...38	-	-	0,5	80	334	30	Spanlose Kaltformung
CuSn 4	95...97	-	3...5	-	0,3	70	314	48	Spanlose Kaltformung
CuSn 8	91...93	-	7...9	-	0,3	90	392	55	Spanlose Kaltformung
CuSn 12	87...89	-	11...13	-	0,3	105	314	15	Gießlegierung
CuSn 14	85...87	-	13...15	-	0,3	115	230	5	Gießlegierung
CuSn 4 Zn 3	93...94	2...7	3...5	-	0,2	110	420	60	Rohre, Federn, Gußeile
CuSn 6 Zn 6	86...90	5...7	5...7	-	0,2	100	400	50	Rohre, Federn, Gußeile
CuSn 10 Zn	87...89	1...3	8...11	-	0,2	90	294	10	Rohre, Federn, Gußeile
CuNi 12 Zn 24	61...63	24...28	-	11...13	0,2	80	350	40	Tiefzieharbeiten, Bestock
CuNi 18 Zn 20	60...64	23...17	-	17...19	0,2	85	380	36	Tiefzieharbeiten, Bestock
CuNi 25 Zn 15	58...62	12...18	-	24...26	0,2	95	400	32	Tiefzieharbeiten, Bestock

rem Zusammenhang Rotguß (Cu-Sn-Zn) und Neusilber (Cu-Ni-Zn) wichtig.

Mit Zn, Sn und Al bildet das Kupfer α-Mischkristalle, indem geringe Mengen dieser Metalle in das kubisch-flächenzentrierte Gitter des Kupfers eingebaut werden, maximal 39 % Zn, 14 % Sn, 9 % Al. Kupferlegierungen mit solchem Gefüge sind gut plastisch formbar. Wenn der Anteil der Zusatzmetalle an der Gesamtlegierung größer ist, entstehen kompliziert aufgebaute Metallide. Mit einem mäßigen Anteil von β-Mischkristallen ergeben sich noch praktisch nutzbare Gießlegierungen, alle weiteren Metallide sind so hart und spröde, daß solche Legierungen nicht mehr verwendbar sind.

Aus den komplizierten peritektischen Systemen werden nur die praktisch wichtigen Bereiche abgebildet (Bilder 1.62 und 1.63).

Messing. Wenn auch aus dem Diagramm hervorgeht, daß sich der Bereich der α-Mischkristalle von 33 % Zn bei 902 °C auf 39 % Zn bei 454 °C erweitert, so wird in der Praxis bei Legierungen dieses Bereichs ein Zwischenzustand »eingefroren«, so daß mit einem gewissen Anteil von β-Mischkristallen im Gefüge zu rechnen ist, wenn die Legierung mehr als 33 % Zn enthält. Solche Legierungen haben eine höhere Festigkeit – was den Gebrauchswert durchaus erhöhen kann – ohne daß sie spröde sind. Beim Polieren werden die β-Mischkri-

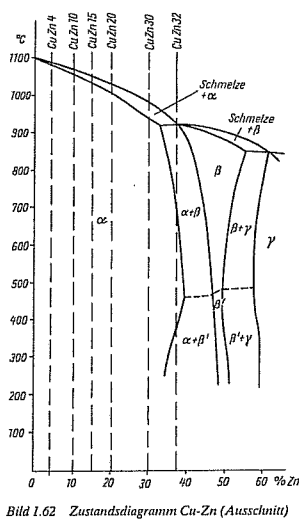


Bild 1.62 Zustandsdiagramm Cu-Zn (Ausschnitt)

stalle schwerer abgelöst, so daß sie ein Relief bilden, und man bekommt keinen Hochglanz. Beim Ätzen werden sie leichter herausgelöst, und der Ätzgrund wird rau. Je mehr der β-Anteil das Gefüge bestimmt, um so schwieriger wird die Umformung in kaltem Zustand, während sich gute Warmumformung einstellt. Reines β-Messing, »Schraubenmessing«, wird im Strangpreßverfahren geformt. Für den Gold- und Silberschmied kommen vorwiegend solche Messingsorten in Frage, die auch bei rascher Abkühlung nur α-Mischkristalle bilden, die also höchstens 33 % Zn enthalten. Legierungen mit geringem Zinkgehalt werden noch von der Kupferfarbe beeinflusst, sind also rot (CuZn 4) bis hellrot (CuZn 20), mit steigendem Zinkanteil ergeben sich goldähnliche Farbtöne. Mit dem Zinkgehalt stei-

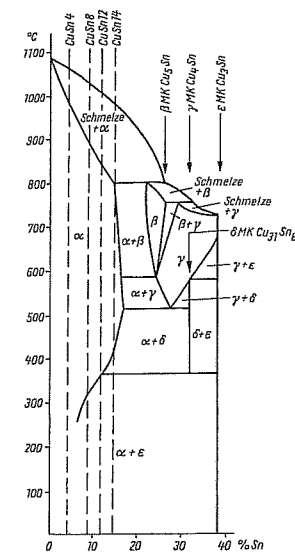


Bild 1.63 Zustandsdiagramm Cu-Sn (Ausschnitt)

gen Härte und Festigkeit, während die Dehnung abnimmt. Für Modeschmuck und als Grundmetall des Dublee wird CuZn 10 bevorzugt. Es ist gut formbar, ist deutlich härter als Kupfer und hat deshalb gute Gebrauchseigenschaften; durch »Gelbbrennen« kann der rötliche Farbton verändert werden, so daß es fast »goldfarbig« wird. Besonders CuZn 4, aber auch noch CuZn 10 sind als Grundmetalle für Emailarbeiten geeignet. Traditionellerweise werden die rötlichen Messingsorten als »Tombak« bezeichnet, ohne daß eine genaue Abgrenzung dafür gegeben werden kann.

Zum Aufziehen von Gefäßen und Schalen, zum Ziselieren und für Ziergerät aller Art wird meist CuZn 33 benutzt, weil Formbarkeit bei der Fertigung, Festigkeit im Gebrauch, Farbe und Polierbarkeit in einem guten Verhältnis stehen. Die bisher als »Sondermessing« bezeichneten Cu-Zn-Knetlegierungen (DIN 17660) enthalten zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften (Festigkeit, Verschleißfestigkeit) und der Korrosionsbeständigkeit geringe Zusätze anderer Metalle, wie Al, Fe, Mn, Ni, Sn und sogar Si. Zur Verbesserung der spanenden Bearbeitung wird etwas Pb zugesetzt.

Zinn-Bronzen. Mit Sicherheit kann man bis zu dem Zinngehalt von 6 % mit reinem α-Mischkristallgefüge rechnen; solche Legierungen sind ohne Schwierigkeiten plastisch formbar. Bei höherem Zinngehalt wird nach komplizierten Umwandlungsvorgängen ein eutektisches Gefüge aus α-Mischkristallen und dem spröden Metallid Cu₃Sn gebildet. Seit der nach dieser Legierung benannten Bronzezeit hat sich die Zinn-Bronze als Gußlegierung bewährt. Als Gußlegierung kann die Bronze bis zu 20 % Sn enthalten, genormt sind aber nur Bronzen bis maximal 11 % Sn. Bekanntlich hat sich die Zinn-Bronze beim Gießguß und bei figürlichem Kunstguß bewährt, aber auch in der Technik hat diese Gußlegierung Bedeutung.

Mit steigendem Zinngehalt wird die rote Kupferfarbe zu einem warmen Goldton, Härte und Festigkeit steigen, während die Dehnung abnimmt.

Rotguß. Dies ist eine Zn-Sn-Bronze, die wegen des Zinkzusatzes eine noch dünnflüssigere Schmelze ergibt, so daß damit feinste Gußarbeiten hergestellt werden können.

Neusilber. Im Gegensatz zu den bisher behandelten Zusatzmetallen bilden Ni mit Cu in jedem Mischungsverhältnis ein homogenes Mischkristallgefüge, und so ist es möglich, daß die Neusilberlegierungen aus 58...67 % Cu, 11...26 % Ni und 12...26 % Zn nur aus Mischkristallen bestehen und keine Metallide gebildet werden, so daß sie zur spanlosen Formung gut geeignet sind.

Die genormte Gußlegierung mit 45...50 % Cu, 10...16 % Ni, Rest Zn hat ein heterogenes Gefüge aus kfz α-Mischkristallen und kfz β-Mischkristallen. Wegen der silberähnlichen Farbe und der hohen Luftbeständigkeit, verbunden mit guten mechanischen Eigenschaften wird Neusilber bei der Schmuckgestaltung mit eingesetzt. Es läßt sich gut vergolden und versilbern. Federn und Nadelstiele werden auch bei Edelmetall-Schmuckstücken wegen der größeren Festigkeit und Federung mitunter aus Neusilber gemacht. Da diese Teile nicht mit dem Edelmetall verlötet werden, darf das Stück trotzdem gestempelt werden!

Als »Alpaka« bildet es das Grundmetall versilberter Bestecke, die aber heute durch die strapazierfähigeren Stahlbestecke verdrängt worden sind. Die Legierung wurde in China als »Packfong« und seit der Mitte des 18. Jahrhunderts in Europa als »Weißkupfer« verwendet. Weitere Bezeichnungen für Neusilber, oft auch in versilbertem Zustand gemeint, sind: Argentan, Alpaca bzw. Alpaka, Christofle-Metall, Alfenide.

1.8 Stahl und Gußeisen

Eisen und Stahl in all ihren vielfältigen Modifikationen bilden nach wie vor die wichtigsten Werkstoffe der Technik. Dies trifft auf die Werkzeuge, Hilfsmittel und Maschinen zu, die in Handwerk und Industrie zur Herstellung von Schmuck und Gerät eingesetzt werden. Darüber hinaus werden hochwertige Stähle als Werkstoffe für Bestecke, Tischgerät und sogar für Schmuck genutzt. Da es genügend Spezialliteratur über diese Werkstoffe gibt, soll hier nur eine ganz kurze Übersicht gegeben werden.

Veredeln des Roheisens

Beim Erschmelzen der Eisenerze im Hochofen entsteht das Roheisen, aus dem durch weitere Raffination über weißes Roheisen die verschiedenen Stahlsorten und über graues Roheisen die Gußeisenarten produziert werden (Tabelle 1.12).

7,38 kg Fußbodengekrätz (Au, Ag, ohne Platinmetalle)
oder: 425 g Brettgekrätz (vorwiegend Au, wenig Ag, keine Platinmetalle).

Platinhaltige Abfälle. Die Aufarbeitung von Abfällen der Platinmetalle ist besonders aufwendig und teuer, besonders dann, wenn die einzelnen, einander sehr verwandten Platinmetalle noch von einander getrennt werden müssen. Platinhaltige Abfälle müssen deshalb immer als getrennte Posten verpackt und gekennzeichnet werden. Es muß möglichst genau angegeben werden, welche Platinmetalle enthalten sind:

11,8 g Bruch mit etwa 90 % Pt
oder: 28,4 g Feilung von Weißgold 18 W (Au, Ag, Pd).

Auch bei gemischten Abfällen gibt man den ungefähren Platingehalt an:

19,4 g gemischte Feilung (Au, Ag, etwa 20 % Pt und Pd)

Elektrolyt-Rückstände. Die Entsorgung verbrauchter galvanischer Bäder übernehmen die Scheideanstalten als Service-Leistung.

4.4 Schmelzen

4.4.1 Schmelzvorgang

Es ist für den Goldschmied ein selbstverständlicher, alltäglicher Vorgang, daß beispielsweise irgendwelche Goldschmispel zur Wiederverwendung zusammengeschmolzen werden, daß also ein Metallblock vom festen in den flüssigen Zustand gebracht werden kann, wenn genügend Wärmeenergie zugeführt wird. Die komplexen Vorgänge, die sich dabei im Mikrobereich abspielen, sind bisher noch nicht völlig erforscht und sollen hier nur so vereinfacht beschrieben werden, wie es zum Verständnis der praktischen Arbeit nötig ist. Schon bei Zimmertemperatur ist das Kristallgitter kein starres, unbewegliches Gebilde, sondern ein dynamisches System, in dem die von den umherschweifenden Elektronen umgebenen Metallionen innerhalb vorgegebener Bereiche in ständiger Bewegung sind, durch gegenseitige Anziehungskräfte aber als Gesamtverband zusammengehalten werden; im

Modell stellt man es sich so vor, als ob Atomkugeln durch Gummibänder miteinander verbunden wären. Bei Temperaturerhöhung um etwa 15 K verdoppelt sich die Bewegung, wodurch sich der Atomverband auflöst: Das Gefüge erweicht, weil sich mit wachsendem Atomabstand die Kohäsionskräfte verringern. Als praktische Auswirkung kann man beobachten, daß sich ein Werkstück beim Glühen verbiegt, wenn es keine flache Unterlage hat; außerdem verursacht die Vergrößerung des Atomabstands die Wärmeausdehnung des Metalls. Ist schließlich die Schmelztemperatur erreicht, wird die Bewegungsenergie größer als die gegenseitigen Anziehungskräfte, so daß sich die Atome aus dem Gitterverband lösen können. Das Gefüge bricht nicht plötzlich zusammen, sondern man muß sich das Erschmelzen des Metallblocks als einen allmählich fortschreitenden Prozeß vorstellen: Da die Schmelztemperatur zuerst an der Oberfläche des Blocks erreicht wird, beginnt auch hier die Gefügauflösung, während der Kern noch nicht die Umwandlungstemperatur erreicht hat. Im Mikrobereich muß man sich den Zerfall der Kristallite ähnlich vorstellen, denn zunächst lösen sich die relativ locker gebundenen Außenatome im Korngrenzenbereich, und erst nach und nach setzt sich die Gefügauflösung des Kristalls von außen nach innen zum Kristallkern fort (Bild 4.10).

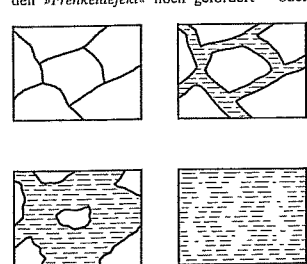


Bild 4.10 Auflösung der Kristallite beim Schmelzen (Schema)

überhaupt erst ermöglicht: Bei Annäherung an die Schmelztemperatur wird die kristallografische Ordnung immer mehr gestört, indem eine erhebliche Anzahl von Atomen ihre Gitterplätze verlassen und sich zwischen die regelmäßig geordneten Nachbaratome drängen. So werden einerseits Gitterlücken gebildet, während andererseits die Ordnung des Gesamtgitters durch die Atome auf den Zwischengitterplätzen gestört wird. Wären die Atome starrer Kugeln, so bliebe bei Gitterbausteinen gleicher Größe nicht genügend Zwischenraum übrig, um zusätzliche Teilchen aufzunehmen. In Wirklichkeit sind die Elektronenhüllen der Atome jedoch deformierbar, und es erscheint einleuchtend, daß bei geringer Verschiebung der Nachbarn zusätzliche Atome in ein Kristallgitter hineingezwängt werden können. Zwischen den schrumpfenden Kristalliten bildet sich immer mehr Schmelze, die Reste der Kristallite schwimmen in der Schmelze wie Eisstücke im Wasser. Äußerlich bemerkt man, daß sich das Metall in einem teigartigen Zustand befindet. Während sich die Oberflächenschicht verflüssigt und die Metallteile auf den Boden des Tiegels fließen, setzt sich der Auflösungsprozeß des Metallblocks immer weiter fort, bis von den ursprünglichen Metallteilen nichts mehr zu bemerken ist und eine homogene, bewegliche Schmelze entstanden ist.

Während dieser Zeit wird die zugeführte Wärmeenergie zur Auflösung des Gitterverbandes verbraucht und den Atomen zur Erhöhung der Bewegungsenergie zugeführt. Bei reinen Metallen bleibt die Temperatur konstant, bis der gesamte Block restlos verflüssigt ist, also bis alle Gitterverbände aufgelöst sind. Bei Legierungen steigt die Temperatur während der Gitterauflösung normalerweise leicht an, nämlich von der Solidus- zur Liquidustemperatur; nur bei der eutektischen Legierung sind beide Temperaturpunkte identisch, so daß auch in diesem Fall die Kurve wie beim reinen Metall gerade bleibt.

Wenn die Beziehung von Zeit und Temperatur grafisch dargestellt wird, ergeben sich die typischen Schmelzkurven (Bild 4.11). Der zur Änderung des Aggregatzustands erforderliche Wärmeverbrauch ist bei den einzelnen Metallen unterschiedlich, er ist von der spezifischen Wärmekapazität und der Schmelzwärme des jeweiligen Metalls abhängig (vgl. Tab. 1.16).

4.4.2 Schmelzubehör

Schmelzeinrichtungen

Das Schmelzverfahren blieb seit der Antike

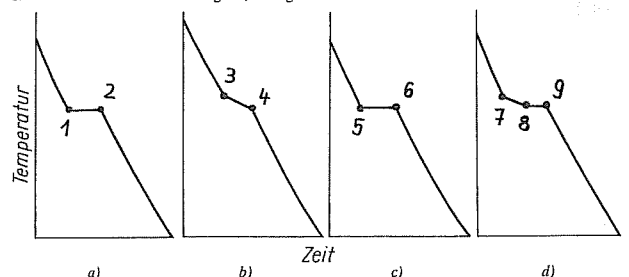


Bild 4.11 Wichtige Grundtypen der Schmelzkurven. a) Reines Metall; (1-2) Schmelz- bzw. Erstarrungskurve, b) Normallegierung; (3) Liquidustemperatur, (4) Solidustemperatur, c) eutektische Legierung; (5) Liquidustemperatur, (6) Solidustemperatur, (5-6) eutektische Temperatur, d) über- bzw. untereutektische Legierung; (7) Liquidustemperatur, (7-8) Entstehung der Primärkristalle, (8-9) Entstehung des eutektischen Gefüges, (9) Solidustemperatur

Nun wird zunächst das Feinsilber geschmolzen und es sich mit dem heißen Edelmetall. Wenn das Cadmium völlig legiert ist, wird die Legierung erneut geschmolzen, um sie völlig zu homogenisieren, und dann gießt man sie aus. Wenn man das Zink nicht als Messing, sondern in reiner Form zusetzen will, verfährt man ebenso.

Noch besser und wirkungsvoller ist folgendes Verfahren: Die Legierungsmetalle werden zu möglichst dünnen Streifen ausgewalzt. Wenn ein Silberlot Ag-Cu-Zn-Cd hergestellt werden soll, packt man alle Zusatzmetalle in das Feinsilberblech ein, wie man ein Buch in Packpapier einwickelt. Dann wird das Paket durch mehrfaches Falten möglichst klein und dicht zusammengelegt und -gehämmert. Beim anschließenden Schmelzen legieren sich in dem Paket zunächst die niedrigschmelzenden Metalle unter Luftabschluß, und erst zum Schluß wird auch das umhüllende Silberblech in die Legierung einbezogen. Anschließend soll man die Legierung noch zweimal auswalzen und umschmelzen, um sie völlig zu homogenisieren.

