

50X1-HUM

Page Denied

Next 1 Page(s) In Document Denied

KERAMISCHE ISOLIERTEILE

**Herstellung
Gestaltung**

STAT



**KERAMISCHES WERK
NEBO-KAHLA** STAT



KERAMISCHE HF-ISOLIERTEILE
FERTIGUNG
UND GESTALTUNG

KERAMISCHES WERK HESCHO-KAHLA
HERMSDORF/THÜR.



Gestaltung von Isolier- und Aufbauteilen aus keramischen Hochfrequenz- Isolierstoffen

Die von der Hescho zu Beginn und im Laufe des letzten Jahrzehnts ausgebildeten keramischen Isolierstoffe Calit, Condensa, Tempa und Ardostan haben die Entwicklung der drahtlosen Nachrichtentechnik weitgehend gefördert. Viele Aufgaben sowohl der Rundfunk- als auch der kommerziellen Kurzwellentechnik konnten nur durch keramische Isolierstoffe, andere durch sie besser und wirtschaftlicher gelöst werden.

Keramische Isolierteile, Halterungen und Kondensatoren sind daher zu unentbehrlichen Bauelementen der Hochfrequenztechnik geworden.

Der beste Werkstoff verliert jedoch an Wert, wenn er falsch eingesetzt wird oder wenn die herzustellenden Werkstücke unzureichend durchgebildet sind. Infolgedessen muß der Konstrukteur nicht nur die Eigenschaften der keramischen Werkstoffe genau kennen, sondern auch darüber unterrichtet sein, über welche Herstellverfahren die keramische Industrie verfügt, welche Maßgenauigkeiten die keramische Fertigung — ohne und bei Feinbearbeitung — einzuhalten vermag und welche Möglichkeiten zur Verbindung keramischer Bauelemente mit Metall oder Glas bestehen.

Werkstoffeigenschaften

Die für die Hochfrequenztechnik wichtigen Werkstoffeigenschaften von Calit, Condensa, Tempa und Ardostan sind aus den nachstehenden Zahlentafeln ersichtlich.

Die in Zahlentafel 1 angegebenen Werte stimmen mit dem Normblatt DIN 40685, 2. Ausg., überein und sind an besonderen Prüfkörpern entsprechend den „Leitsätzen für die Prüfung keramischer Isolierstoffe“ — VDE 0335/XI. 40 — ermittelt worden. Hinzuzufügen ist, daß Calit, Condensa, Tempa und Ardostan auch ohne Glasur flüssigkeits-, gas- und vakuumdicht, nicht brennbar und bis zu Temperaturen über 1000° hitzebeständig sind. Als anorganische Werkstoffe sind sie außerdem „chemisch tot“, d. h. im Gegensatz zu organischen Isolierstoffen frei von Gefügeänderungen durch Temperatur und Feuchtigkeit, Altern oder Ermüden und damit formstarr und tropenfest sowie zeitlich unveränderlich.

Da die Hochfrequenztechnik feste Isolierstoffe sowohl als isolierende Träger spannungsführender Teile als auch als Dielektrikum von Kondensatoren be-

Zahlentafel 1
Werkstoffeigenschaften von Calit, Condensa, Tempa und Ardostan
 Die nachstehenden Zahlenwerte gelten für Prüfkörper nach VDE 0335/XI. 40 und sind nicht auf andere Werkstücke übertragbar