Gold-Silber-Kupfer. Um diese Dreistofflegierung herzustellen, setzt man die beiden Edelmetalle gleichzeitig in den Tiegel, so daß sie sich beim Erhitzen gleich legieren. Dadurch braucht man gar nicht bis zum Schmelzpunkt des Goldes erwärmen. Sind die Edelmetalle flüssig, wird das vorbereitete Kupfer ebenso wie bei der Silber-Kupfer-Legierung zugesetzt. Legiert man in kleinen Schmelzschalen, genügt es, wenn das Schmelzgut unter weicher, desoxidierender Flamme leicht geschüttelt wird, um die Vereinigung der Metalle zu unterstützen.

Sonstige Mehrstofflegierungen. Damit sind hauptsächlich Farbgold- und Lotlegierungen gemeint, bei denen oft Metalle mit niedrigem Schmelzpunkt zugesetzt werden.

Die Ansicht, daß die Metalle in der Reihenfolge ihrer Schmelzpunkte eingebracht werden sollen, ist irrig: Prinzipiell schmilzt man erst die Edelmetalle und gibt dann die Unedelmetalle zu. Um das Verdampfen und Oxidieren der niedrigschmelzenden Zusatzmetalle zu vermeiden, bindet man sie in Vorlegierungen; beispielsweise Zink in Form von Messing, Cadmium als Legierung mit Silber.

Wenn man das Cadmium nur einfach in die Edelmetallschmelze schüttet, verbrennt ein unkontrollierbarer Anteil dieses niedrig schmelzenden Metalls mit einer rotbraunen Cadmiumoxid-Wolke. Mit folgendem Verfahren kann dies weitgehend verhindert werden: Das Edelmetall – oder die Edelmetalllegierung – wird geschmolzen, dann läßt man es im Tiegel oder in der Schmelzschale so weit abkühlen, daß es gerade erstarrt. Diesen glühend heißen »König« hebt man leicht an, schiebt das Cadmium darunter, und durch die Hitze des Edelmetalls wird das Cadmium ohne äußere

Wärmezufuhr erschmolzen, und sofort legiert es sich mit dem heißen Edelmetall. Wenn das Cadmium völlig legiert ist, wird die Legierung erneut geschmolzen, um sie völlig zu homogenisieren, und dann gießt man sie aus. Wenn man das Zink nicht als Messing, sondern in reiner Form zusetzen will, verfährt man ebenso.

Noch besser und wirkungsvoller ist folgendes Verfahren: Die Legierungsmetalle werden zu möglichst dünnen Streifen ausgewalzt. Wenn ein Silberlot Ag-Cu-Zn-Cd hergestellt werden soll, packt man alle Zusatzmetalle in das Feinsilberblech ein, wie man ein Buch in Packpapier einwickelt. Dann wird das Paket durch mehrfaches Falten möglichst klein und dicht zusammengelegt und -gehämmert. Beim anschließenden Schmelzen legieren sich in dem Paket zunächst die niedrigschmelzenden Metalle unter Luftabschluß, und erst zum Schluß wird auch das umhüllende Silberblech in die Legierung einbezogen. Anschließend soll man die Legierung noch zweimal auswalzen und umschmelzen, um sie völlig zu homogenisieren.

Umschmelzen von Legierungen

Fehlerfreie Legierungen. Wenn man einwandfreie Abfälle, Granalien oder Bruch von Edelmetalllegierungen schmelzen will, braucht man beim Umschmelzen nur etwas Borax zusetzen. Durch ein Abdeckmittel kann der Sauerstoffzutritt eingeschränkt werden. Grundsätzlich soll man nicht länger schmelzen, als unbedingt erforderlich ist.

Fehlerhafte Legierungen. Hierzu gehören alle Legierungen, die kaum oder gar nicht mehr weiterverarbeitet werden können.

Ehe man versucht, die Eigenschaften der Legierung durch nochmaliges Umschmelzen zu verbessern, muß nach folgenden Richtungen diagnostiziert werden:

- Wodurch sind die Fehler entstanden oder wodurch könnten sie verursacht sein?
- Nicht immer wird man darauf eine eindeutige Antwort geben können, aber eine Vermutung hat man meist.

Bei Fehlern, die durch falsche Behandlung während der Bearbeitung entstanden sind, wie

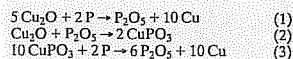
etwa Rißbildung beim Walzen, verursacht durch hohe Beanspruchung beim Walzen ohne zwischendurch zu glühen, genügt das einfache Umschmelzen ohne besondere Zusätze.

Die weitaus meisten Fehler sind jedoch auf Verunreinigungen zurückzuführen, die während dem Zusammenschmelzen beim Legieren entstanden sind.

Reduzierendes Umschmelzen. Diese Art des reinigenden Schmelzens wendet man an, wenn man vermutet, daß die Verunreinigungen durch Sauerstoff oder andere Gase verursacht wurden, die entweder in reiner Form im Metallblock gelöst oder als Metallverbindungen auftreten können. Die häufigste Erscheinungsform des Sauerstoffs in der Edelmetalllegierung ist das rote Kupfer(I)-oxid Cu_2O , also eine Verbindung, die auch bei höheren Temperaturen beständig ist und erst in schmelzflüssigem Zustand durch Reduktionsmittel gelöst werden kann.

Das reduzierende Schmelzen kann auf folgende Weise erfolgen:

- Bei mäßigen Verunreinigungen genügt es, wenn man das erwähnte Schmelzmittelgemisch zusetzt.
- Durch Zugabe von 0,5% Cd kann man leicht und ohne Schaden für die Gesamtlegierung auch größere Mengen von Oxiden auflösen. So, wie es beschrieben worden ist, setzt man das Cadmium der betreffenden Legierung zu. Während des anschließenden Schmelzprozesses soll das Cadmium durch Reduktion der enthaltenen Metalloxide umgesetzt werden und als Cadmiumoxid entweichen. Da eventuell verbleibende Cadmium-Reste die Legierung nicht beeinträchtigen, kann dieses harmlose Verfahren sehr empfohlen werden.
- Dagegen ist die Reduktion mit Phosphorkupfer komplizierter, da unverbrauchte Reste zu Schädigungen der Legierung führen können. Deshalb muß man mit möglichst geringer Dosierung arbeiten und nur bei Bedarf nach und nach noch etwas mehr zugeben. Normalerweise genügt der Zusatz von 1% Phosphorkupfer zur Legierung; es entspricht etwa 0,15% P. Man setzt es ebenso wie Cadmium zu. Die Metalloxide werden nach folgendem Schema gelöst:



Die Reduktion läuft zunächst nach (1) ab, indem sich gasförmiges Phosphorpentoxid bildet. Durch die Verringerung des Cu_2O -Anteils erfolgt dann die Reaktion nach (2), wobei Kupfermetaphosphat CuPO_3 entsteht, das nur zum Teil nach (3) wieder gelöst wird, der andere Teil wird verschluckt, da es in der Metallschmelze unmisierbar ist. Die entstehenden P_2O_5 -Dämpfe hüllen als Schutzgas Schmelzoberfläche und Gießstrahl ein.

Leider hat dieses wirkungsvolle Reduktionsmittel den Nachteil, daß verbleibende Phosphorreste bereits in kleinen Mengen (0,001% P genügt) die Gesamtlegierung erheblich schädigen können. Es bilden sich schräge Verbindungen, wie Ag_2P , Cu_3P , Ni_3P , die mit den betreffenden Metallen niedrigschmelzende Eutektika bilden.

Oxidierendes Schmelzen. Wenn man vermutet, daß die Schädigung der Legierung durch Beimengungen unedler Fremdmetalle, wie Pb, Sn, Zn, Al usw. verursacht worden ist, schmilzt man die Legierung mit oxidierenden Schmelzmitteln, um, also mit Chemikalien, die Sauerstoff abgeben, damit die unerwünschten Metalle als Oxide gebunden und in die Schlacke abgeführt werden können.

Zunächst wägt man die Legierung aus. Man benutzt Hessische Tontiegel, weil Graphittiegel durchbrennen können. Die Tiegel werden zu etwa einem Drittel mit Metall gefüllt. Wenn es flüssig ist, gibt man bis zur gleichen Menge Salpeter zu und schmilzt, bis die Masse nicht mehr brodelnd. Solange der Salpeter aktiv ist, bleibt die Flamme grünlich, hört die Flammenfärbung auf, ist er verbraucht. Der Tiegelinhalt wird auf eine Stahlplatte gegossen, die Schlacke abgeschlagen und zerkleinert, etwaige Goldteilchen sucht man heraus. Das Metall wird nun in Salpetersäure abgekocht, gewaschen und getrocknet. Ein Ende des Blocks hämmert man möglichst dünn aus. Wenn es nicht hält und graue Bruchflächen zeigt, muß der Arbeitsgang wiederholt werden.

Nun kann man den Mengenverlust durch Zusatz von Kupfer und etwas Silber ausgleichen, denn in einem neuen Tiegel muß das abgetriebene Metall noch mal durchgeschmolzen werden.

Schmelzen von Feilung. Wenn die Feilung durch Umschmelzen regeneriert werden soll, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Sie muß nur von einer Legierung mit bestimmtem Feingehalt stammen.
- Es dürfen keine Fremdmetalle zwischen der Feilung sein.
- Die Feilung darf keine Schmirgel-, Schleif- und Polierrückstände enthalten.
- Außerdem dürfen keine wesentlichen Anteile anderer nichtmetallischer Verunreinigungen enthalten sein.

Die Eisenteile zieht man mit dem Magnet heraus, dann wird die Feilung auf einem Stahlblech leicht gegläht, um brennbare Teile zu veraschen.

Ist die Feilung nicht wesentlich verunreinigt, genügt es, wenn man sie zusammen mit dem Schmelzmittelgemisch (s. Kap. 4.4.2) in Seidenpapier wickelt (damit sie von der Schmelzflamme im Tiegel nicht weggeblasen werden kann), gut durchhitzt und dann ausgießt.

Vermutet man jedoch schädigende Verunreinigungen, dann mischt man die Feilung zunächst mit Salpeter, packt sie ebenfalls in Seidenpapier und schmilzt sie oxidierend aus; der »König« wird entnommen und nochmals nach dem reduzierenden Verfahren umgeschmolzen.

4.4.4 Schmelzen von Platin und Weißgold

Wenn in einer Kleinwerkstatt nur wenig Platin und Weißgold verarbeitet werden, soll man die Abfälle zur Aufarbeitung an die Scheideanstalt geben. Nicht nur, weil man dazu höhere Schmelztemperaturen braucht, als die übliche Gasflamme liefert, sondern auch wegen der Empfindlichkeit dieses Materials gegen Verunreinigungen. Bei solchen Betrieben, die sich auf Juwelenarbeiten spezialisiert haben, kann allerdings eine Platinschmelzanlage rentabel sein.

Es können die üblichen Graphittiegel nicht benutzt werden, weil sich der Kohlenstoff in der Schmelze löst, beim Erstarren wieder abgegeben wird und dadurch Porosität verursachen kann. Generell kann man sagen, daß bei den erforderlichen hohen Temperaturen chemische Reaktionen begünstigt werden. So können die Bestandteile der Tontiegel zu Al, Si und Ca reduziert werden, wodurch mit Pt spröde Verbindungen gebildet werden können. Günstig ist es deshalb, wenn der Tiegel mit gebranntem Kalk CaO ausgekleidet wird. Abdeck- und Schmelzmittel werden normalerweise nicht gebraucht; dem Weißgold kann man möglicherweise etwas Borax zusetzen. Am besten kann man diese hochschmelzenden Metalle und Legierungen im elektrischen Induktionsofen erschmelzen. Früher mußten die weißen Edelmetalllegierungen mit der Knallgasflamme erschmolzen werden: War die Flamme nicht richtig eingestellt, reagierten die Feuerungsgase mit den Metallen. Da man meist das Metall nicht völlig verflüssigen, sondern nur sintern konnte, mußte man den »König« aus dem Tiegel herausnehmen und die zusammengeschweißten Teilchen im heißen Zustand durch kräftiges Schmieden zu einem homogenen Metallblock verdichten. Heute gießt man Platin und Weißgold ebenso wie die üblichen Goldlegierungen in die Gußformen.

4.5 Gießen

4.5.1 Gießbarkeit

Man darf die Gießbarkeit nicht als nur eine Eigenschaft auffassen, sondern unter diesem Begriff ist ein ganzer Komplex physikalischer Bedingungen zusammengefaßt.

Oberflächenspannung. Beschaffenheit des Gießstrahls, Ausbreitungsgeschwindigkeit in der Form und Formausfüllungsvermögen hängen davon ab.

Während die Atome im Inneren der Schmelzflüssigkeit ihre Kräfte gegenseitig ausgleichen können, haben die Atome der Randzone einen Energieüberschuß. Sie sind bestrebt, durch Verkleinerung der Flüssigkeitsoberfläche den Mehrbetrag auszugleichen oder doch zu verringern. Die kleinste Oberfläche hat die Kugel,

und so kommt es, daß beispielsweise das schon bei Zimmertemperatur geschmolzene Quecksilber in Form von kleinen, silbrig glänzenden Kugeln über den Tisch rollt.

Bei fast allen Metallen stehen Temperatur und Oberflächenspannung in umgekehrtem Verhältnis, so daß mit steigender Temperatur die Oberflächenspannung einer Schmelze abnimmt; das Kupfer macht eine Ausnahme, denn seine ohnehin schon große Oberflächenspannung wächst noch mit der Erwärmung. Zum Vergleich werden einige Werte zusammengestellt (Tabelle 4.10), die bei Metallschmelzen ermittelt worden sind.

Durch Zusatz von Fremdstoffen und durch Legierungsbildung kann die Oberflächenspannung erheblich vermindert werden. So wird der extrem hohe Wert des Kupfers durch Zusatz von 50% Sn fast um die Hälfte – nämlich auf 600 mN/m – herabgesetzt. Aus gleichem Grund gibt man den Edelmetalllegierungen kurz vor dem Ausgießen mitunter etwas Zn oder Cd zu.

Tabelle 4.10 Oberflächenspannung einiger Metalle

Metall	Oberflächenspannung in mN/m	Temperatur in °C
Kupfer	1103	1131
Zink	750	600
Zinn	510	500
Blei	400	500

Viskosität. Auch sie beeinflusst das Formausfüllungsvermögen, außerdem hängen von ihr die Gasabgabe und die Schlackenablösung ab. Die Viskosität ist die durch die innere Reibung und den Formänderungswiderstand verur-

Tabelle 4.11 Viskosität reiner Metalle bei Schmelztemperatur

Metall	Viskosität in Pa·s
Kupfer	0,35
Zink	0,34
Blei	0,27
Cadmium	0,23
Zinn	0,19

sachte Zähflüssigkeit der Schmelze. Temperatur und Viskosität stehen in umgekehrtem Verhältnis: Mit steigender Temperatur nimmt die innere Reibung ab, die Viskosität wird geringer, das Formausfüllungsvermögen wird günstiger. Zum Vergleich einige Viskositätswerte beim Erreichen der Schmelztemperatur (Tabelle 4.11).

Die Viskosität der Schlacke muß um das Mehrfache höher sein, damit sie zähflüssig im Tiegel zurückbleibt, wenn die dünnflüssige Schmelze ausgegossen wird.

Dampfdruck. Wenn der Dampfdruck des Metalls bei Siedetemperatur den atmosphärischen Druck erreicht, geht das Metall in gasförmigen Zustand über. In geringem Maße verdampfen die Metalle auch schon unterhalb dieser Temperatur. Ein besonders deutliches Beispiel hierfür ist das Quecksilber, das sich durch seinen hohen Dampfdruck bereits bei Zimmertemperatur merklich verflüchtigt, obgleich der Siedepunkt erst bei 327 °C erreicht wird. Ähnlich ist es bei Zink, das schon nach Überschreiten des Schmelzpunktes verdunstet, wodurch der Zinkgehalt einer Legierung bei zu lang anhaltendem Schmelzen deutlich geringer wird.

Gießtemperatur. Wenn man die Gießbarkeit eines Metalls bzw. einer Legierung beurteilen will, ist es wichtig zu wissen, ob die vorhandene Wärmequelle ausreicht, um die erforderliche Temperatur zu erreichen.

Die Schmelztemperatur und die zum Gießen erforderliche Überhitzung müssen unter der Leistungsgrenze der Wärmequelle liegen. Für eine Silberlegierung Ag 925 mit der Liquidustemperatur von 900 °C braucht man bei 100 K Überhitzung eine Temperaturhöhe von etwa 1000 °C; für eine Legierung Ag 800 braucht man dagegen bei gleicher Überhitzung nur 920 °C, denn die Liquidustemperatur liegt bei 820 °C. Solche Werte sind besonders unter dem Gesichtspunkt wichtig, daß die Gasflamme nur Temperaturen bis etwa 1100 °C ermöglicht. Außerdem sind noch spezifische Wärmekapazität und Schmelzwärme mit dem Wärmeinhalt der Wärmequelle zu vergleichen.

4.5.2 Gießvorgang

Im Schmelztiegel muß das Metall völlig durchgeschmolzen sein, so daß keine festen Metallteile mehr enthalten sind. Das Metall muß so heiß sein, daß der Liquiduspunkt erst erreicht wird, wenn das flüssige Metall die Form restlos ausgefüllt hat. Deshalb ist das Metall im Tiegel noch über den Schmelzpunkt hinaus zu erhitzen. Von der Eigenart des Gießmetalls, der Länge des Weges vom Tiegel zur Form und von der Modellform hängt es ab, um wieviel das Metall überhitzt werden muß.

Wenn die Schmelze die richtige Temperatur hat, ist die Schlackendecke abzuziehen. Dann wird das Metall ohne abzusetzen mit ruhigem, dünnen Strahl in die Form gegossen. Der Gießstrahl soll möglichst kurz sein, damit das Metall auf dem Wege nicht unnötig abkühlt und möglichst wenig Gase aus der Luft aufnehmen kann. Wenn man unter den Gießstrahl ein brennendes Holz hält und durch die Flamme gießt, wird der Sauerstoffzutritt fast ganz verhindert. Es genügt bei kleinen Güssen, durch die leuchtende offene Schmelzflamme des Gasbrenners zu gießen.

Nachdem das flüssige Metall die Form gut ausgefüllt hat, soll es möglichst schnell erstarren.

4.5.3 Erstarrungsvorgang

Im wesentlichen ist der Erstarrungsvorgang die Umkehrung des Schmelzprozesses. Während in der Gasphase sich die Metallteilchen weitgehend voneinander lösen können und sich frei im Raum bewegen, besteht in der Schmelze zwischen Metallionen und freien Elektronen eine gegenseitige Bindung, so daß trotz der erheblichen Beweglichkeit der Metallteilchen die Schmelze einen geschlossenen Verband bildet. Hört die Wärmezufuhr auf, verringert sich die Beweglichkeit der Atome bzw. der Metallionen in der Schmelze, bis der eigentliche Erstarrungsprozeß beginnt.

Keimbildung. Voraussetzung zur Einleitung der Erstarrung ist eine deutliche Unterkühlung in der Weise, daß die Temperatur unter die Erstarrungstemperatur absinkt. Erst unter dieser Voraussetzung setzt die Keimbildung ein. Man stellt sich den Vorgang so vor, daß in

der Schmelze einzelne Atome so dicht zusammenstreffen, daß sie sich gegenseitig anziehen und zu einer Elementarzelle ordnen können. Wenn sich genügend Atome zusammengefunden haben, kann beispielsweise ein Würfel des kubisch-flächenzentrierten Systems als Keim eines Kristallverbandes entstehen.

Kristallwachstum. An diesen ersten Keim, die Elementarzelle, lagern sich immer mehr

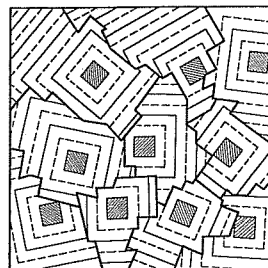
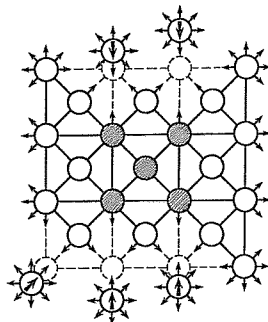


Bild 4.16 Keimwachstum und Kristallgefüge (Schema). a) Wachstum des Kristallkeims durch Anlagerung von Atomen aus der Schmelze, b) Entstehung des Kristallgefüges durch das Zusammentreffen der wachsenden Kristalle

Atome aus der Schmelze an, wenn sie sich bis zur gegenseitigen Anziehung genähert haben. Da sich auch die neu angelagerten Atome dem System der Elementarzelle anpassen, entwickelt sich der Kristallverband mit regelmäßigen Gitterebenen dreidimensional als einheitlicher Kristall (Bild 4.16).

Kristallgefüge. Tatsächlich ist der Vorgang der Kristallbildung noch komplizierter, aber die hier entwickelte vereinfachte Darstellung genügt, um die praktischen Prozesse verstehen zu können. Und immer muß man die Komplexität des Erstarrungsvorgangs berücksichtigen. An sehr vielen Punkten bilden sich in der Schmelze solche Kristallkeime, in der Schmelze sind sogar noch Keime des früheren Kristallsystems enthalten, die noch nicht aufgelöst worden sind. Und während die Keime zu Kristallverbänden wachsen, entstehen immer noch weitere Keime, die dann ebenso wachsen.

Erstarrungswärme. Wenn eingangs auf die Notwendigkeit der Unterkühlung hingewiesen wurde, so muß jetzt noch einmal darauf eingegangen werden. Die von den Ionen der zuerst entstandenen Kristalle abgegebene Bewegungsenergie wird wieder in Wärme umgewandelt, so daß sich auch ohne äußere Wärmezufuhr der Metallverband wieder bis zur Erstarrungstemperatur aufheizt. Durch die ständige Wärmeableitung und -abstrahlung an die Umgebung des Metallblocks setzt sofort wieder eine Unterkühlung ein, und der Erstarrungsvorgang setzt sich fort.

Wenn man die minimalen Temperaturwechsel messen könnte, müßte das waagerechte Kurvenstück der Erstarrungskurve nicht als Gerade, sondern als welliger Linienzug dargestellt werden. Allerdings sind diese Temperaturschwankungen so minimal, daß sie nur theoretische Bedeutung zur Erklärung des Erstarrungsprozesses haben. Experimentell nachweisbar und zur Beschreibung der thermischen Verhältnisse bemerkenswert ist der Umstand, daß die Temperatur des Metalls vom Beginn der Erstarrung bis zu deren Beendigung bei reinen Metallen nicht, bei Legierungen nur langsam verringert.

Wenn die Wärme allerdings in bevorzugter Richtung abgeführt wird, wachsen die Kri-

stalle nach allen Richtungen gleichmäßig und müßten sich als regelmäßige Würfel entwickeln. Wenn aber die Wärme in eine bevorzugte Richtung abgeleitet wird, bekommen die Kristalle eine lineare Ausbildung, es entstehen stenglige, tannenbaumartige gezackte Kristallformen, die Dendriten (Bild 4.17).

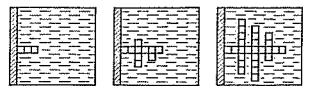


Bild 4.17 Entstehung eines Dendriten durch gerichteten Wachstum des Kristalls (Schema)

Keimbildung und Keimbildungsgeschwindigkeit. Beide Erscheinungen sind voneinander unabhängige Eigenschaften, die bei jedem Metall unterschiedlich sind. Die Keimbildungszahl bezieht sich auf die Anzahl der Keime, die in der erstarrenden Schmelze während einer bestimmten Zeit gebildet werden. Mit der Keimbildungsgeschwindigkeit wird ausgedrückt, wie schnell sich der Anteil der kristallisierten Bestandteile des erstarrenden Metalls in einer bestimmten Zeit vergrößert. Man kann beide Eigenschaften nicht ändern, man kann aber die äußeren Bedingungen so beeinflussen, daß sie möglichst günstig gelenkt werden.

Normalerweise wird man ein möglichst feinkörniges Gefüge anstreben. Das bedingt, daß viele Keime gleichzeitig entstehen, diese Keime schnell wachsen und aneinanderstoßen. Man muß also versuchen, Keimbildungszahl und Kristallisationsgeschwindigkeit dadurch zu vergrößern, daß man

- die Schmelze nicht mehr als nötig erhitzt
- für möglichst schnelle Abkühlung des erstarrenden Metalls sorgt.

Beim Kokillenguß bilden sich an den Formwänden, bedingt durch die Unterkühlung der Schmelze, zunächst zahlreiche kleine Kristallite, an die sich eine Zone von stengligen Kristalliten (Dendriten) anschließt, die zur Mitte der Gußform gerichtet sind. Beim Formguß bildet sich durch die langsame Wärmeableitung und die damit verbundene langsame Abkühlung ein gleichmäßig grobkörniges Gefüge (Bild 4.18).

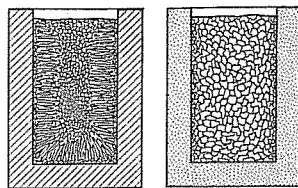


Bild 4.18 Unterschiedliches Gefüge bei Kokillenguß und Formguß (Schema)

4.5.4 Volumenschwund

Für die Praxis ist die Verringerung des Rauminhalts während der Erstarrung des Metalls eine besonders wichtige Erscheinung (Bild 4.19).

- Bereits in flüssigem Zustand verringert sich der Rauminhalt mit sinkender Temperatur.
- Während des Erstarrens erfolgt eine sprunghafte Volumenverminderung, die bei einigen Metallen ganz erheblich sein kann.
- Eine geringe Volumenverminderung vollzieht sich dann noch im festen Zustand.

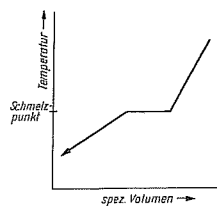


Bild 4.19 Volumenänderung eines Metalls in Abhängigkeit von der Temperatur

Diese Schrumpfung kommt dadurch zustande, daß die Metallatome in flüssigem Zustand einen erheblichen Bewegungsradius haben. Wenn sie sich bei der Erstarrung zu Gitterverbänden ordnen, sind sie dichter »gepackt«,

also enger zusammengedrückt. Bei der Abkühlung von der Erstarrungs- auf die Zimmertemperatur verringern sich die Atomabstände im festen Zustand in Umkehrung zur bekannten Ausdehnung der Metalle bei Erwärmung (Tabelle 4.12).

Aus den drei Phasen der Volumenverminderung ist die Schrumpfung während des Erstarrens besonders wichtig und hat auch für die folgenden Erscheinungen die größte Bedeutung.

Tabelle 4.12 Volumenabnahme reiner Metalle beim Erstarren

Metall	Volumenabnahme in %
Gold	5,03
Silber	5,0
Kupfer	4,25
Blei	3,38
Zink	4,7
Cadmium	4,72
Zinn	2,9

Unschärfe Oberfläche. Es ist die einfachste Folge der Volumenverminderung des erstarrenden Gußstücks. Während das flüssige Metall die Form vollkommen ausfüllt, zieht sich das Gußstück beim Erstarren zusammen, so daß die Oberfläche des Gußblocks nicht mehr dicht an den Formwänden anliegt. Bei feinen Formgüssen mit zarter Ornamentierung oder scharfen Kanten wirkt sich diese Erscheinung besonders unangenehm aus.

Beim Schleuderguß werden derartige Schäden weitgehend ausgeschaltet, weil das Metall durch die Zentrifugalkraft gegen die Formwand gepreßt wird; bei den übrigen Gießverfahren läßt sich dieser Nachteil nicht gänzlich beseitigen, man kann lediglich durch einen möglichst hohen Gußkopf für einen gewissen Druck auf das erstarrende Metall sorgen. Bei maßgenauen Gußstücken muß die Form um das Schwundmaß größer sein als das fertige Stück.

Lunkerbildung. Man bezeichnet die Hohlräume, die an oder in einem Gußstück durch Volumenverminderung entstehen, als Lunker. Die Kristallbildung beginnt an den Wänden der Gußform, weil sie die Wärme aufnimmt

und damit vom Metall weggleitet. In den Kristalliten werden die Atome dicht gepackt, dadurch nehmen sie einen geringeren Raum ein als im flüssigen Zustand, so daß das schmelzflüssige Metall nachsinkt und die Volumendifferenz ausgleicht. So kommt es, daß an der freien Eingangsöffnung das Metall muldenförmig einsinkt (Bild 4.20); es entsteht ein Außenlunker, der mit der Atmosphäre in Verbindung steht und deshalb oxidiert.

An die bereits entstandenen Kristalle setzen sich neue an, die in die Schmelze hineinwachsen. Wenn mit fortschreitender Abkühlung auch an der Eingangsöffnung die Erstarrung einsetzt, kann das Schrumpfen nicht mehr durch das Absinken der Eingangsfläche ausgeglichen werden, sondern es bilden sich unter der Eingangsfläche mehr oder weniger große Hohlräume im Blockinneren, die luftleer bleiben (Bild 4.20b). Man bezeichnet sie als Innenlunker, ihre Oberfläche bleibt metallisch blank, weil sie nicht mit dem atmosphärischen Sauerstoff zusammenkommen. Da der Block allseitig, nach innen fortschreitend erstarrt, bleibt schließlich nur noch eine Restschmelze

im Blockinneren; auf Bild 4.20 ist dies schematisch dargestellt. Nach deren Erstarrung bleiben nochmals Innenlunker zurück, die mitunter tief unter der Eingangsöffnung im Blockinneren sein können.

Es ist klar, daß solche Hohlräume im Gußblock nachteilig sind. Die Lunkerbildung läßt sich nicht völlig vermeiden, man kann nur die nachteiligen Folgen so weit wie möglich einschränken:

- Geringe Gießgeschwindigkeit und niedrige Gießtemperatur verringern die Lunkerbildung dadurch, daß noch flüssiges Metall nachfließt, während die ersten Teile schon erstarren und damit schrumpfen.
- Wenn man Formen mit Gußkopf verwendet, wird die Lunkerbildung weitgehend auf diesen Teil des Gußstücks beschränkt, weil der Gußkopf möglichst lange flüssig bleiben soll (Bild 4.20d bis f).
- Beim Formguß muß man darauf achten, daß der Kanal zwischen Gußstück und Gußkopf dick genug ist, damit hier keine vorzeitige Erstarrung eintritt, denn dann könnte der Gußkopf nicht mehr die »flüssige Reserve« bilden.
- Beim Formguß kann man außerdem an den Stellen, die am weitesten vom eigentlichen Gußkopf entfernt sind, zusätzliche Reserven als »verlorene Köpfe« schaffen, wie es auf den Bildern 4.20e und f zu erkennen ist.

Gußspannungen. Sie entstehen dadurch, daß das erstarrende Gußstück nicht ungehindert schrumpfen kann. Es entstehen Kräfte, und wenn sie einen gewissen Mindestwert überschreiten, kann sich das Gußstück entweder verziehen, oder es reißt ein. Nach Ursache und Erscheinung unterscheidet man äußere und innere Gußspannungen.

Äußere Gußspannungen entstehen dadurch, daß sich das unnachgiebige Formmaterial der Kontraktion, also dem Zusammenziehen des erstarrenden Gußstücks, entgegenstellt. Meist kommt dies bei Metallkokillen vor. Der Ring auf Bild 4.21a ist um einen Stahldorn gegossen. Er will sich erstarrend zusammenziehen, wird aber durch den Kern daran gehindert, und schließlich wird die Volumenänderung durch einen Riß ausgeglichen. Das H-förmige Gußstück will sich in Pfeilrichtung zusammenziehen-

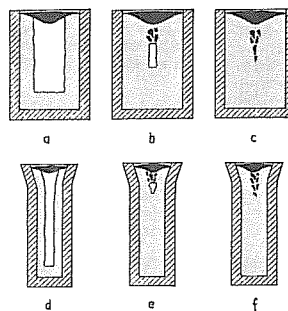


Bild 4.20 Lunkerbildung im Gußstück (Schema). (weiß: Schmelze; grau: erstarrtes Metall; schwarz: Lunker). a) bis c) Lunker im Werkstück, d) bis f) Lunker im Gußkopf. a) und d) Außenlunker, b) und e) Innenlunker, c) und f) Innen- und Außenlunker

zu beachten, daß das Modell nicht »unter sich« gehen darf, weil dann kein formgetreuer Abdruck entstehen würde bzw. beim Entnehmen des Modells Formmaterial mitgerissen werden könnte. Es ist sogar ratsam, die Innenseite der Schiene nicht ganz glatt zu lassen, sondern leicht durchzuwölben, weil das auch die Modellentnahme erleichtert.

Gußform. Eine Schale mittlerer Größe wird quer zur Haupttrichtung zertrennt. Beide Hälften werden auf dem Abziehstein flachgezogen. Dadurch bekommt man eine ebene Fläche, die mindestens so groß sein muß, daß das Modell bequem darauf Platz hat.

Die Schale benutzt man so, daß das dickere Ende nach unten kommt. In die feinkörnige Kalkmasse der beiden abgezogenen Schalenhälften drückt man die Schiene so ein, daß in jedem der beiden Formteile etwa die halbe Schienenbreite aufgenommen wird. Man muß so fest zusammendrücken, daß sich die abgezogenen Schalenhälften dicht berühren. Zusammen mit dem Modell werden mindestens zwei Markierungswinkel aus Stahl- oder Messingblech mit eingedrückt. Die Außenränder der Form werden nun zurechtgeschnitten. Man achtet darauf, daß zwischen Modell und Außenwand genügend Formmaterial stehen bleibt, beim Gießen könnte sonst hier das Metall herauslaufen. Außer durch Markierungswinkel kann man durch einige Sägeschnitte, die über die Seitenwände beider Schalenwände laufen, die genaue Passung anzeichnen. Zwischen den beiden Schienenenden schneidet man noch einen Verbindungsgang in die Form. Man erleichtert dadurch das vollständige Ausfließen der Form. Der Gußkanal wird als breiter, aber flacher Trichter eingeschnitten. Schließlich ritzt man vom Modelleindruck nach oben noch einige Luftkanäle mit der Reißnadel, um Luft und Verbrennungsgase abzuleiten.

Die fertige Form wird mit einem weichen, trockenen Pinsel gesäubert, entsprechend den Markierungswinkeln und -schnitten zusammengesetzt und mit Binddraht zusammengebunden. Wenn in die harte Schalenrückwand einige Kerben gefeilt werden, verhindert man das Verrutschen des Binddrahts. Nachdem die Form durch leichte indirekte Wärme ganz ausgetrocknet wurde, ist sie fertig zum Guß.

Vorbereitung der dreiteiligen Form. Um bei einem Herrenring auch den Steindurchbruch im Ringkopf aussparen zu können, genügt die Form aus den zwei Hälften nicht, man braucht noch ein drittes Formteil.

Beispiel: Massiver Herrenring mit Steinöffnung (Bild 4.25).

Gußform. Man kann das Modell aus einem massiven Kunststoffblock ausarbeiten und zurechtfeilen. Es wäre auch möglich, daß man ein Plaströhr nimmt und im Bedarfsfall mit Metallkleber an den erforderlichen Stellen verstärkt. In manchen Fällen kann man die Rohform des Ringes auch aus Epoxidharz oder Blei gießen, wobei die Fingeröffnung ausgespart wird. Man biegt die Außenkontur und die Fingeröffnung aus dünnem Messingblech, drückt beide in Holzkohle und gießt mit Kunststoff oder Blei aus. Das Rohmodell wird dann auf die gewünschte Form zurechtgefeilt. Wenn einige Grundformen vorhanden sind, lassen sich die unterschiedlichen Modelle leicht herstellen.

Sägt man die Schiene des Bleimodells hinten auf, ist es auf jede beliebige Weite biegsam.

Gußform. Eine große Sepiaschale teilt man in drei Stücke. Die beiden äußeren werden für die Schiene, das Mittelstück für den Kopf benutzt. Die drei Teile werden flachgezogen. In die beiden äußeren Stücke drückt man den

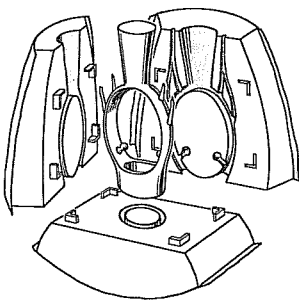


Bild 4.25 Geöffneter dreiteilige Sepiaform mit Gußrohring

Ring bis zu den Ringschultern zusammen mit den Markierungswinkeln ein. Man nimmt dann das Modell heraus, setzt die Formhälften zusammen und zieht die Unterseite beider Teile so weit ab, bis fast der Schienenkern erreicht ist.

Das Modell setzt man dann wieder ein und drückt den Ringkopf in die flachgezogene Seite des Schalenmittelstücks, bis alle drei Formteile auch auf dieser Fläche vollkommen dicht aneinanderliegen; auch hierbei sind Markierungswinkel nötig. Nun kann das Modell herausgenommen werden. Gußkanal und Luftabzüge werden wie bei der zweiteiligen Form eingeschnitten, der Abdruck ausgepinelt. Die Form setzt man dann so zusammen, wie auf Bild 4.26 gezeigt wird.