	Calit	Condensa C	Condensa F	Condensa N	Tempa S	Tempa T	Ardostan
Gruppe nach DIN 40685	III B 2	III A 1	III A 1	III A 2	III B	—	IV A
Scherben	dicht	dicht	dicht	dicht	dicht	dicht	dicht
Raumgewicht	2,7...2,8	3,9	3,9	3,7	3,1	5,3	2,2
Durchschlagfestig. bei 50 Hz in kV/mm	30...45	10...20	10...20	10...20	10...20	10...20	10...20
Dielektrizitätskonstante (ε)	6,5	80	80	40	14	40	5,5
Temperaturkoeffizient (TK _ε) der Dielektrizitätskonstanten (für 1°C zwischen 20 u. 80°) ... in 10 ⁻⁴	+90...+180	-680...-860	-680...-860	-360...-480	-30...+90	0...-250*	+500...+600
Dielektrischer Verlustfaktor (tg δ) bei 20° ... in 10 ⁻⁴	3...5	5...10	1,5...5	5...20	0,5...1	0,5...1,5	80...100
Temperaturkoeffizient (TK _ρ) des Verlustfakt. zw. 20 u. 100° in 10 ⁻⁴	3...3,5	8...8,5	9,5...4	6,5...7	2...2,5	2...4	—
Spezifischer Durchgangswiderst. in Ωcm (Wirksamkeitsstand) bei 50 Hz und 200° 400° 600°	10 ¹¹ ...10 ¹² 10 ¹⁰ ...10 ¹⁰ 10 ⁹ ...10 ⁸	7 · 10 ⁸ 1 · 10 ⁷ 2 · 10 ⁵	4 · 10 ⁸ 2 · 10 ⁷ 3 · 10 ⁵	9 · 10 ⁸ 7 · 10 ⁸ 2 · 10 ⁵	1 · 10 ¹⁰ 5 · 10 ⁹ 3 · 10 ⁵	6 · 10 ⁹ 1 · 10 ⁸ 2 · 10 ⁵	1 · 10 ⁹ 3 · 10 ⁸ 1 · 10 ⁵
Oberflächenwiderst. bei 80% Luftfeuchte	Bei 1 cm Elektrodenabstand und 10 cm Elektrodenlänge 10 ¹⁰ ...10 ¹² Ω VDE-Vergleichszahlen 9...12)						
Lineare Wärmedehnzahl in mm/m für 1°C zw. 20 u. 100° ... in 10 ⁻⁴	6...8	7,5...8,5	7,5...8,5	6,5...7	7,7...8,2	8...8,5	1...1,4

*) Wird in mehreren Abarten mit verschiedenem TK_ε innerhalb des angegebenen Bereiches hergestellt.
 Die Werte von TK_ρ, tg δ und TK_ρ sind bei 10⁵ Hz an unlackierten Röhrenkondensat. aus Calit, Condensa od. Tempa bzw. an Platten aus Ardostan gemessen worden.

Zahlentafel 2
Dielektrische Verlustfaktoren und Dielektrizitätskonstanten
 tg δ in 10⁻⁴ bei 20°C

Wellenlänge in m in kHz	1000 300	300 1000	100 3000	30 10000	6 50000	Dielektrizitätskonstante
Tempa T	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	40
Tempa S	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	14
Quarz	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	4,7
Glimmer	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	7
Quarzglas	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	4,2
Calit	4,1	3,8	3,7	3,4	3,2	6,5
Trolitul	4,1	3,9	3,7	4,5	5,4	2,2
Condensa F	4,3	4,0	3,8	3,5	3,3	80
Quarzgut	5,0	5,2	5,5	5,8	7,0	3,9
Condensa C	7,2	5,6	4,1	3,2	2,8	80
Condensa N	8,5	6,9	5,5	4,6	4,2	40
Mycalex	19	18	18	18	18	8
Hartgummi	65	64	61	57	53	3
Porzellan	70	55	49	63	85	5,4
Ardostan	100	160	200	220	260	2,8
Bakelit	220	280	350	720	1000	5,4
Pertinax	220	280	350	720	1000	5,4

Die Werte stellen keine Garantiewerte dar und beruhen, soweit sie fettgedruckt sind, auf Messungen der Hescho; die übrigen sind der Veröffentlichung von L. Rhode, ATM, Sept. 1933, entnommen.

Zahlentafel 3
Festigkeits-Eigenschaften von Calit

Zugfestigkeit	in kg/cm ²	600...1000
glasiert	in kg/cm ²	450...600
unglasiert	in kg/cm ²	450...600
Druckfestigkeit	in kg/cm ²	9000...10000
glasiert	in kg/cm ²	9000...10000
unglasiert	in kg/cm ²	9000...10000
Biegefestigkeit	in kg/cm ²	1400...1600
glasiert	in kg/cm ²	1400...1600
unglasiert	in kg/cm ²	1400...1600
Schlagbiegefestigkeit	in cmkg/cm ²	4...5
Elastizitätsmodul	in kg/mm ²	11000...13000
Härte nach Mohs		7...8
(Zum Vergleich: Quarz=7, Korund=9)		
Schleiffestigkeit	in cm ³ /cm ²	0,03...0,05
(Bei 3 at während 2 min im Dampfsandstrahlgebläse mit Normalsand)		

nötigt, müssen hochwertige Hochfrequenz-Isolierstoffe außer den vorgenannten Eigenschaften möglichst geringe dielektrische Verlustfaktoren und bei ihrer Verwendung als Kondensator-Dielektrikum möglichst hohe Dielektrizitätskonstanten haben. In Zahlentafel 2 sind die Verlustfaktoren von Calit, Condensa, Tempa und Ardostan im Rundfunk- und Kurzwellenbereich sowie ihre Dielektrizitätskonstanten den entsprechenden Werten sonstiger Hochfrequenz-Isolierstoffe gegenübergestellt. Dieser Vergleich läßt den erzielten Fortschritt klar erkennen und ergibt im einzelnen, daß