Guß. Beim Sepiaguß wird ein besonders langer Kopf gebraucht, man muß also eine ausreichend große Metallmenge schmelzen. Da bei niedriger Temperatur gegossen werden muß, ist es besonders empfehlenswert, die Gießbarkeit dadurch zu verbessern, daß man kurz vor dem Ausgießen etwa 0,5 % reines Zink setzt. Der Zinkzusatz bewirkt, daß die bei niedriger Temperatur besonders große Oberflächenspannung und Zähigkeit der Schmelze günstig beeinflusst werden. Die Schmelze wird nochmals gut durchgemischt und, sobald sich an der Oberfläche ein Erstarrungshäutchen zeigt, ausgegossen. Würde man zu heiß gießen, verbrennt die Form vorzeitig, wodurch die Feinheiten des Abdrucks verlorengehen, außerdem würde der Guß porös.

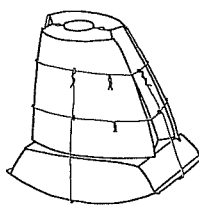


Bild 4.26 Geschlossene dreiteilige Sepiaform, zum Guß vorbereitet

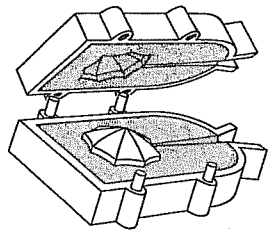


Bild 4.27 Formrahmen für Sandguß

Sandguß

Durch den Schleuderguß ist der Sandguß heute völlig verdrängt worden. In der Vergangenheit war der Sandguß aber sehr verbreitet, und man hat damit beachtliche Ergebnisse erzielt. Es war durchaus möglich, beispielsweise eine Filigranbroche mit allen Feinheiten in Sand nachzugießen!

Formrahmen, auch »Formflasche« genannt. Er besteht aus zwei rechteckigen Rahmenteilen aus Eisen oder Leichtmetall, die genau aufeinander passen. An einer Schmalseite ist der Gußtrichter ausgearbeitet. Die Führungsstifte des einen Rahmens greifen in entsprechende Löcher des Gegenstücks, so daß beide Teile immer genau aufeinander passen.

Zubereitung des Sandes. Der trockene Formsand wird durch ein Haarsieb in eine Schüssel gebracht und langsam mit Wasser angefeuchtet, dann mit einem Löffel durchgemischt und durchgeknetet, bis er geschmeidig und bildsam ist. Zur Probe kann man kleine Kugeln zwischen den Fingern formen; ist der Sand gut, dürfen sie nicht zerfallen, wenn man sie hochwirft und wieder auffängt.

Herstellung der Form. Im Prinzip ist es das gleiche Verfahren wie in der Eisengießerei – nur alles etwas kleiner.

Beispiel: Achteckige getriebene Brosche (Bild 4.27).

Der Formrahmen, in den die Führungsstifte eingelassen sind, wird mit seiner Innenseite auf eine Glasplatte gelegt. In das untere Drittel des Formrahmens legt man das Modell auf die gleiche Glasplatte. Modell und Grundplatte

werden mit Formpuder, der in ein poröses Leinwandstück gefüllt ist, bestreut. Es handelt sich um *Lycopodium*, den Sporenstaub des Keulenbärlapps aus der Gruppe der *Lycopodiaceen*, ein gelbes, feinkörniges Pulver.

Nun wird der Rahmen mit einem Holzstößel leicht gegen das Modell gedrückt, damit er sich den Feinheiten der Modelloberfläche möglichst gut anpaßt. Erst dann stampft man mit dem Stößel nach und nach den Sand fest; es wird so lange Sand nachgefüllt, bis die Form reichlich gefüllt ist. Mit einem Stahlblech zieht man die Formhälften entsprechend der Rahmenhöhe ab.

Diese gefüllte Rahmenhälfte wird nun gewendet und so hingelegt, daß das Modell nach oben kommt. Dann setzt man die zweite Formhälfte auf. Das Modell wird gut gesäubert und zusammen mit der gesamten Sandfläche wieder mit dem Formpuder isoliert. Nun wird ebenso, wie es bei der ersten Formhälfte beschrieben wurde, Sand eingefüllt, leicht angeedrückt, schließlich vollgestampft und abgezogen.

Jetzt können die Formhälften getrennt werden. Mit einem Holzstäbchen wird das Modell durch leichtes Klopfen gelockert, so daß es herausfällt, wenn man die Form umdreht, das Modell wird also nicht mit der Pinzette herausgenommen. Vom Modellabdruck aus wird in beide Formhälften der Gußkanal eingeschnitten. Es ist immer ratsam, mit dem Einschnitt am Modell zu beginnen! Mit Wasser und weichem Pinsel glättet man den Gußkanal, damit die Schmelze gut hineingleiten kann, ohne daß Sandteile mitgerissen werden. Der Gußkanal soll möglichst lang sein wegen des hydrostatischen Drucks. Luftkanäle brauchen bei den kleinen Schmuckstücken nicht eingeschnitten zu werden, weil die getrocknete Formmasse porös genug ist. Besonders wichtig ist es, daß die fertige Form genau überprüft und jedes lose Sandteilchen entfernt wird, anderenfalls entstehen störende Poren am Gußstück.

Vorbereitung zum Guß und Gießen. Die Form wird zusammengeschraubt, mit einer Zwingen zusammengepresst und durch indirekte Erwärmung, z. B. auf einem Ofen, langsam getrocknet. Geht die Austrocknung zu schnell, kann die Form reißen! Um festzustellen, ob alles Wasser ausgetrieben worden ist, hält man

einen Spiegel über den Einguß. Beschlägt er nicht, kann die Form mit der offenen Flamme so weit erhitzt werden, bis sie die zum Gießen nötige Wärme hat. Gleichzeitig wird das Metall geschmolzen, um etwa 150 K über die Liquidustemperatur erhitzt und schließlich in die heiße Form gegossen (Bild 4.28).



Bild 4.28 Anhänger, Silber, vergoldet. In Sand gegossen, mit Stichel und Meißel nachgearbeitet. Lajos Bartha, Budapest (Ungarn)

4.5.6 Gießen mit Fliehkraft

4.5.6.1 Grundlagen

Der prinzipielle Unterschied gegenüber dem traditionellen Standgußverfahren besteht darin, daß beim Rotationsguß das flüssige Metall nicht einfach durch die Schwerkraft in die Form fließt, sondern durch die wesentlich größere Fliehkraft gegen die Wände der Form geschleudert wird. Beim Schleuderguß bewegt sich die Gießform auf einer Kreisbahn um das Rotationszentrum. Aus physikalischer Sicht entspricht die Gußform einem Massepunkt mit der Masse m , der mit der Winkelgeschwindigkeit ω im Abstand r um das Zentrum kreist (Bild 4.29).

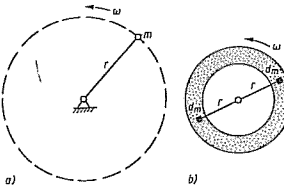


Bild 4.29 Physikalisches Grundprinzip der Kreisbewegung (Schemata). a) Rotation eines Massepunktes auf einer Kreisbahn, b) Rotation eines ringförmigen »starrten Körpers«

Demzufolge bekommt die Schmelze die kinetische Energie von

$$E_k = \frac{m}{2} \cdot v^2$$

m – Masse der Schmelze in kg
 r – Abstand vom Drehpunkt in m
 ω – Winkelgeschwindigkeit in s^{-1}
 E_k – kinetische Energie in J

Durch die Rotationsbewegung entsteht die Normalbeschleunigung

$$a_n = \omega^2 \cdot r$$

a_n – Normalbeschleunigung in m/s^2

Die Winkelgeschwindigkeit ω wird in der Praxis ermittelt durch die Beziehung

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \text{ also } a_n = r \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2$$

n – Drehzahl in min^{-1}

Beispiel: Welche kinetische Energie entsteht, wenn eine Schmelze von 100 g Silber in der Gießmaschine mit $n = 300 \text{ min}^{-1}$ in die Form geschleudert wird ($r = 25 \text{ cm}$)?

$$E_k = \frac{m}{2} \cdot r^2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 = \frac{0,1}{2} \cdot 0,25^2 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 300}{30} \right)^2 J = 3,08 J$$

Dabei wirkt die Normalbeschleunigung

$$a_n = r \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 = 0,25 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 300}{30} \right)^2 m/s^2 = 246,49 m/s^2$$

Wenn die Schmelze in die rotierende Kokille gegossen wird, wirken Normalbeschleunigung und Fliehkraft auf jedes Metalltröpfchen, so daß die flüssigen Metallteilchen mit wesentlich höherer Energie in die Form gepreßt werden als durch die einfache Schwerkraft. Jedes Metalltröpfchen ist als Massepunkt aufzufassen, der einen bestimmten Abstand vom Drehpunkt hat, und so gelten für jede dieser Teilmassen die Gesetze der Fliehkraft. Also bekommt jedes Teilchen die kinetische Energie

$$dE_k = \omega^2 \cdot r^2 \cdot d\frac{m}{2}$$

Die Schmelze als Ganzes ist aber gleichmäßig in der rotierenden Kokille verteilt. Zu jedem Metalltröpfchen gibt es ein gleiches, das in entgegengesetzter Richtung gegen die Wandung geschleudert wird. So heben sich die wirkenden Energien und Kräfte gegenseitig auf. Daraus folgt, daß der Schwerpunkt der Gesamtmasse mit dem Drehpunkt zusammenfällt. Die Gesamtmasse der Schmelze ist also als »starrer Körper« anzusehen, für den gilt

$$E_k = \omega^2 \int r^2 \cdot d\frac{m}{2}$$

Wegen $r = 0$ wird die kinetische Gesamtenergie ausgewuchtet, $E_k = 0$. Die Beschleunigung ist in der rotierenden Kokille besonders hoch.

Beispiel: Wie hoch wird die Normalbeschleunigung, wenn ein Trauring mit dem Innendurchmesser von 20 mm in der rotierenden Kokille bei $n = 3000 \text{ min}^{-1}$ gegossen wird?

$$a_n = r \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 = 1 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 3000}{30} \right)^2 m/s^2 = 986 m/s^2$$

Aus den berechneten Beispielen ergeben sich folgende interessante Vergleichswerte:

- Standguß
 $a_n = 9,81 m/s^2$
- Schleuderguß
 $a_n = 246 m/s^2$; also etwa 25mal so groß
- Rotationskokillenguß
 $a_n = 986 m/s^2$; also etwa 100mal so groß

4.5.6.2 Schleuderguß

Wollte man konsequent sein und das Verfahren, wie es bei Kokillen-, Sand- und Ossa-Seia-Guß üblich ist, nach der Beschaffenheit der Gußform bezeichnen, müßte man jetzt vom »Wachsausschmelz-Verfahren« sprechen, denn prinzipiell wird die Gußform nach dieser seit mehr als 2000 Jahren bekannten Methode hergestellt.

Die völlig neue Qualität ergibt sich aus dem Verfahren, mit dem das Metall in diese Form eingebracht wird, und insofern ist es gerechtfertigt, dieses Präzisionsgußverfahren nach der Gießmethode zu bezeichnen.

Seit den 20er Jahren haben die Goldschmiede zaghaf versucht, dieses von den Zahntechnikern entwickelte Verfahren zu übernehmen und Einzelstücke, die aus Wachs modelliert waren, mit Hilfe der Handschleuder in Metall umzusetzen. Wenn dieses Verfahren des »verlorenen Gusses« auch noch weiter verbessert wurde, bekam der Schleuderguß seine eigentliche Bedeutung, als es in den 50er Jahren möglich wurde, durch rationelle Vervielfältigung der Wachsmuster das Verfahren für die Serienproduktion zu nutzen. Es waren folgende Voraussetzungen erforderlich:

- Wachsmuster müssen mit Hilfe einer Gummiform vervielfältigt werden.
- Einbettungsverfahren und Qualität der Einbettmasse müssen den höheren Ansprüchen der Serienfertigung angepaßt werden.
- Eine Schleudergießmaschine für entsprechend große Metallmengen mußte entwickelt werden.

Inzwischen ist der industrielle Schleuderguß so weit entwickelt worden, daß gleichzeitig vier große Kuvetten in einem mit Schutzgas gefüllten Vakuumkessel rotieren und so qualitativ und quantitativ höchste Ansprüche erfüllt werden können.

Aber andererseits ist der Schleuderguß als Reproduktionsverfahren auch für den handwerklichen Kleinbetrieb entwickelt worden mit einer rationellen und dabei durchaus erschwinglichen Ausrüstung. Es ist also kein Problem mehr, daß ein Goldschmied seine Produktion auf den Schleuderguß einrichtet und seine Modelle über das »Wachsbäum-

chen« vervielfältigt. Neben der Umsetzung des Einzelstücks soll gerade dieser Aspekt in den folgenden Ausführungen wichtig sein.

Folgende Vorzüge zeichnen generell das Schleudergießverfahren aus:

- Modelle beliebiger Form, auch solche, die »unter sich« gehen, können leicht abgegossen werden.
- Wegen der hohen Kräfte fließt das Modell mit größerer Sicherheit aus, Lunker werden weitgehend vermieden.
- Da fast kein Gußkopf nötig ist, braucht man wenig Materialüberschuß.

Ausrüstung

Man muß sich darüber klar sein, welche Bedeutung der Schleuderguß in der Werkstatt haben soll. Ob man beispielsweise nur gelegentlich ein Wachsmuster abgießen will oder ob Kleinserien über die Gießtechnik realisiert werden sollen. Den Erfordernissen entsprechend muß man die Ausrüstung wählen!

• Umsetzung von modellierten Wachsmustern

- Verschiedene Wachsorten
- Modellierwerkzeuge
- Kuvetten
- Einbettmasse, wie sie der Dentist benutzt
- Tischschleuder oder Handschleuder

• Umsetzung einzelner Metallmodelle

- Formrahmen
- Plastilin
- Silikonkautschuk
- Vaseline als Isoliermittel
- Injektionswachs
- Kuvetten
- Einbettmasse, wie sie der Dentist benutzt
- Tischschleuder oder Handschleuder

• Serienfertigung nach Metallmodellen

- Formrahmen
- Plastilin
- Silikonkautschuk oder Kautschukschnipsel
- mit Vulkanisiergerät
- Vaseline
- Injektionswachs
- Wachsinjektor oder Tischschleuder
- Kuvetten mit Gummiteiler und Buckel für Schmelzmulde
- elektrisch beheiztes Schweißmesser für Wachs
- Spezial-Einbettmasse
- Vakuumglocke mit Vibrator
- Glühofen

Rotations-Gußschleuder oder Zentrifugal-Gießmaschine

Wachsmuster herstellen

Wachsorten. Die Modellierwachs werden in unterschiedlicher Härte bereitgestellt, und dementsprechend unterschiedlich ist auch ihr Plastizitätsintervall (Bild 4.30).

Die **knetbaren Wachs** sind plastisch formbar. Sie werden als rechteckige, quadratische oder runde Platten, 0,3 ... 1,0 mm dick, angeboten; es werden das weiche, niedrig schmelzende rote und das mittelharte, höherschmelzende blaue Wachs dafür verwendet. Auch die in der Zahntechnik gebräuchlichen Lanzettwachs unterschiedlicher Härte (blau – hart, grün – mittelhart, elfenbein – weich) sind zur Gestaltung von Schmuckmodellen gut geeignet.

Mit der Entwicklung des Hartwachses sind die Möglichkeiten der Formgebung wesentlich erweitert und verbessert worden, denn man kann es wie weiches Holz spangebend bearbeiten, also sägen, bohren, feilen und schmirgeln. Sie werden, ähnlich wie Halbzeuge, schon in vorgefertigter Form geliefert, beispielsweise

- kompakte Blöcke 150 mm x 90 mm x 37 mm
- Blockabschnitte 6 ... 24 mm dick
- Stangen 95 mm x 30 mm x 30 mm
- Wachsdrahtstäbe 0,6 ... 5,0 mm Durchmesser
- Wachsprofilstäbe unterschiedlicher Form
- Wachsdraht auf Spule 2,5 mm und 3,5 mm Durchmesser
- spezielle Formen wie Rasterplatten, Netzgitter usw.

Werkzeuge. Für die Bearbeitung der **knetbaren Wachs** braucht man Metallwerkzeuge zum Schneiden, Modellieren und Schaben:

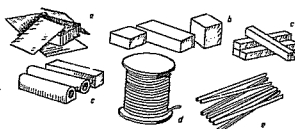


Bild 4.30 Modellwachs. a) Platten aus knetbarem Wachs, b) Hartwachsböcke, c) Wachsstangen, d) Wachsdrähte auf Rollen, e) Profilstäbe aus Hartwachs

- kleine, scharfe Messer
- lanzettförmige und gerundete Werkzeuge
- Modellierwerkzeuge verschiedener Form
- Werkzeuge, die man sich dem eigenen Bedarf entsprechend zurecht
- Gute Dienste leistet ein Modelliergerät, das man sich aus einem Bastlerlötkolben (24 V, 40 W) selbst anfertigen kann. Mit einem zwischengeschalteten Regelwiderstand läßt sich die Temperatur auf 60 ... 85 °C einstellen. Statt der Lötkolbenspitze setzt man Werkzeuge unterschiedlicher Form ein, die man sich aus Kupferdraht selbst anfertigen kann. Sie können als Spatel, Messer, Kugelspitze, Lanzette geformt sein; praktisch sind auch geriffelte oder gezahnte Spatel.

Für die **Hartwachs** benutzt man die üblichen spangebenden Werkzeuge:

- grobe Laubsägeblätter, wie sie zur Holzbearbeitung üblich sind
- Raspeln und grobe Feilen
- Schaber

Modell aus knetbarem Wachs. Das knetbare Modellierwachs ist plastisch formbar, und diese Formbarkeit ist stark temperaturabhängig. Die wichtigsten Werkzeuge zur Formung des Wachses sind die Finger, aber wenn das Wachs einige Zeit in der Hand bearbeitet worden ist, wird es so weich und druckempfindlich, daß es nur noch mit größter Vorsicht gehalten werden kann; man kann das entstehende Modellstück leicht verquetschen. Deshalb muß es zwischendurch in den Kühlschrank oder in kaltes Wasser gelegt werden, damit es sich wieder stabilisiert.

Bei der Formung kann man direkt von der **Wachsplatte** ausgehen, und man erhält dann die Wirkung des Blechs. Mit dem Skalpell schneidet man die Wachsplatte zu, und man kann sie dann leicht mit den Fingern biegen und falten. Man muß ausprobieren, wie weich das Wachs zur Bearbeitung sein muß, damit man die gewünschte Gestaltungsabsicht verwirklichen kann. Es erweicht, wie gesagt, schon, wenn man es zwischen den Fingern hält; zieht man es kurz durch die Flamme, wird es noch wesentlich bildsamer. Mit dem Haartrockner (»Fön«) läßt sich das Wachs gleichmäßig erwärmen, oft genügt es schon, wenn man unter der Glühlampe arbeitet. Ratsam ist es, daß man eine kleine Spiritus-

lampe oder die Gasflamme zur Hand hat, damit man nach Bedarf Wachs und Werkzeug anwärmen kann.