Calit bei normaler Dielektrizitätskonstante einen sehr niedrigen dielektrischen Verlustfaktor aufweist,

Condensa bei geradezu sprunghaft gesteigerter Dielektrizitätskonstante in seiner Abart Condensa F sehr geringe und in seinen Abarten Condensa C und N niedrige dielektrische Verluste hat,

Tempa S und Tempa T erhöhte bzw. hohe Dielektrizitätskonstanten mit sehr kleinen Temperaturkoeffizienten besitzen, während ihre dielektrischen Verlustfaktoren so erstaunlich gering sind, daß sie sogar noch unter denen von Quarz und Glimmer liegen,

Ardostan bei normaler Dielektrizitätskonstante und verhältnismäßig hohen dielektrischen Verlustfaktoren durch eine außerordentlich niedrige Wärmedehnzahl und damit durch eine hohe Maßhaltigkeit bei Erwärmung und eine vorzügliche Beständigkeit gegen Temperaturwechsel gekennzeichnet ist.

Verwendung

Calit eignet sich sowohl als Dielektrikum von HF-Kondensatoren als auch als Werkstoff für Isolier- und Aufbauteile, bei denen die Dämpfung klein gehalten werden muß, also z. B. für Stator-Isolierungen, Achsen von Drehkondensatoren, Grundplatten, Nocken von Wellenschaltern, Röhrensockel, Röhrenfassungen, Durchführungen, Anschluß- und Klemmleisten, Unterlegscheiben, Tüllen, Isolierperlen u. dgl. Aber auch Spulen-Tragkörper, bei denen die Dämpfungsfreiheit des Werkstoffes weniger wichtig als seine Formstarrheit und Unveränderlichkeit ist, werden zweckmäßig aus Calit hergestellt. Namentlich bei Kurzwellen- und Ultrakurzwellenspulen, die eine hohe Konstanz der Induktivität aufweisen müssen, ist eine Unempfindlichkeit gegen Temperatur und Feuchtigkeit sehr wertvoll. Seine mechanische Festigkeit, Zahlentafel 3, verhilft überdies, daß selbst sehr dünnwandige Tragkörper durch ein festes Aufwickeln des Leiters zerstört werden.

Im Empfängerbau werden daher, kurz zusammengefaßt, durch Calit die Dämpfungsverluste aller im Hochfrequenz- oder Streufeld liegenden Bauteile weitgehend verringert und die Empfindlichkeit und die Trennschärfe der Empfangsgeräte erheblich gesteigert.

Die Verlustarmut von Calit verhindert andererseits, daß in Sendern die Temperaturen, die sich aus der Umsetzung dielektrischer Verluste in Wärme ergeben, unzulässig hoch werden. Weiter ist es, da bei Sendern größerer Leistung zu den Anforderungen hinsichtlich Dämpfungsfreiheit, Unveränderlichkeit und Hitzebeständigkeit noch eine hohe Spannungsbeanspruchung hinzukommt, sehr vorteilhaft, daß Calit durchschlagfest sowie unempfindlich gegen Glimmen, Sprühen oder etwaige Überschlüge ist.

Im Senderbau eignet sich Calit daher sowohl als Dielektrikum von Kondensatoren als auch als Werkstoff für die Tragkörper von Drossel-, Kopplungs- und Abstimmspulen sowie für Abschirmungen, Durchführungen, Mastfuß-Isolatoren, Abstandhalter, Abspann-Isolatoren, Stützer u. dgl., die oft beträchtliche Abmessungen aufweisen.

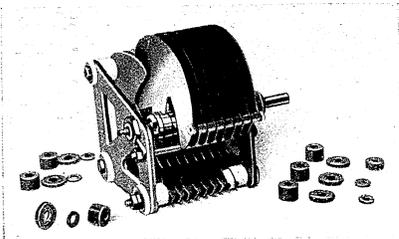
Condensa. Die Isolierstoffe der Condensa-Gruppe werden wegen ihrer ausnehmend hohen Dielektrizitätskonstanten ausschließlich als Dielektrikum fester und veränderbarer HF-Kondensatoren verwendet. Eine weitere Besonderheit dieser „hochkapazitiven“ Isolierstoffe ist der negative Temperaturkoeffizient ihrer Dielektrizitätskonstanten, durch den die stets positiven Temperaturkoeffizienten der Spulen, Isolierungen und Röhren eines Hochfrequenzkreises, bei Versuchen durch einen „Temperaturgang-Regler“, bei serienmäßig hergestellten HF-Geräten durch „kompensierte Kondensatoren“ ausgeglichen werden können. Kompensierte Kondensatoren aus entsprechend bemessenen Condensa-Kondensatoren in Parallel- oder Hintereinanderschaltung mit Calit- oder Tempa-Kondensatoren werden mit Temperaturkoeffizienten zwischen $+120$ bis $-700 \cdot 10^{-6}$ hergestellt. Der geforderte Temperaturkoeffizient wird hierbei mit einer Genauigkeit bis zu $\pm 10 \cdot 10^{-4}$ je 1° , der geforderte Kapazitätswert mit einer Toleranz bis zu $\pm 0,5\%$ eingehalten. Für beide Werte sind allerdings Nullmuster erwünscht, da ihre Abmessungen im Rahmen der betrieblichen Fertigung sehr schwierig sind.

Tempa. Tempa S und Tempa T werden wegen ihrer hohen Dielektrizitätskonstanten und ihren außerordentlich kleinen dielektrischen Verlustfaktoren fast ausschließlich als Dielektrikum von HF-Kondensatoren verwendet. Da die Kapazitätsänderungen dieser Kondensatoren unter dem Einfluß der Temperatur im Gebrauchsbereich sehr gering und ihre Kapazitätswerte in einem Maße reproduzierbar sind, wie dies selbst bei den besten Luft- oder Glimmerkondensatoren nicht der Fall ist, eignen sich Kondensatoren aus Tempa S oder T vorzüglich auch als „Kapazitätsnormale“.

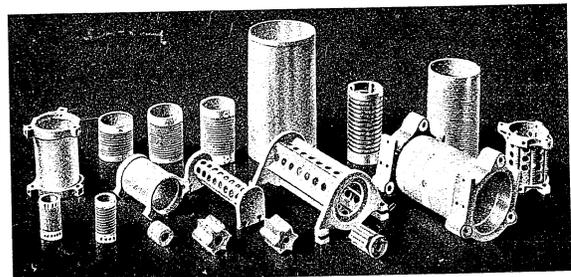
Der schwach negative Temperaturkoeffizient von Tempa T ermöglicht es überdies, in Schwingungskreisen den Einfluß des positiven Temperaturganges von Spulen, Röhren- und Schaltkapazitäten auszugleichen. In dieser Hinsicht ist Tempa T auch dem ausländischen Glimmer überlegen, den es daher in vielen Fällen vollwertig ersetzen kann.

Ardostan, das hinsichtlich seines Verlustfaktors und seiner Festigkeitseigenschaften dem Hartporzellan ähnlich, aber durch eine erstaunlich kleine lineare Wärmedehnzahl ausgezeichnet ist, wird in der Kurzwellentechnik als Tragkörper von Spulen und für die Halterung von Leitern verwendet, deren Lage durch termische Einwirkungen nicht verändert werden darf. In Frage kommen daher namentlich Isolier- und Aufbauteile in HF-Meßgeräten sowie in Sende- und Empfangsgeräten für tropische Gegenden oder Flugzeuge.

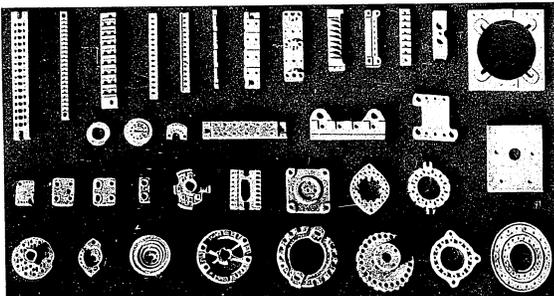
Auch kann man durch Aufbrennen eines in sich geschlossenen dünnen Silber- oder Kupferbelages auf einen Tragkörper aus Ardostan diesem Belag die Wärmedehnung von Ardostan aufzwingen und damit Leiter einer so geringen Wärmedehnung herstellen, wie sie von Metallen nur die Eisen/Nickel-Legierung „Invar“ aufweist. Eine praktische Verwendung finden derartige Beläge z. B. als Abschirmtöpfe von Spulen.