Mit dem spitzen Messer kann man Durchbrüche aus der Platte heraus schneiden, oder man durchsticht das Wachs mit einem heißen Werkzeug.

Beim Ausschmelzen der Durchbrüche wird kein Material entfernt, man bekommt derartige Verdickungen der Kanten, als ob sie angestaucht wären. In gleicher Weise kann man jede Kante der Wachsplatte anschnellen, wenn man sie an die Flamme hält.

Reizvolle Effekte der Oberflächengestaltung ergeben sich, wenn man auf die glatte Platte flüssiges Wachs aufträgt. Die Wirkung muß man selbst ausprobieren. Man kann es einfach auftropfen, aber günstiger ist es, wenn man das Wachs gezielt und dosiert aufbringen kann. Dazu fertigt man sich ein kleines Hilfsmittel selbst an. An einem Metalltrichter ist ein dünnes Ausflußrohr angelötet, das man sich in unterschiedlicher Dicke aus Kugelschreibermäßen selbst ziehen kann. Als Schablonen-Rohrfeder gibt es solche Hilfsmittel auch fertig zu kaufen. Das Wachs wird in den Trichter gefüllt, geschmolzen, und dann läuft durch das Ausflußrohr ein gleichmäßiger Strang heraus. Man kann damit sauber und gezielt Kanten verstärken oder kleine Noppen auf die Platte aufsetzen.

Texturen und Muster unterschiedlicher Art kann man mit beliebigen Werkzeugen einritzen und herauskratzen; wärmt man das Werkzeug leicht an, schmilzt das Wachs beim Ritzen leicht an, und die Spur wird weicher. Mit etwas Fantasie wird der Gestalter eigene Möglichkeiten entdecken.

Man kann **Wachsteile zusammenschweißen**, wenn man beispielsweise auf die Wachsplatte Teile aufsetzen oder einen fertig geformten Ringkopf mit der Schiene verbinden will. Dazu wird zwischen die Verbundflächen ein angewärmtes Messer gehalten, das Wachs schmilzt, man zieht das Messer heraus, und mit leichtem Druck hält man die Verbundteile so lange zusammen, bis sie miteinander verschmolzen sind.

Wachsdrähte können gebogen, auf die Wachsplatte aufgelegt und mit der Flamme angeschmolzen werden.

Mit dem Wachsdraht kann man, ähnlich wie

mit Metalldraht, offene, luftige Gestaltungen realisieren. Die Wachsdrähte lassen sich mühelos biegen und zusammenschweißen. Um die Gesamtform zu stabilisieren, kann man es über einer Metall- oder Holzunterlage aufbauen, die leicht eingefettet werden muß, damit man das Wachs wieder abnehmen kann. Sehr gut eignet sich zum Aufbau des Rings eine Arzneiflasche von geeignetem Durchmesser. Will man aber die Drahtkonstruktion in Form einer Hohlkugel gestalten, macht man aus der Einbettmasse eine Kugel und baut darauf das Netz aus den Wachsdrähten auf. Die Einbettmasse bleibt dann Bestandteil der Gießform. Solche Montagearbeiten aus Wachsdrähten sollen aber keine Imitationen von Drahtmodellen sein, sondern man muß die Eigenständigkeit des Verfahrens betonen, indem man beispielsweise die Verdickungen der Schweißstellen gestalterisch nutzt und außerdem die Dicke der Drähte variiert.

Mit dem Mundzerstüber, wie er etwa zum Fixieren von Kohlezeichnungen üblich ist, kann man flüssiges Blauwachs auf die Wachsplatte sprühen, so daß sich eine gleichmäßige Rauigkeit der Oberfläche ergibt, auf dem Gußstück wird das dann eine reizvolle Mattierung. Besonders interessante Möglichkeiten der Arbeit mit dem Modellierwachs ergeben sich, wenn man die vorgegebenen Blech- und Drahtformen verläßt und das Wachs zwischen den Fingern zu freien, **vollplastischen Gebilden** knetet – wenn man also wirklich modelliert. Dabei erweist sich besonders deutlich, daß man gestalterische Möglichkeiten hat, die bei der direkten Metallformung kaum oder gar nicht zu erreichen sind.

Wenn man die nötigen gestalterischen Voraussetzungen besitzt, kann es bis zu figürlichen Motiven gehen, die miniaturisiert in die Schmuckgestaltung einbezogen werden können. Die Rohform wird man mit den Fingern vorkneten. Durch Schneiden und Schaben werden die Feinheiten der Form herausgearbeitet, durch den Druck mit dem Modellierwerkzeug wird die Formung unterstützt und die Oberfläche glattgezogen. Wenn man die Oberfläche mit einem angewärmten Werkzeug überstreicht, wird die modellierte Fläche noch weiter geglättet.

In gleicher Weise kann man auch beispielsweise einen Herrenring aus dem Modellier-

wachs aufbauen. Zur Stabilisierung benutzt man, wie schon empfohlen, einen runden Dorn aus Metall, Holz, Glas oder Kunststoff, eventuell den Ringriegel. Der Dorn muß leicht eingefettet sein, damit das fertige Modell abgenommen werden kann. Bei einem Stahldorn kann man auch so verfahren, daß man ihn neben dem Modell so lange erwärmt, bis durch die Wärmeleitung das Wachs anschnitelt und man ihn dann abziehen kann.

Modell aus Hartwachs. Zweifellos ist es viel einfacher, ein Wachsmodell für einen Herrenring herzustellen, als den Ring aus massivem Metall zu sägen und zu feilen oder ihn als Mantelring anzufertigen.

Besonders günstig ist es, wenn man die handelsüblichen Ringtuben (Wachsstangen mit dem Grundprofil des Rings) aus Hartwachs verwenden kann, bei denen bereits die Fingeröffnung ausgespart ist und die schon die Grundkontur des Rings haben. Mit einem Holz-Laubsägeblatt wird ein keilförmiges Stück von der Stange abgesägt, und dann kann man mit einer Holzraspel oder mit groben Feilen Ringkopf und Schiene formen. Braucht man einen Durchbruch für den Stein, wird ein Loch gebohrt oder eingebrannt und dann die Öffnung ausgesägt. Das fertig geformte Modell glättet man abschließend mit Schaber und Schmirgelpapier.

Wenn das Hartwachs nur als massiver Block verwendet werden kann, muß man ein geeignetes Stück heraussägen und keilförmig abziehen. Mit dem Zirkel wird auf beiden Seiten die Fingeröffnung angezeichnet, ein Loch gebohrt oder eingebrannt und der Durchbruch herausgesägt. Die Fingeröffnung, eventuell auch die Grundform des gesamten Rings, kann man recht gut auf der Drehmaschine ausarbeiten. Dann kann man den Rohling genauso weiterbearbeiten, wie es beschrieben wurde.

Einbetten des Wachsmodells (Bild 4.31)

Der Gußkanal wird durch den Gußstift oder einen Wachsstreifen gebildet, der leicht angewärmt und mit dem Modell verbunden wird. Der Gußstift soll, entsprechend der Masse des Modells 1 ... 2 mm dick und 10 ... 20 mm lang sein. Der Gußkanal muß so angebracht werden, daß

- das Modell in Strömungsrichtung liegt, ver-

gleichbar mit dem Verlauf der Rippen und Adern eines Blattes, damit die Schmelze in Richtung der Fliehkraft in die Form fließt.

- er möglichst am massivsten Teil des Gußstücks sitzt, damit die Hauptmasse der Schmelze einen möglichst kurzen Weg hat.
- die Ansatzstelle am fertigen Gußstück möglichst leicht versäubert werden kann.

Wenn nötig, kann man bei größeren Modellen auch mehrere Gußstifte oder Wachsdrähte ansetzen.

Wichtig ist, daß auch innerhalb des Modells die Querschnitte so dimensioniert werden, daß die Schmelze die ganze Form ausfüllen kann. Wenn beispielsweise der Gußkanal an der Schiene angesetzt wird, muß sie so dick sein, daß die erforderliche Metallmenge in den

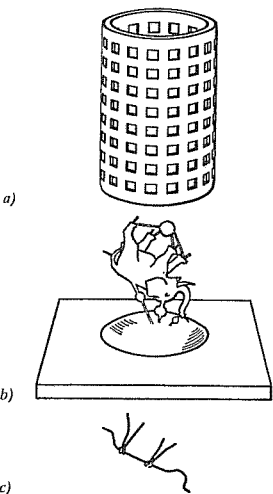


Bild 4.31 Vorbereitetes Einzelmodell mit Kuvette (Schema). a) Kuvette, b) Modell mit gewolltem Ständer, c) Drahtgitter

Ringkopf fließen kann, ehe die Schiene erstarrt ist.

Die flach gewölbte Schmelzmulde der Kuvette ergibt sich, wenn das Modell mit dem Gußstift in ein entsprechend geformtes Holz- oder Metallstück gesteckt wird; man kann dafür auch Wachs oder Plastilin verwenden.

Grundsätzlich muß der Abstand von Schmelzmulde und Gußstift möglichst gering sein, damit das Metall auf diesem Wege nicht unnötig abgekühlt wird. Man kann auf den Gußstift noch eine kleine Wackelkugel stecken und zwischen ihr und dem Modell den Stift noch etwas mit Wachs verstärken. So bekommt man einen Gußkopf zum Ausgleich der Schwindmasse beim Erstarren.

Als Kuvetten benutzt man Stahlrohrabschnitte unterschiedlicher Größe; damit die Einbettmasse schneller austrocknet, können sie gelocht sein.

Das Wachsmo-
dell wird in Spiritus getaucht, um es zu entfetten, besser ist es, wenn man noch ein spezielles Netzmittel benutzt.

Es werden die in der Zahntechnik üblichen Einbettmassen benutzt. In einem Gummibe-
cher wird etwas destilliertes Wasser mit der erforderlichen Menge der Einbettmasse vermischt und gut umgerührt. Man muß versuchen, die Luftbläschen aus der sahnigen Masse weitgehend zu entfernen. Dazu stößt man den Becher mehrfach auf den Tisch auf und bläst in die flüssige Masse hinein. Die Einbettmasse muß dünnflüssig, sahnig und ohne Klumpen sein.

Nun streicht man auf das Modell zunächst mit weichem Pinsel die dünnflüssige Einbettmasse, wobei wiederum auf eine blasenfreie Struktur zu achten ist. Wenn nötig, wird auf die erste Schicht trockene Einbettmasse gestäubt; man verhindert dadurch das Abtropfen und die Ribbildung der Form beim Austrocknen. Nach 2...3 min wird die Einbettmasse weiter aufgetragen, bis eine etwa 5 mm dicke Schicht das Wachsmo-
dell einhüllt.

Nun stülpt man die Kuvette darüber und gießt sie mit der Einbettmasse voll. Die durchbrochene Kuvette muß mit Papier umwickelt werden, damit die Masse nicht herausläuft. Zwischen Modell und Wand sollen etwa 10 mm, bis zum Boden der Form 15 mm Abstand bleiben.

Dieses unkomplizierte Einbettungsverfahren

genügt für gelegentliche Einzelstücke. Sind in der Einbettmasse noch Luftblasen enthalten, entstehen am Gußmodell »Warzen«, die zusätzliche Nacharbeit bedingen. Wenn man eine Vakuumlocke mit Vibrator zur Verfüllung hat, wird die Einbettmasse natürlich genauso damit behandelt wie beim später beschriebenen Einbetten des Gußbaums.

Trocknen und Glühen

Die fertige Form soll man nicht unnötig lange stehen lassen. Wenn die Einbettmasse gebunden hat, nimmt man die Gußhalbkugel ab, die Gußstifte werden herausgezogen. Zum Trocknen wird die Form so aufgestellt, daß die Öffnung nach unten weist, so daß das Wachs abfließen kann.

Durch indirekte Erwärmung, beispielsweise auf einem Ofen oder im Emaillofen bei niedriger Temperatur, wird die Form langsam – und das ist ganz wichtig – getrocknet und vorgewärmt. Wenn keine andere Möglichkeit besteht, genügt auch eine langsam brennende Gasflamme, über der die Form auf ein Drahtnetz aufgelegt ist; wird zu schnell erwärmt, reißt die Form ein und ist dann unbrauchbar. Man steigert die Hitze so lange, bis die Gußkanäle innen kirschrot glühen.

Gießen

Für den Anfänger und auch für den, der nur selten mit dem Schleuderguß zu tun hat, ist die Tischschleuder (Bild 4.32) am sichersten. Die Konstruktion ist so einfach, daß man sich das Gerät auch selbst anfertigen kann. Bei kleineren Kuvetten genügt es, wenn die Form auf einen der beiden Teller gestellt wird, bei größeren braucht man ein Gegengewicht.

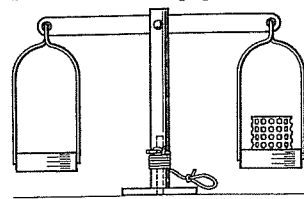


Bild 4.32 Einfache Tischschleuder mit aufgestellter Kuvette

Die vorgewärmte Form kommt auf den Teller der Schleuder, wird nochmals mit der Gasschmelzpistole erhitzt, und dann gibt man das Gußmetall auf die Schmelzmulde.

Wenn man in einer Schmelzschale Metall schmilzt, ist es üblich, durch leichtes Schütteln festzustellen, ob das Metall durchgeschmolzen ist. So etwas soll man bei der Gußform vermeiden, denn die Oberflächenspannung würde unterbrochen, so daß ein Teil der Schmelze in die Form rutschen und den Gußkanal verstopfen könnte. Den Schmelzzustand muß man durch Beobachtung erkennen!

Wenn also das Metall durchgeschmolzen ist, beginnt der Guß:

Die Schnur wird abgezogen, das Rohr dreht sich, und damit auch der Arm mit den Schmelzteilern, mit großer Geschwindigkeit um die haltende Achse, die Schmelzteilern fliegen hoch, und die Schmelze wird durch die Fliehkraft in die Form geschleudert.

Die Vorzüge des Verfahrens sind

- einfache Handhabung
- große Anfangsgeschwindigkeit
- beachtliche Betriebssicherheit
- geringe Kosten

Nach einiger Übung wird man mit der Hand-

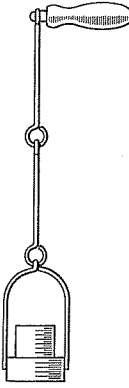


Bild 4.33 Handschleuder

schleuder (Bild 4.33) das gleiche Ergebnis erzielen; trotzdem ist man hierbei immer von subjektiven Einflüssen abhängig, und die Gefahr von Fehlgüssen ist weit größer. Es ist nicht ratsam, wie man es manchmal hört, die Schleuder kurz abzusenken, ehe man sie rotieren läßt; die Oberflächenspannung wird dabei

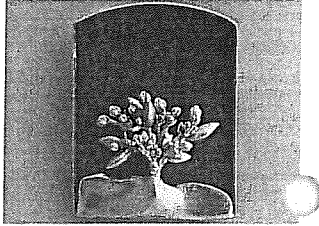
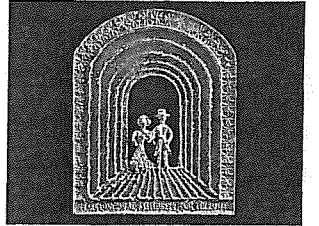
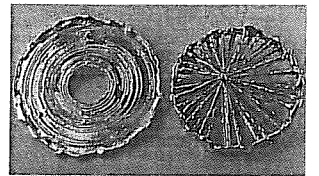


Bild 4.34 Aus Wachs modellierte Einzelstücke. a) Broschen, Silber, Fachschale für Ang. Kunst Heilgondom, b) Brosche, Gold, Rainer Schumann, Dresden, c) Brosche, Silber, Schiefer, Rainer Schumann, Dresden

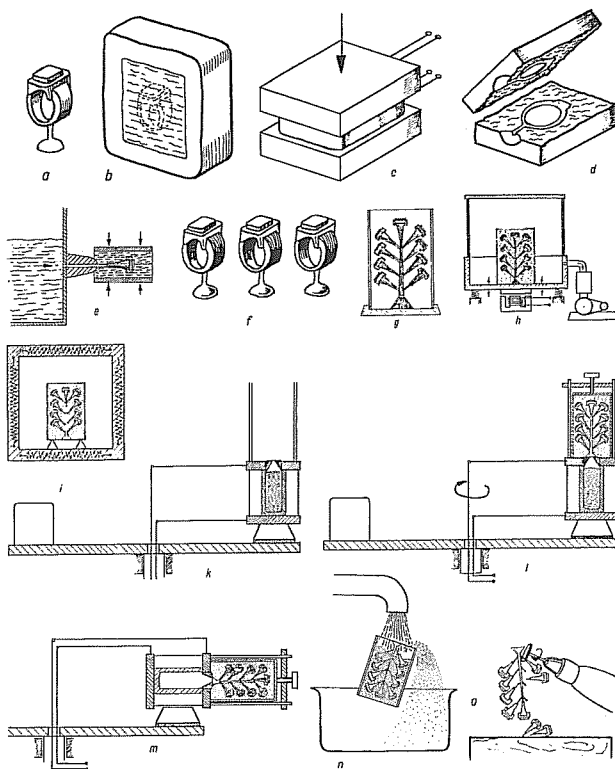


Bild 4.35 Vervielfältigung eines Metallmodells mit der Zentrifugal-Gießmaschine. a) Metallmodell, b) Modell in Rohgummi eingebettet, c) Behandlung in der Vakuumierpresse, d) getrocknete Gummiform, e) Wachs in die Gummiform spritzen, f) Wachsmo-
dell, g) Wachsbahn in der Kuvette, h) Kuvette, i) Wachsausschmelzen und Vorwärmen der Kuvette im Elektro-Gußofen, k) Schmelzen des Metalls, l) Kuvette auf Schmelzti-
gel montiert, Gießmaschine rotiert, m) Eingießen des Metalls in die rotierende Kuvette, n) Herauslösen des fertigen Gußbaums aus der Kuvette, o) Abtrennen des fertigen Stückes

zwar durchbrochen, aber das Metall erstarrt im Gußkanal, noch ehe die Drehung in vollem Schwung ist.

Günstiger ist es, die Schleuder ruhig, aber entschlossen, zunächst langsam, doch dann rasch beschleunigend rotieren zu lassen. So wird die Form zügig mit dem flüssigen Metall gefüllt, das dann mit großer Kraft gegen die Wandung der Form gepreßt wird.

Nach etwa 3 min wird die heiße Kuvette in kaltes Wasser getaucht, um das Gußstück von den Resten der Einbettmasse zu trennen. Der Gußkanal wird abgeschnitten, und das Gußstück muß nun noch nachgearbeitet, geglättet, geschliffen und poliert werden.