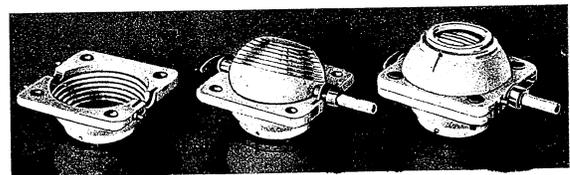
(Bei 100 m Wellenlänge vorher $tg \delta = 15 \cdot 10^{-4}$, nachher $tg \delta = 1,1 \cdot 10^{-4}$)



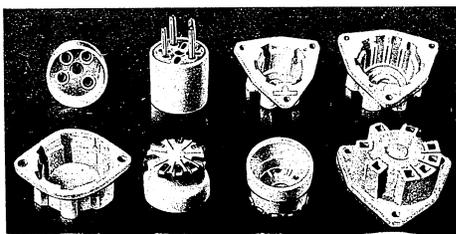
Spulen-Tragkörper aus Calit und Spulen mit aufgebrannten Windungen für Empfänger und Sender



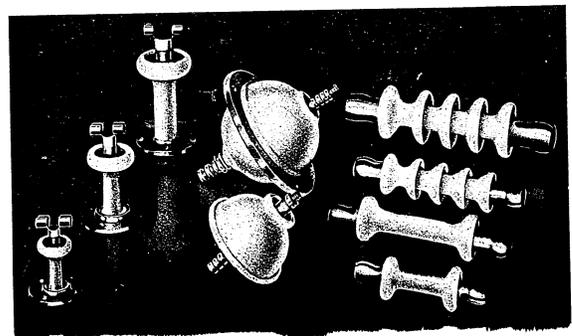
Halterungen, Isolier- und Aufbauteile aus Calit



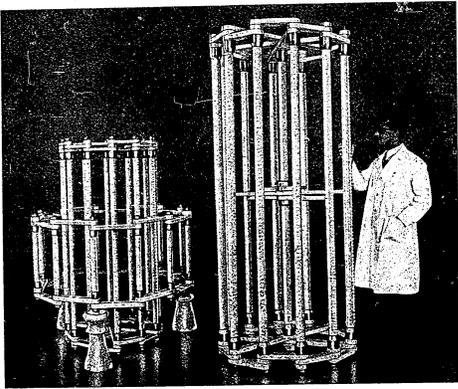
Kugelvariometer aus Calit



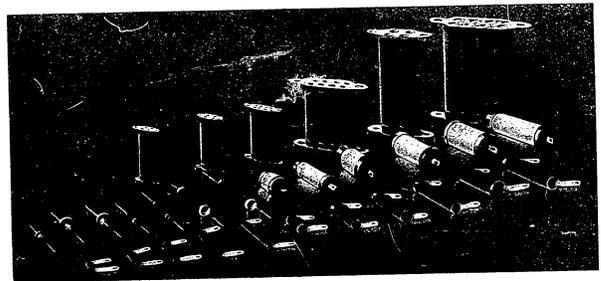
Fassungen und Sockel für Empfängerröhren aus Calit



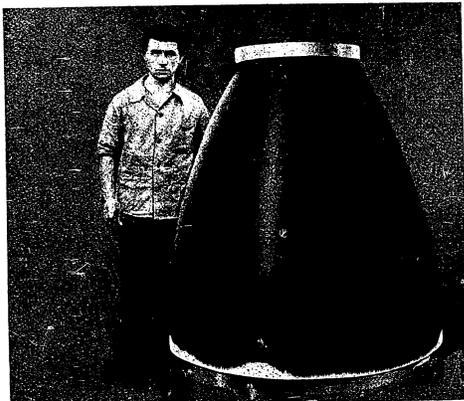
Stützer, Durchführungen und Abspann-Isolatoren aus Calit



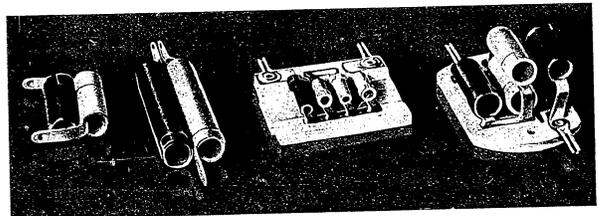
Aus Calit-Rundstäben zusammengebaute Spulenkörper für Großsender