Wenn es sich um ein Einzelstück handelt, ist die Arbeit damit abgeschlossen (s. Bild 4.34).

Metallmodell für Serienfertigung (Bild 4.34)

Das nach dem Wachsmo-
dell hergestellte Einzelgußstück kann aber auch als Urmodell für eine Gummiform genutzt werden, um danach serienmäßige Wachsmo-
delle herstellen zu können (Bild 4.35). Diese Methode wird deshalb

gern angewandt, weil man so die speziellen Gestaltungsmöglichkeiten der Wachsbearbeitung direkt nutzen und umsetzen kann. Es lassen sich Effekte erzielen, die mit den traditionellen Metallbearbeitungsverfahren nicht oder nur schwer möglich sind. Aus gestalterischer Sicht ist dieser Weg der Modellherstellung besonders erstrebenswert, weil nur so die gußtypischen Merkmale entstehen können.

Selbstverständlich ist auch hierbei der Schwind bei der anschließenden Formung der Wachsmo-
delle aus der Gummiform zu berücksichtigen; im nächsten Abschnitt wird darauf näher eingegangen. Das Urmodell muß also entsprechend größer und dicker modelliert werden.

Ebenso kann das Metallmodell mit den üblichen Arbeitsmethoden des Goldschmieds als Einzelstück montiert werden, das dann direkt in Gummi abgeformt werden kann.

Wenn die Gummiform aus Silikonkautschuk gegossen wird, kann das Modell aus einer beliebigen Edelmetalllegierung oder einem anderen resistenten Metall sein, aber auch Holz oder Kunststoff sind möglich. Will man aber die Gummiform aus Kautschukplatten vulkanisieren, muß man die Hitze und den frei werdenden Schwefel berücksichtigen. In solchen

Fällen ist für das Modell am besten Au 585 geeignet, möglichst noch rhodiniert. Auch Messing ist geeignet. Silber und Unedelmetalle müssen vergoldet werden. Weichlotungen und hitzeempfindliche Modellwerkstoffe kann man nicht benutzen.

Der Abguß kann niemals besser sein als das Original!

Bei der Anfertigung des Metallmodells sind zwei Grundforderungen zu berücksichtigen:

- Es muß sehr präzise gearbeitet sein, weil sich alle Unregelmäßigkeiten an den Gußstücken wiederfinden.

- Das Wachsmo-
dell schrumpft in der Gummiform um 5...10%, folglich muß das Metallmodell um so viel größer sein.

Zum Ausgleich des Schwindes müssen Bleche und Drähte um knapp 10% dicker sein. Soll eine Ringschiene beim fertigen Stück 0,9 mm dick sein, muß sie beim Modell 1 mm Dicke haben, denn es kommt ja noch die Materialabnahme beim Versäubern des Metallmodells und des fertigen Gußstücks hinzu.

Zargen- und Krappenfassungen werden unter Berücksichtigung der Korrekturen für Metall-
dicke und Steinöffnung wie bei jedem üblichen Schmuckstück angelötet. Sie fließen beim Guß gut aus, und beim Fassen gibt es keine Schwierigkeiten. Die Fassung muß etwas weiter sein, der Stein muß »Luft« haben, dann wird er im Gußstück straff sitzen.

Besonders deutlich kommen die Vorzüge des Schleudergusses bei der Vervielfältigung gleichartiger Schmuckteile, wie Armbandglieder, Ohrhinge und Manschettenknöpfe, zur Geltung, denn man erspart sich die monotone Angleichung der Teile und erhält doch völlige Übereinstimmung.

Auch für offene Drahtmontagen ist das Gußverfahren günstig. Es ist immer wieder verblüffend, mit welcher Präzision die Drahtarbeiten aus der Gußform kommen. Dies trifft auch auf stark durchbrochene Ornamente zu. Es ist auch möglich, Kordeledraht, der beispielsweise als Zierrahmen um eine Fassung gelötet ist, abzuformen. Man muß nur darauf achten, daß er möglichst dicht gewickelt und sauber angelötet ist; andernfalls setzt sich Gummi in die kleinen Öffnungen und wird beim Entformen abgerissen, wodurch die Qualität des Modells beeinträchtigt wird.

Hohlkörper, die stark konisch nach unten zu-

laufen, und solche, die über die Halbkugel hinausgehen, kann man nicht mehr abformen. Hierzu gehören auch korbbartige Ringköpfe mit stark konischem Unterkörper. Solche komplizierten Hohlkörper müssen in mehreren Teilen gegossen und dann zusammengeleitet werden. Am besten ist es, wenn man zunächst das Stück komplett herstellt und dann mit einem sauberen Sägeschnitt trennt. Wenn es sich einrichten läßt, sollte man Führungsstifte und -bohrungen anbringen, dann wird die Montage vereinfacht.

Man muß bei der Modellfertigung schon an die spätere Nacharbeit der Gußstücke denken. Durch geeignete Gestaltung kann man unnötige Erschwernisse vermeiden; zur Erleichterung der Nacharbeit kann es sogar günstig sein, das Modell aus einzelnen Teilen zu gießen und dann zu montieren. Jedes Modell muß mit äußerster Sorgfalt versäubert und nachgearbeitet werden. Jede unsaubere Leiste bildet sich am Gußstück präzise ab! Bis zur höchsten Politur muß das Modell gebracht werden, wenn das Fertigstück glänzen soll. Alle matten Flächen des Schmuckstücks werden auch schon am Modell mattiert, so kann man sie besser nacharbeiten, als wenn sie noch glatt sind.

An das Metallmodell wird ein Gußkanal aus Runddraht oder flachgewalztem Draht gefügt.

Herstellung der Gummiform

Vulkanisierte Gummiform. Dieses Verfahren wird vorzugsweise bei der industrietechnischen Produktion angewandt. Für den Kleinbetrieb ist das bequemere Verfahren mit Silikonkautschuk zu empfehlen.

In einen stabilen Metallrahmen werden zwei passende Scheiben Rohkautschuk und dazwischen das Metallmodell so eingelegt, daß der Gußkanal bis zum Rand reicht. Hohlräume im Modell werden mit Kautschukstreifen ausgestopft, wie etwa die innere Hohlung eines Ringkopfs. Die Kautschukplatten sollen nur wenig über den Rahmen herausragen. Beiderseits wird der Rahmen mit Stahlplatten bedeckt. Unter der Vulkanisierpresse wird bei 150 °C etwa 20 ... 40 min lang vulkanisiert (Bild 4.36 a).

Mit einem Skalpell oder einer halbierten Rasierklinge, die in ein Schutzblech eingeklemmt

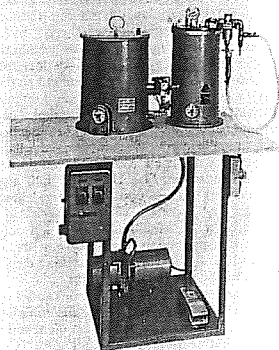
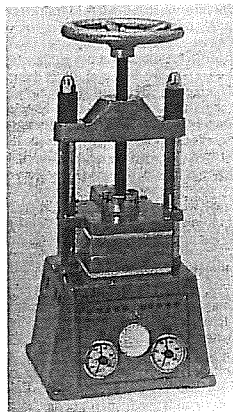


Bild 4.36 Zusatzanlagen zum Schleuderguß.
a) Vulkanisierpresse, b) Wachs-Injektor
(Firma Arno Lindner, München)

ist, wird der massive Gummiblock vorsichtig mit unregelmäßigen Schnitten aufgetrennt, bis das Modell entnommen werden kann. Die entstehenden Unebenheiten der Trennfläche gewährleisten später die genaue Passung der Formhälften. Durch gezielte Schnitte sorgt man dafür, daß empfindliche Teile des späteren Wachsmodells bequem entnommen werden können, ohne abzureißen.

Wenn flache, plattenförmige Teile, wie Münzen oder flache Anhänger, abgeformt werden sollen, werden Modell und Gummipatten vor dem Vulkanisieren mit Talkum eingepudert, damit man sie nach dem Vulkanisieren ohne Messer trennen kann. Durch zwei Stahlhalbkugeln, die mit einvakuiert werden, sichert man die Passung der Formhälften.

Gummiform aus Silikonkautschuk. Es werden Silikonkautschukmischungen angeboten, die Gummiformen unterschiedlicher Härte ergeben. Gummi und Vernetzer werden nach der Gebrauchsanleitung zu einer gießbaren Flüssigkeit vermischt. Im Vakuumrührer wird die Mischung nach dem Anrühren entlüftet; ebenso dann noch einmal, wenn das Modell eingebettet ist.

Als Formrahmen genügen einfache Blechstreifen, die entsprechend gebogen werden. Das Modell mit dem Gußstift wird zur Hälfte in Plastilin gedrückt, zur Führung werden noch einige Stahlkugeln mit eingedrückt. Mit Vaseline wird isoliert, und dann gießt man den Silikonkautschuk darüber.

Nach der Aushärtung werden Plastilin und Stahlkugeln entfernt, die Oberfläche der Formhälfte wieder mit Vaseline isoliert, damit nun die zweite Formhälfte darübergegossen werden kann.

Die fertigen Formhälften haben dort, wo in der ersten Form die Stahlkugeln war, Führungsbuckel, so daß sie nach Entnahme des Modells paßgerecht zusammengesetzt werden können. Bei Ringen mit glatter Innenseite kann man auf besonders einfache Weise die Gummiform herstellen. Das Ringmodell steckt man auf ein passendes Messingrohr mit untergelöteter Bodenplatte. Durch ein zweites, entsprechend größeres Rohr wird der Formrahmen gebildet, so daß die Silikonkautschukmasse eingegossen werden kann. Nach dem Aushärten wird das äußere Rohr abgezogen, die Gummiform quer

zur Ringschiene aufgeschnitten, und so kann man das Modell herausnehmen. Beim späteren Einspritzen des Wachses muß natürlich das innere Messingrohr in der Gummiform bleiben.

Herstellung der Wachsmodelle

Das Gußwachs soll

- möglichst schnell erkalten,
- möglichst wenig schrumpfen,
- eine gewisse Elastizität haben und
- ohne Rückstände verbrennen.

Damit sich die Wachsmodelle leicht entnehmen lassen, wird die Gummiform leicht mit Talkum eingepudert und gelegentlich mit Siliconspray behandelt.

Bei der industriellen Fertigung benutzt man den Wachs-Injektor (Bild 4.36 b). In einem Vorratsbehälter wird das Wachs mit einem elektrisch beheizten Wasserbad flüssig gehalten. Die Kautschukform wird mit zwei Aluminiumplatten fest zusammengedrückt und an die Düse des Wachs-Injektors gehalten. Dabei wird sie zuerst evakuiert, und dann wird sofort das Wachs mit leichtem Überdruck in die Gummiform gespritzt.

Da man die elastische Form bequem auseinanderbiegen kann, lassen sich die empfindlichen Wachsmodelle gut herausnehmen. Im Kleinbetrieb wird ein solcher Injektor nicht ausgelastet. Es wird eine Injektionspritze zum Einfüllen des flüssigen Wachses empfohlen, aber besser ist folgendes Verfahren: Die Silikonkautschukform wird zusammengebunden und auf einen Teller der Tischschleuder gestellt, in dem etwas Sägespäne sind, um die richtige Höhe und den sicheren Stand zu gewährleisten. Auf die Gummiform wird ein Trichter gesteckt, in den flüssiges Wachs gegossen wird, und dann wird die Schleuder sofort abgezogen, so daß das Wachs mit der Fliehkraft ganz präzise gegen die Gummiform gepreßt wird und alle Feinheiten der Form wiedergibt.

Einbetten des Gußbaums

An einem zentralen Wachsstamm mit Fuß werden die Gußkanäle der Wachsmodelle mit einem elektrisch erhitzten Kolben angeschweißt – es geht auch mit einem angewärmten Messer. Die Modelle müssen einen Mindestabstand von 2 mm haben, und bis zum Rand der Küvette müssen 5 mm Abstand sein,

damit die Einbettmasse nicht reißt. Die einzelnen Schmuckstücke werden spiralförmig rings um den Stamm des Bäumchens angesetzt, damit sie nach und nach ausfließen; würde man mehrere auf gleicher Höhe ansetzen, würden nicht alle ausfließen. Alle Modelle müssen so schräg angesetzt sein, daß sie in Richtung der Fliehkraft liegen.

Der Stamm des Bäumchens steht auf einem Gummiteiler mit eingearbeitetem Buckel für die spätere Gußmulde.

Man braucht für diesen komplizierten Guß eine Einbettmasse von besonders hoher Qualität. Der angerührte Brei wird mit einem Rührgerät durchgemischt, dann unter der Vakuumglocke mit Vibrator vorevakuiert, damit die enthaltenen Luftteilchen entweichen. Man kann sehen, um wieviel sich das Volumen deutlich vermindert.

Das Bäumchen taucht man in Spiritus oder in ein speziell dafür vorgesehenes Netzmittel. Die Küvette wird auf den Gummiteiler gesetzt, auf dem sich auch das Bäumchen befindet. Zum Ausgleich des Volumenschwunds beim Entlüften wird um die Küvette eine höhere Manschette aus dünnem Kunststoff gebunden, die dann, wenn die Einbettmasse fest ist, wieder entfernt wird.

Nun wird die vorevakuierte Einbettmasse so in die Küvette gegossen, daß sie neben den Wachsmustern an der Küvettenwand hineinfließt und vom Boden aufsteigend das Bäumchen einhüllt. Wenn die Küvette reichlich gefüllt ist, kommt sie unter die Vakuumglocke, und man sieht deutlich, wie die Luftblasen aus der Einbettmasse herausdrängen, und die Form bleibt so lange im Vakuum, bis keine Luft mehr austritt. Dabei ist auch die überschüssige Einbettmasse auf das Niveau der Küvette zurückgegangen, und man kann die Manschette abnehmen.

Der Gummiteiler wird abgenommen, und nach 20 min beginnt man vorsichtig, das Wachs mit der Gasflamme herauszuschmelzen. Im Elektroofen wird die Küvette bei einem Temperaturanstieg von 100 K/h innerhalb von 7 h auf 700 °C erhitzt und so zum Guß vorbereitet. Man kann auch die Küvette – die ja durch das Ausbrennen des Wachses schon vorgewärmt ist – in den auf etwa 250 °C heißen Ofen stellen und so weiter mit steigender Ofentemperatur aufheizen.

Man soll es so einrichten, daß zwischen Einbetten und Gießen etwa 6 ... 7 h liegen – nicht mehr. Die Endtemperatur soll 550 °C bis maximal 700 °C betragen. Die eigentliche Gießtemperatur kann dann tiefer liegen, die Küvette soll entsprechend abgekühlt werden:

$$\text{Gießtemperatur} = \frac{\text{Liquidustemperatur d. Legierung}}{2} + 50 \quad (\text{in } ^\circ\text{C}).$$

Für Au 585 wären das beispielsweise

$$\left(\frac{850}{2} + 50 \right) ^\circ\text{C} = 475 ^\circ\text{C}$$

Erforderliche Metallmenge

Wenn auch die Dichte des Wachses etwas geringer ist, kann man sie mit 1 g/cm³ annehmen, dadurch hat man noch einen gewissen Sicherheitsbetrag. Durch Vergleich mit der Dichte des Gußmetalls läßt sich die Menge des benötigten Metalls leicht bestimmen – das Verfahren gilt natürlich auch für den Guß von Einzelstücken nach modellierten Wachsmustern.

$$\begin{aligned} V_W &= V_M \\ m_W : \rho_W &= m_M : \rho_M \\ \text{Wegen } \rho_W &= 1 \text{ g/cm}^3 \text{ ergibt sich} \\ m_M &= \rho_M \cdot m_W \end{aligned}$$

V_W – Volumen des Wachses
 m_W – Masse des Wachses
 V_M – Volumen des Metalls
 m_M – Masse des Metalls
 ρ_M – Dichte des Metalls
 ρ_W – Dichte des Wachses

Schmelz- und Gießanlagen

Tiegelguß-Schleuder. Diese Anlage ist für den handwerklichen Kleinbetrieb gut geeignet. Man kann damit sowohl Einzelstücke als auch Gußbäumchen schnell und risikolos gießen. Je Charge können bis zu 50 g Edelmetalllegierung eingesetzt werden (Bild 4.37). Während bei der Tischschleuder die Zentrifugalkraft dadurch entsteht, daß eine Schnur abgezogen wird, entwickelt sich bei der Tiegelguß-Schleuder die Zentrifugalkraft durch die plötzliche Entspannung einer kräftigen Spiralfeder, die den Schleuderarm, auf dem Küvette und Tiegel befestigt sind, herumschleudert. Das Metall wird in einem Graphittiegel mit Hilfe eines elektrischen Schmelzofens, der sich

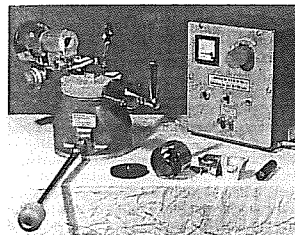
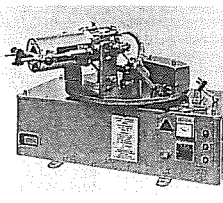
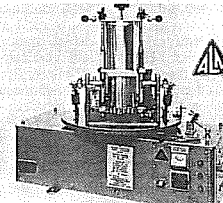
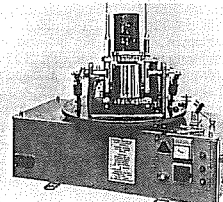
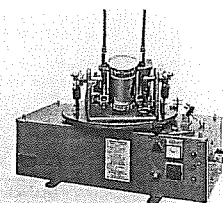


Bild 4.37 Tiegelguß-Schleuder
(Firma Manfred Heintze, Leipzig)

auf dem Schleuderarm befindet, erschmolzen. Wenn das Metall flüssig ist, wird die vorgewärmte Küvette ebenfalls auf den Schleuderarm gesetzt, und man schiebt den Ofen so dicht an die Küvette heran, daß die Gußöffnung des Tiegels genau vor dem Eingußkanal steht. Durch Hebeldruck wird dann der eigentliche Gießvorgang ausgelöst: Die Feder entspannt sich, so daß der Arm mit großer Wucht in Drehung versetzt wird und dabei das flüssige Metall durch die entstehende Zentrifugalkraft in die Form geschleudert wird.

Zentrifugal-Gießmaschine. Als Beispiel wird die Anlage der Firma Arno Lindner, München, beschrieben. Es gibt diese Gießmaschine in unterschiedlichen Größen. In jedem Fall ist es eine ausgesprochene Seriengieß-Anlage, die nur bei großem Materialdurchlauf ausgelastet werden kann (Bild 4.38 a). Nach dem Prinzip des Hellberg-Ofens (s. Kap. 4.4.2) dient ein Graphitrohr als Heizwiderstand, das die Wärme auf den eigentlichen Keramiktiegel überträgt; auf diese Weise sind Temperaturen bis 1600 °C möglich. Das Schmelzgut kann auch direkt im Graphittiegel erwärmt werden, aber nur bis 1300 °C. Dadurch, daß der Netzstrom auf 5 ... 12 V transformiert wird, er-

Bild 4.38 Elektrische Schmelz- und Zentrifugal-Gießmaschine. a) ohne Küvette, b) aufgesetzte Küvette, c) Küvette fest mit Schmelztiegel verbunden, d) Gießstellung bei Rotation (Firma Arno Lindner, München)



reicht man die zum Schmelzen erforderliche Stromstärke. Im Maschinengehäuse befinden sich die elektrischen und mechanischen Steuer- und Antriebsaggregate. Die Schmelz- und Gießeinrichtung ist auf der drehbaren Metallscheibe untergebracht.

Der Tiegel wird zunächst in senkrechter Stellung vorgeheizt, das Metall wird eingefüllt und erschmolzen. Ist es verflüssigt, wird die vorgeheizte Küvette aufgesetzt und mit dem Haltemechanismus fixiert.

Mit einem Elektromotor wird die Drehscheibe rasch beschleunigt, wobei der Schmelzstrom noch eingeschaltet bleibt, damit die Schmelze heiß bleibt. Ist die volle Drehzahl erreicht, wird über einen Auslöser die Schmelz- und Gießeinrichtung in die waagerechte Gießstellung – hydraulisch gebremst – umgekippt, und dabei schaltet sich der Strom ab.

Bei allen vorher beschriebenen Schleudergießeinrichtungen – Hand-, Tisch-, Tiegelgieß-Schleuder – setzt die Formausfüllung schon mit Beginn der Beschleunigung ein; wenn die volle Drehzahl – und damit die maximale Zentrifugalkraft – erreicht wird, ist der Gießvorgang schon abgeschlossen. Es wird erst dann gegossen, wenn die maximale Kraft wirksam ist.

Mit der Zentrifugal-Gießmaschine ist es möglich, Goldlegierungen, wie Gelb- und Rotgold, Weißgold, Silber, Messing, Tombak, Bronze und Neusilber, dünnflüssig und schonend zu schmelzen und in die Form zu schleudern.

Tabelle 4.14 Technische Daten der Schleudergieß-Anlage (Firma Arno Lindner, München)

Maximale Schmelztemperatur	1300 ... 1600 °C
Maximale Schmelzmenge, Silberlegierungen	
im Graphittiegel	140 ... 1400 g
Keramiktiegel im Graphitrohr	120 ... 800 g
Maximale Schmelzmenge, Goldlegierungen	
im Graphittiegel	200 ... 1900 g
Keramiktiegel im Graphitrohr	160 ... 1100 g
Maximale Küvettengröße	70 Ø x 90 mm ... 125 Ø x 220 mm
Elektrische Leistung bei Normalast	1 ... 32 kW
Elektrische Leistung bei zeitweiser Oberlast	1,4 ... 4 kW
Anheizen von Raum- auf Schmelztemperatur	10 ... 20 min
Schmelzdauer bei 1000 °C Schmelztemperatur	4 ... 10 min
Abmessung mit Schutzvorrichtung	800 mm x 800 mm ... 1350 mm x 1350 mm

Je nach Ofentyp werden bei den Zentrifugal-Gießmaschinen der Firma Lindner die in Tabelle 4.14 zusammengestellten Werte erreicht. **Vakuum-Gießanlage** (Bild 4.39). Während bei den bisher behandelten Gießanlagen das schmelzende Metall durch die Fliehkraft in die Form geschleudert wurde, wird es jetzt durch Evakuierung der Küvette in die Form hinein gesaugt.

Die Formvorbereitung mit dem Wachsbaum, der in die Küvette eingebettet wird, entspricht dem Schleudergieß. Die Wand der Küvette muß gelocht sein, dicht unter der Oberkante sitzt ein Flansch, der für den luftdichten Verschluss gebraucht wird. Der eingesetzten Metallmenge entsprechend sind die Küvetten unterschiedlich groß.

Die Vakuum-Pumpe hat eine Doppelfunktion: Mit ihr werden die Luftblasen aus der flüssigen Einbettmasse herausgetrieben, außerdem wird mit ihr die Metallschmelze in die Form gesaugt.

Auf dem Gerät befindet sich der Rüttler, kombiniert mit der Vakuumanlage, so daß zunächst die angerührte Einbettmasse und dann auch die gefüllte Küvette entlüftet und damit blasenfrei wird.

Die vorgeglühte Küvette wird in die Aufnahmekammer so eingesetzt, daß mit Flansch und Dichtungsring die Auflage exakt abgedichtet wird.

Das Metall wird auf der Küvette mit der Schmelzpistole verflüssigt. Währenddessen wird die aufgesetzte Vakuumglocke evakuiert. Wenn dann mit einem Fußschalter die Aufnahmekammer mit der Vakuumglocke ver-

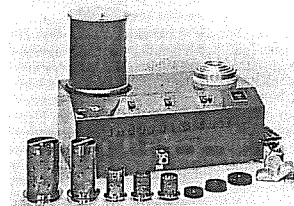


Bild 4.39 Vakuum-Gießanlage (Firma P. P. Schula, Lütbeck)

bunden wird, entsteht ein plötzlicher Unterdruck, und die Luft wird durch die poröse Einbettmasse aus dem Hohlraum der Form abgezogen, so daß die darüber befindliche Schmelze rasch und vehement in die Form gesaugt wird und den Hohlraum ausfüllt. Dieses Verfahren ist deshalb besonders vorteilhaft, weil die Küvette ruhig stehenbleibt, alle Risiken und Belastungen, die sich durch die Rotation ergeben, entfallen.

4.5.6.3 Rotationsguß mit Kokille

Auf diese Weise kann man fugenlose Trauringe leichter und rationeller herstellen als mit der einfachen Standgußkokille. Das Verfahren ist unkompliziert: Die genau dosierte Metallmenge wird in der Schmelzschale verflüssigt, die rohrförmige Ko-

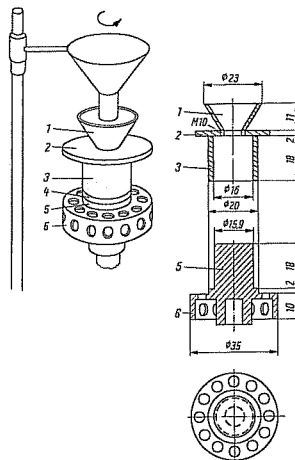


Bild 4.40 Kokille zum Rotationsguß von Trauringen. (1) Eingußtrichter, (2) Rohrdeckel, (3) oberes Rohrstück, (4) Zwischenringe, (5) massiver Stützen, (6) Lochkranz

kille wird auf volle Drehzahl gebracht; dann kippt man das flüssige Metall in den schwenkbaren, starren Einguß, so daß die Schmelze gegen die Wandung der Rotationskokille geschleudert wird und sich ringsum gleichmäßig anlagert. Au 585 wird bei reduzierter Drehzahl eingegossen. Soll der Trauring Halbrundprofil bekommen, muß er auf diese Form gerandelt oder abgedreht werden.

Man kann sich die einfache Rotationskokille von einem Dreher ohne großen Aufwand anfertigen lassen (Bild 4.40).

In den Deckel des oberen Rohrstücks (2) ist der Gußtrichter (1) eingeschraubt. Dieses Rohr (3) wird lose auf den massiven Bolzen (5) aufgesetzt. Mit Hilfe von Zwischenringen (4), die ebenfalls auf den Bolzen geschoben werden, reguliert man den Abstand des Rohrdrecks von der Oberkante des Bolzens, und damit wird die Breite des Traurings eingestellt. Mit dem Kranz (6), der ringsum durchlocht ist, wird der ruhige Lauf der Kokille gesichert, denn er wirkt als Schwungmasse. Als Antrieb dient der Motor einer kleinen elektrischen Kaffeemühle mit einer Drehzahl von mindestens 3000 min⁻¹. Damit der Motor trotz der hohen Zentrifugalkräfte ruhig läuft, soll er keine Gleitlager, sondern zuverlässige Rollager haben. Um die Hände freizuhalten, ist ein Fußschalter, der auch als Drehzahlregler dient, ratsam, wie er bei der elektrischen Nähmaschine üblich ist.

4.6 Walzen und Ziehen

4.6.1 Wesen der Umformung

Wenn man das Phänomen der Umformung eines metallischen Werkstoffs untersuchen will, muß man sich darüber klar sein, daß im Gefüge gleichzeitig nebeneinander zahlreiche verwickelte Vorgänge ablaufen, die überhaupt nur dadurch zu erfassen sind, daß man sie in Einzelercheinungen aufteilt. Dieses methodische Prinzip wird auch hier bei den Erläuterungen angewandt – man muß sich aber immer über die Komplexität der Vorgänge klar sein. Folgende Fragen sind zu beantworten:

- Was geschieht innerhalb eines Kristallites?
- Wie verändert sich der Kristallverband?
- Auf welche Weise wird der ganze Metallblock umgeformt?

Verständlicherweise können diese Fragen im Rahmen dieses Lehrbuchs nur in vereinfachter Form behandelt werden. Grundsätzlich sind die Vorgänge im Einzelkristallit und im Kristallitverband bei allen Beanspruchungsarten gleich; dagegen ist die Veränderung des Blockganges von der Umformungsmethode abhängig. Beim Schmieden ist es anders als beim Ziehen, beim Biegen anders als beim Nieten. Nur deshalb, weil die allgemeinen Erscheinungen der Umformung – also die Veränderungen von Einzelkristallit und Kristallitverband – beim Walzprozeß besonders klar zu übersehen ist, sollen sie am Beispiel dieser Umformungsart beschrieben werden.

Elastische Umformung

Bereits bei der Erläuterung des Spannungs-Dehnungs-Diagramms wurde die elastische Umformung beschrieben. Jeder plastischen Umformung geht sowohl im ganzen Metallblock als auch in jedem einzelnen Kristallit eine elastische Umformung voraus. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß sich der gesamte Metallblock bei Zugbeanspruchung in Zugrichtung verlängert bzw. bei Druckbelastung in Druckrichtung zusammenrückt; hört die Belastung auf, nimmt der Metallblock seine ursprüngliche Form wieder an.

In der Praxis wird es immer so sein, daß während der elastischen Umformung des Metallblocks wohl die meisten Kristallite nur elastisch beansprucht sind, daß aber doch schon bei einzelnen, besonders günstig orientierten Kristalliten eine erste bleibende Umformung einsetzen kann. Umgekehrt wird es auch nach deutlicher bleibender Umformung des Blockganges noch einzelne Kristallite geben, die nur elastisch beansprucht wurden.

Die Veränderungen innerhalb eines Kristallits bei elastischer Beanspruchung sind in vereinfachter Weise auf Bild 4.41 dargestellt. Modellmäßig kann man sich die Vorgänge am leichtesten so vorstellen, daß man sich die Atome als Kugeln, die zwischen ihnen wirkenden elektrischen Anziehungskräfte als Gummibänder vorstellt. Bei Bild 4.41 b ist deutlich zu sehen, wie die Atome ihren Abstand in Druckrichtung verringern, während das Gitter in Gegenrichtung geweitet wird. Wirkt der Druck in schräger Richtung auf den Gitterverband, wird aus dem Quadrat ein Rhombus (s. Bild 4.41 c). Bei Zugbeanspruchung herrscht das gleiche Prinzip in umgekehrter Form: In Zugrichtung weitet sich das Gitter auf, während es sich in der Gegenrichtung zusammenzieht.

Wenn man sich die Umformung am »Gummibandmodell« vorstellt, dürfte klar sein, daß der Gitterverband bei vollständiger Entlastung seine ursprüngliche Form wieder annimmt.

Dadurch, daß in jedem Einzelkristallit die beschriebenen Vorgänge ablaufen, kann auch der ganze Kristallitverband elastisch umgeformt werden. Im Gegensatz dazu muß man bei der folgenden plastischen Umformung zwischen den Vorgängen im Einzelkristallit und im Kristallitverband unterscheiden.

Plastische Umformung

Jeder plastischen Umformung geht eine elastische voraus. Während aber bei dieser nach Entlastung die Formänderung aufgehoben wird und das Gefüge die Ausgangsform wieder annimmt, bleibt beim plastischen Umformen die Formänderung nach Entlastung erhalten.

Vorgänge im Einzelkristallit. Wenn die Belastung die Elastizitätsgrenze überschritten hat, vergrößern sich die Atomabstände nicht weiter, sondern der ganze Atomverband verschiebt sich auf bevorzugten »Gleitebenen«. Das sind Kristallflächen, die besonders dicht mit Atomen besetzt sind. Bei den kubischen Metallen sind es die Diagonalfächen. Wenn man sich beim »Gummibandmodell« das vorstellt, können sich die Bänder nicht weiter dehnen, von allen Atomen der Gleitfläche werden sie abgerissen, die Atome »holpern« um eine »Gleitstufe« weiter, und sie werden wieder von den Gummibändern verbunden, so daß die gegenseitige Bindung der Atome wieder hergestellt ist (Bild 4.41 d). Wenn der gesamte Kristallit dadurch auch seine Außenform verändert hat – er wurde gestreckt – so bleibt die Ordnung der Atome erhalten. Ein Goldkristall ist auch nach dem Walzen immer noch nach dem kfz-Gitter gebaut! Je mehr Gleitebenen in einem Kristallit vorhanden sind und je stärker sich die Atome auf diesen Ebenen verschieben, um so mehr verändert der Kristallit seine ursprüngliche Form. Während er sich in einer Richtung fadenartig verlängert, wird er in der Gegenrichtung immer schmaler (Bild 4.41 e). Eine solche Verschiebung des Gitterverbandes ist nur möglich, wenn die Belastung in Richtung der bevorzugten Gleitflächen wirkt; einer Spannung, die in anderer Richtung einwirkt, setzt der Kristallit einen hohen Wi-

derstand entgegen, weil nur ein vermindelter Kräfteanteil zur Umformung genutzt werden kann – oft reicht es nur zu einer elastischen Verschiebung des Gitters (Bild 4.41 b). Die plastische Umformung eines Kristallits ist also im Gegensatz zur elastischen Umformung richtungsunabhängig.

Mit dem Umformungsgrad wächst der Umformungswiderstand des Gittergefüges: Je mehr der Kristallit seine ursprüngliche Gestalt geändert hat und je stärker die Deformation fortgeschritten ist, um so mehr Kraft braucht man zur Fortsetzung der Umformung.

Vorgänge im Kristallitverband. Bei der Erläuterung des Erstarrungsvorgangs (s. Abschnitt 4.5.3) wurde darauf hingewiesen, daß ein Metallblock kein einheitlicher Kristall ist, sondern aus einer Vielzahl von Kristalliten besteht, die regellos – also richtungsunabhängig – verteilt sind. Diese Regellosigkeit wirkt sich so aus, daß die bevorzugten Gleitebenen der einzelnen Kristallite nach unterschiedlichen Richtungen orientiert sind. Es ist deshalb gleichgültig, in welcher Richtung die Belastung auf einen Vielkristall – das ist ja jeder Metallblock – einwirkt, immer werden zunächst nur die Kristallite nachgeben und sich plastisch umformen lassen, die zufällig in optimaler Umformungsrichtung liegen. Wurde beim Einzelkristall gesagt, daß seine Umformbarkeit richtungsabhängig ist, darf man vom vielkristallinen Metallblock sagen, daß er sich in jeder Richtung gleichermaßen formen läßt.

Wenn sich nun ein Kristallit, der in Umformungsrichtung liegt, streckt, wirkt sich das sofort auf die Nachbarkristalle aus, weil sie ja mit ihm in direktem Kontakt stehen und mit ihm verbunden sind. Sie werden zunächst elastisch gespannt, dann in ihrer Lage verändert und immer weiter gedreht, bis auch sie von der plastischen Umformung erfaßt werden: Das Gefüge »fließt« (s. Bild 4.56). Mit steigendem Umformungsgrad werden immer mehr Kristallite gestreckt, bis schließlich auf dem Gefügebild nur noch fadenartig langgezogene Kristallite zu erkennen sind, es ist die typische Walz- bzw. Ziehstruktur. Durch die plastische Umformung wird der richtungsunabhängige Metallblock zu einem in Bearbeitungsrichtung geordneten Kristallitgefüge.

Es zeigt sich also, daß mit der Belastung nicht

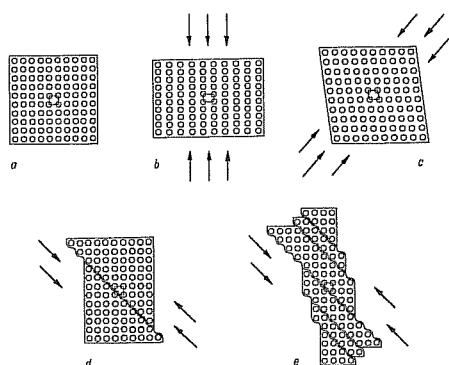


Bild 4.41 Veränderung des Gitterverbandes bei der Umformung (Schema). a) Ausgangszustand, b) elastische Umformung bei senkrechter Kräfteinwirkung, c) elastische Umformung bei diagonaler Kräfteinwirkung, d) beginnende plastische Umformung auf einer Gleitebene, e) fortschreitende Umformung auf weiteren Gleitebenen

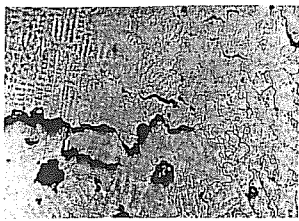


Bild 4.42 Legierung Au 585. Grobkörniges Gefüge, bei beginnender Umformung gerissen. $V = 125$

nur der Umformungswiderstand der Atome auf den Gleitebenen des Einzelkristalls überwinden werden muß, sondern daß die stärksten Widerstandskräfte aus der gegenseitigen Behinderung der Kristallite erwachsen. Wenn zwischen den Kristalliten noch zusätzlich spröde Korngrenzsubstanzen abgeschieden sind, wirken diese als versteifendes Gerüst und können die Umformung hemmen oder völlig unmöglich machen (Bild 4.42).

Im Laufe des Umformungsprozesses werden schließlich die Kristallite bis an die Grenzen ihrer Formbarkeit gestreckt, immer größere äußere Kräfte sind dazu erforderlich. Schließlich kann es so weit kommen, daß bei anhalten-

der Krafteinwirkung die Trennfestigkeit überschritten wird – und das Gefüge beginnt an einzelnen Stellen einzubrechen.

Generell gilt für die Metalle, daß mit wachsendem Umformungsgrad Härte, Zugfestigkeit und Streckgrenze steigen, während die Dehnung sinkt. Auf Bild 4.43 wird am Beispiel des Kupfers gezeigt, wie sich die mechanischen Eigenschaften mit dem Umformungsgrad ändern. Bei anderen Metallen und Legierungen sind die konkreten Werte zwar unterschiedlich, aber die Tendenz und der Kurvenverlauf sind prinzipiell gleich.

4.6.2 Walzen

Walzvorgang

Das Walzen kann man als einen örtlich fortschreitenden Umformungsprozeß auffassen, in dessen Verlauf die Dicke des Metallblocks verringert wird, wobei gleichzeitig seine Länge zunimmt, während die Breite fast unverändert bleibt. Zwischen den Walzzylindern, die sich gegeneinanderdrehen, wird der Metallblock gestaucht und gleichzeitig aufgrund der entstehenden Reibung weiterbefördert.

Ehe man die Umformung beim Walzen verstehen kann, muß man die Vorgänge zwischen ruhenden Preßflächen betrachten.

Stauen zwischen ruhenden Preßflächen. Der Metallblock wird in Wirkungsrichtung der Druckkräfte belastet, während er quer dazu unbelastet bleibt. Dies entspricht der Beanspruchung beim Schmieden, Treiben, Zerschlagen, Prägen usw.

Das innere Gefüge des Metallblocks wird durch die äußeren Kräfte nicht gleichmäßig umgeformt, sondern es gibt Zonen, in denen keine oder nur geringe Deformation erfolgt, und andere, die besonders stark von der Umformung erfaßt werden (Bild 4.44).

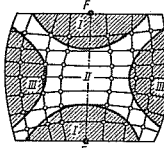


Bild 4.44 Fließkegel (Schema)

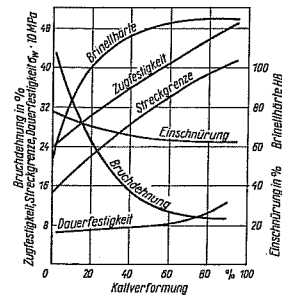


Bild 4.43 Änderung der Eigenschaften eines Metalls bei der Umformung (Beispiel: Kupfer)

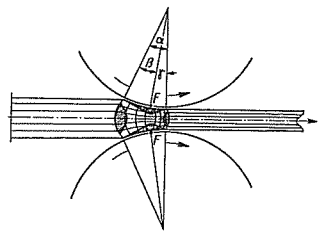


Bild 4.45 Walzvorgang mit Fließkegel (Schema)

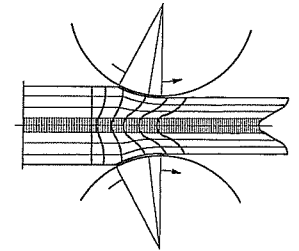


Bild 4.46 Walzvorgang. Bei einem dicken Block wird die Kernzone vom Walzdruck nicht erfaßt

liegt nun nicht mehr in der Körpermitte, sondern ist seitlich verschoben. Ebenso, wie es bei den ruhenden Preßflächen beschrieben wurde, weicht der Körper der Belastung zu beiden Seiten der Fließscheide gleichermaßen aus. Daraus ergibt sich nun, daß das Metall im Bereich von β zurückgedrängt wird, es wirkt der Rückstau. Im Gebiet von γ dagegen wird das Metall vorwärtsgeschoben, von der Voreileung erfaßt. Demnach wird das Metall im Bereich des Rückstaus langsamer, im Bereich der Voreileung schneller als die Umfangsgeschwindigkeit der Walze bewegt; lediglich auf der Fließscheide bewegt sich das Metall vorübergehend im Tempo der Walzenrolle. Hinzu kommt noch, daß sich der Walzdruck nicht so gleichmäßig, wie es zur vereinfachten Darstellung angenommen wurde, dem gesam-

- Durch den Kontakt von Werkzeug- und Werkstückoberfläche entsteht eine so starke Reibung, daß hier das Metall nicht seitlich ausweichen kann. Dadurch bleiben auch die unter den Reibungsflächen liegenden Gefügestandteile unverändert, so daß im Bereich I keine oder nur geringe Umformung erfolgt.
- Durch den äußeren Druck wird der Metallblock quer zur Belastungsrichtung ausgedehnt, und deshalb kann in diesem Bereich III die senkrecht wirkende Druckkraft nicht auf das Gefüge einwirken.
- So konzentriert sich die Gefügeänderung auf den Bereich II, der zwischen den Zonen liegt, die von der Umformung nicht erfaßt werden.

Die Lageänderung der Bereiche I und III kommt also vorwiegend durch die Verdrängung zustande, die sich bei der Gefügeomformung des Bereichs II ergibt. In den Punkten F bleibt das Metallgefüge unverändert; die Verbindung zwischen beiden Punkten ist die Fließscheide FF, von der aus das Gefüge gleichermaßen nach beiden Seiten weggedrängt wird.

Wenn der belastete Metallblock besonders dick und die wirkende Kraft nur gering ist, kann es passieren, daß sich an den Preßflächen ein »Fließkegel« bildet, an den sich ein Bereich starker Umformung anschließt. Das geschieht beispielsweise an den Stellen, wo ein Hammer auftritt, und auch auf der Gegenseite, die auf dem Amboß aufliegt. Dazwischen liegt im Blockinneren ein Bereich, auf den die Druckkraft nicht mehr wirkt und der deshalb unverändert bleibt.

Stauen zwischen bewegten Preßflächen.

Diese Belastungsart entspricht dem Walzvorgang. Die Walzenrollen bilden schräge Druckflächen, zwischen denen das Metall während der Beanspruchung durch die entstehende Haftreibung kontinuierlich weiterbewegt wird.

Wenn man annimmt, daß sich der Walzdruck gleichmäßig stark dem gesamten Metallquerschnitt mittelt, erfolgt die Beanspruchung im Bereich von α . Durch den Reibungswiderstand an den Walzflächen bilden sich wieder Zonen geringster Umformung, die Fließkegel (Bild 4.45). Die Fließscheide FF

spitze zu bekommen, kann man den Streifen an einem Ende spitz anschneiden; besser ist es jedoch, wenn man statt dessen einen Runddraht, dessen Dicke dem gewünschten Innendurchmesser entspricht, an einem Ende des Blechstreifens anlötet, denn das Rohr bleibt dann gleichmäßig rund und wird nicht durch die Ziehange deformiert.

In einer Hohlkehle, die in ein Holz eingefellt ist, wird das Blech mit der Finne des Brethammers etwas mehr als halbrund geschlagen. Dabei sollen die Hammerschläge nicht auf die Mitte des Blechstreifens, sondern nur auf die Randzonen treffen, anderenfalls windet sich die Fuge schraubenförmig. Der Blechstreifen wird gegläht und die Fuge gefritsch. Nun zieht man das Rohr so weit, bis die Fuge voreinanderstößt, dabei ist Zielwachs zu vermeiden, weil sonst das Lot nicht fließt. Das gezogene Rohr wird nun gelötet. Damit die Fuge sich beim Erwärmen nicht öffnet, kann das Rohr auch mit Bindedraht zusammengebunden werden.

Es sind lange, schmale Lotstücke zu verwenden. Nach dem Löten beizt man ab und entfernt die Lotreste. Schließlich wird das Rohr noch durch einige folgende Löcher gezogen, um es endgültig glatt und rund zu bekommen und den gewünschten Außendurchmesser zu erreichen.

Braucht man ein Hohlprofil – etwa quadratisch, rechteckig, dreieckig – kann man mit einem passenden Ziehisen dies folgendermaßen herstellen: Zunächst wird nach dem beschriebenen Verfahren ein rundes Rohr mit etwas größerem Durchmesser angefertigt.

In das Rohr steckt man einen Kupferdraht, der genau dem Innendurchmesser entspricht; er bildet die »Metallseele«. Dieser Draht soll an beiden Enden um etwa 20 mm über das Rohr herausragen. Ein Drahtende bildet die Ziehspitze und wird deshalb leicht festgelötet (mit Harzlot!).

Nun zieht man durch das Fassonzieheisen, beispielsweise mit Vierkantöffnung, bis die gewünschte Form und Größe erreicht ist. Vom fertigen Rohr sägt man das Stück ab, das mit der Ziehspitze verlötet ist. Man spannt dann das Ziehisen so in den Schraubstock, daß die Vorderseite nach hinten kommt. Das aus dem Rohr herausragende hintere Drahtende steckt

man durch das passende Loch des Ziehseisens und zieht die Seele aus dem Rohr heraus, das sich gegen die Wandung des Ziehseisens stützt und dadurch zurückgehalten wird. Wenn man aber das Hohlprofil biegen will, muß die Seele im Rohr bleiben, bis die gewünschte Biegung fertig ist; dann läßt sich der Metallkern nur durch Ätzen herauslösen, wie es im Abschnitt 5.9.5 erläutert wird.

4.7 Glühen und Aushärten

4.7.1 Rekristallisation

Bei der Behandlung der Umformungsvorgänge des Kristallverbandes wurde bereits erläutert, wie das Gefüge mit steigendem Umformungsgrad immer mehr in einen unnatürlichen Zwangszustand gebracht wird, bis schließlich alle Kristallite fadenartig in Beanspruchungsrichtung orientiert sind. Diese Verschiebung des Gefüges hat verschiedene Änderungen der Eigenschaften zur Folge:

- Härte und Festigkeit wachsen,
 - die Dehnung sinkt immer weiter ab.
- Wenn das Maximum der Beanspruchung erreicht ist, kann man das Metall nicht weiter umformen, denn es würde anderenfalls reißen und zu Bruch gehen.

Um die Eigenschaften des umgeformten Metalls wieder annähernd auf die Ausgangswerte zu bringen, muß der Zwangszustand der Gefügedeformation aufgehoben werden; der Metallblock muß rekristallisieren.

Verlauf der Rekristallisation

Der gesamte Rekristallisationsprozeß kann in drei Etappen gegliedert werden, die normalerweise an jedem Punkt des Metalls in zeitlicher Aufeinanderfolge verlaufen; innerhalb des Blocks können sie wegen der ungleichmäßigen Temperaturverteilung nebeneinander liegen, etwa so, daß die Neuformierung der Kristalle in der Randzone schon abgeschlossen ist, während der Kern noch gar nicht die Rekristallisationstemperatur erreicht hat (Bild 4.53).

Keimbildung. Der Rekristallisationsprozeß hat mehrere Parallelen mit der Kristallbildung aus der Schmelze. So ist die Keimbildung nur möglich, wenn die Atome genügend Bewe-

gungsenergie in Form von Glühhitze aufgenommen haben, damit sie ihre bisherigen Plätze verlassen können. Die erforderliche

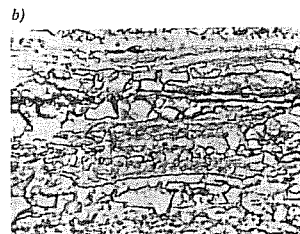


Bild 4.53 Entstehung des Rekristallisationsgefüges. (Beispiel: Stahl C 10; 90% kaltgewalzt). a) Walzstruktur, b) Entstehung neuer Kristallite im deformierten Gefüge, c) fortgeschrittene Rekristallisation

Mindesttemperatur ist bei den einzelnen Metallen unterschiedlich:

- Gold braucht ungefähr 400 °C,
- bei Kupfer und Silber genügen 200 °C,
- Blei und Zinn rekristallisieren schon bei Zimmertemperatur.

Bei diesen Metallen überlagern sich Umformung und Rekristallisation, und das Zwischenglühen ist gar nicht erforderlich.

Wenn also die nötige Bewegungsenergie zugeführt worden ist, lösen sich aus dem verspannten Kristallverband zunächst diejenigen Atome, die unter besonders hoher Spannung stehen. Meist äußerst sich dies so, daß sich an den Korngrenzen der alten, umgeformten Kristallite die ersten Atome zusammenfinden, um neue, spannungsfreie Keimzellen zu bilden, wie es auf Bild 4.54 deutlich zu erkennen ist.

Keimwachstum. Wenn dem Metallblock weitere Energie zugeführt wird, werden sich immer mehr Atome aus den alten, spannungsreichen Kristalliten lösen und an den entstandenen neuen Keimen ansetzen. Die neugebildeten Verbände wachsen in die alten Gefügestandteile hinein und zehren sie nach und nach auf. Im Gegensatz zur Kristallisation aus der Schmelze ist dieser Vorgang weniger richtungsbedingt, d. h., es werden kaum dendritische Kristalle gebildet, sondern das neue Gefüge besteht aus ungefähr gleich großen, zur

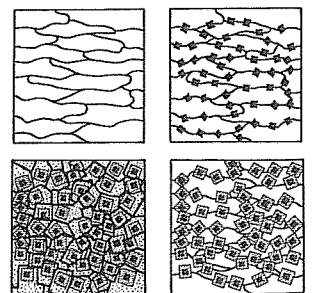


Bild 4.54 Neubildung der Kristalle durch Keimwachstum (Schema)

Kugelform neigenden Kristalliten. Der Rekristallisationsvorgang ist abgeschlossen, wenn sämtliche Atome aus den umgeformten Kristalliten in spannungsfreien Verbänden eingeordnet sind. In der Praxis läuft dieser Rekristallisationsprozeß innerhalb weniger Sekunden ab.

Kornvergrößerung. Wenn man das Metall länger als nötig glüht, kommt es sogar zu weiteren Reaktionen zwischen den neuentstandenen Kristalliten, indem sich benachbarte Verbände zu immer größeren Kristalliten zusammenschließen. Das bedeutet, daß sich die Anzahl der Kristallite verringert und daß die verbleibenden Kristallite immer größer werden. Das Ergebnis ist eine zunehmende Kornvergrößerung und damit eine deutliche Verschlechterung der Eigenschaften.

Um solche Schäden zu vermeiden, soll der Metallblock nicht länger als unbedingt nötig gegläht werden.

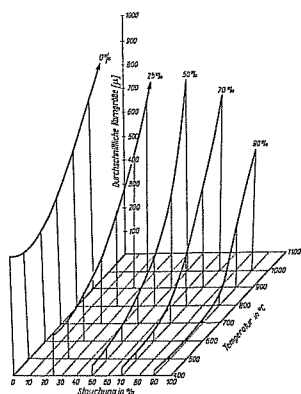


Bild 4.55 Zusammenhang von Umformungsgrad, Glühzeit und Korngröße bei der Rekristallisation des Goldes

Korngröße

Wenn der Block vor dem Glühen nicht oder nur wenig umgeformt wurde, kann es passieren, daß sich das Gefüge überhaupt nicht verändert, daß also keine Rekristallisation erfolgt.

Erst nach einer Mindestumformung setzt eine deutliche Rekristallisation mit extrem grober Kristallneubildung ein, wie das auf dem Diagramm (Bild 4.55) zu erkennen ist. Da nur wenige Kristallite an der Umformung beteiligt waren, gibt es nur wenige Spannungszentren, und die Rekristallisation kann nur von wenigen Keimen ausgehen.

Je höher der Umformungsgrad ist, um so mehr Spannungszentren werden gebildet und um so mehr Kristallkeime können entstehen. Auf den Bildern 4.56 und 4.57 wird der Zusammenhang von Korngröße, Rekristallisationsgefüge und Umformungsgrad schematisch dargestellt. Bei allen Edelmetallen und deren Legierungen verläuft die Rekristallisation prinzipiell auf gleiche Weise, wenn auch mit etwas verschobenen Werten.

Die Beschaffenheit des Rekristallisationsgefüges ist sowohl vom Umformungsgrad als auch

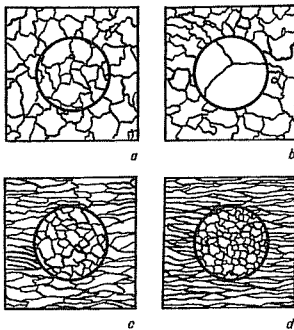


Bild 4.56 Deformation des Gefüges bei plastischer Umformung (quadratische Felder) und zugehöriges Rekristallisationsgefüge (runde Felder), schematisch. a) nicht umgeformt, b) 10 % umgeformt, c) 50 % umgeformt, d) 75 % umgeformt

von der Glühzeit abhängig. Wie bereits im vorigen Abschnitt ausgeführt wurde, ist zur Rekristallisation eine Mindesttemperatur nötig; die Höhe dieser Rekristallisationstemperatur ist bei den einzelnen Metallen unterschiedlich. Je weiter die Temperatur über diesen Mindestwert hinaus erhöht wird, um so schneller wachsen die Kristalle, wodurch schließlich eine Vergrößerung des Gesamtgefüges ein-



Bild 4.57 Abhängigkeit der Rekristallisationskorngröße vom Grad der plastischen Umformung (Beispiel: Aluminium). Von oben nach unten: Verfeinerung des Rekristallisationsgefüges in Abhängigkeit vom Umformungsgrad

tritt. Im Extremfall kann es zur Grobkornbildung kommen, wenn folgende Umstände zusammenreffen:

- zu niedriger Umformungsgrad,
 - zu langsames Anwärmen beim Glühen,
 - zu hohe Glühzeit,
 - zu lang anhaltende Glühzeit.
- Die Zusammenhänge der Einflußgrößen wird am Beispiel des Goldes auf Bild 4.55 gezeigt. Da Grobkorngefüge zur spannungslosen Weiterverarbeitung ungeeignet ist und zur Ribbildung neigt, soll man auf jeden Fall ein möglichst feinkörniges Gefüge anstreben, indem folgende Hinweise beachtet werden:
- Entsprechend den Verarbeitungsvorschriften für Metalle ist das Material bis zum maximalen Umformungsgrad zu beanspruchen.
 - Bei der Rekristallisation soll das Arbeitsstück so schnell wie möglich auf die erforderliche Temperatur erwärmt werden.
 - Die vorgeschriebene Glühzeit ist unbedingt einzuhalten.
 - Die Glühdauer darf nicht länger als unbedingt nötig sein.

4.7.2 Oxidation beim Glühen

Verhalten der reinen Metalle

Obwohl schon bei der Besprechung der reinen Metalle das Verhalten gegenüber dem Luftsauerstoff behandelt wurde, soll hier noch eine kurze Zusammenstellung erfolgen.

Gold. Es bleibt in festem und in flüssigem Zustand gegenüber Sauerstoff völlig passiv.

Platin. Bei Temperaturen über 1000 °C wird in geringer Menge ein flüchtiges Oxid gebildet.

Palladium. Beim Glühen bildet sich vorübergehend ein Oxid, das bei Temperaturen über 870 °C wieder zersetzt wird.

Rhodium, Iridium, Ruthenium, Osmium. Diese reinen Metalle werden höchstens als geringe Zusätze in Legierungen verwendet. Sie bilden zwar Oxide, die teilweise sogar beständiger sind als bei den übrigen Platinmetallen, wirken sich aber für die Gesamtlegierung meist kaum aus. Hinzu kommt, daß bei Legie-