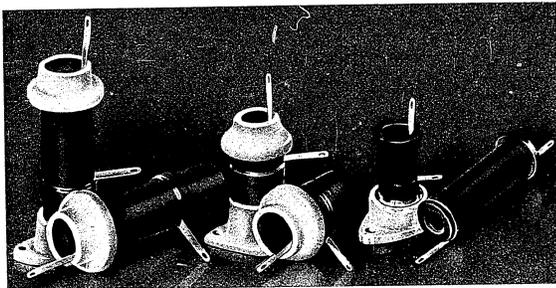
Festkondensatoren aus Calit, Condensa oder Tempa für HF-Kleingeräte
(Die beiden unteren Reihen zeigen die Ausführungen nach DIN E 41341...352)



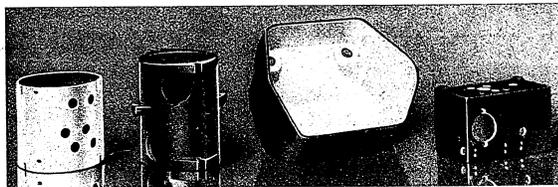
Mastfuß-Isolator und Antennen-Durchführung aus Calit für Großsender



Temperaturkompensierte Kondensatoren aus parallel oder hintereinander geschalteten
Condensa/Calit- oder Condensa/Tempa-Kondensatoren



Topfkondensatoren und Wulstrohrkondensatoren mit aufgebrauntem metallischem Belag und verdicktem oder wulstförmigem Rand bzw. kräftigem Schirm oder Wulst als Sprühschutz; mit und ohne Fuß



Wicklungsträger und Variometerteile aus Calit sowie Abschirmhauben aus Calit mit metallischem Schirmbelag

Herstellungsgang

Die Rohstoffe zur Herstellung von Calit, Condensa, Tempa oder Ardostan werden in genau festgelegten Verhältnissen gemischt und zu plastischen Massen aufbereitet. Aus ihnen werden die Werkstücke auf kaltem Wege durch Trocken-, Feucht- oder Strangpressen, Drehen oder Gießen geformt, worauf sie nach sorgfältigem Trocknen bei rd. 1400° gebrannt werden. In diesem „Garbrand“ erleiden die keramischen Massen chemische Umwandlungen, wodurch sie dicht und unporös werden und ihre kennzeichnenden Eigenschaften erhalten.

Häufig werden Werkstücke nach dem Trocknen zur Vereinfachung oder Verbilligung ihrer Fertigung einer „Rohbearbeitung“ unterzogen, d. h. in noch ungebranntem Zustande weiter- oder fertigerbearbeitet.

Auch wird nach dem Trocknen das Glasieren mit „Scharffeuerglasur“ vorgenommen, die in dem anschließenden Garbrand zu einem dünnen, glänzenden Überzug schmilzt. Diese Art des Glasierens wird jedoch im allgemeinen nur bei Calit-Werkstücken großer Abmessungen, z. B. Antennen-Durchführungen, Mastfuß- oder Abspann-Isolatoren u. dgl., angewandt, während Isolierkörper kleiner oder mittlerer Abmessungen, die die weitaus überwiegende Mehrzahl der HF-Werkstücke bilden, erst nach dem Garbrand in einem zusätzlichen Muffelbrand mit „Schmelzglasur“ glasiert werden.

Im übrigen wird der Brand häufig in zwei Stufen vorgenommen, um die Werkstücke für eine Zwischenbearbeitung — „Verglühbearbeitung“ — zu verfestigen. Dem Garbrand geht dann ein „Glühbrand“ bei 800 bis 900° voraus. Durch Bearbeiten in verglühtem Zustande wird die Herstellung von Werkstücken schwieriger Formgebung erleichtert und ihr maßgenauerer Ausfall im Garbrand erzielt.

Nach dem Garbrand werden die Werkstücke, falls dies erforderlich ist, durch Schleifen feinbearbeitet, mit Schmelzglasur glasiert bzw. aus Einzelteilen zusammenglasirt, durch Aufbrennen von Belägen metallisiert, mit Metallarmaturen verbunden oder mit Glas oder Metall verschmolzen.

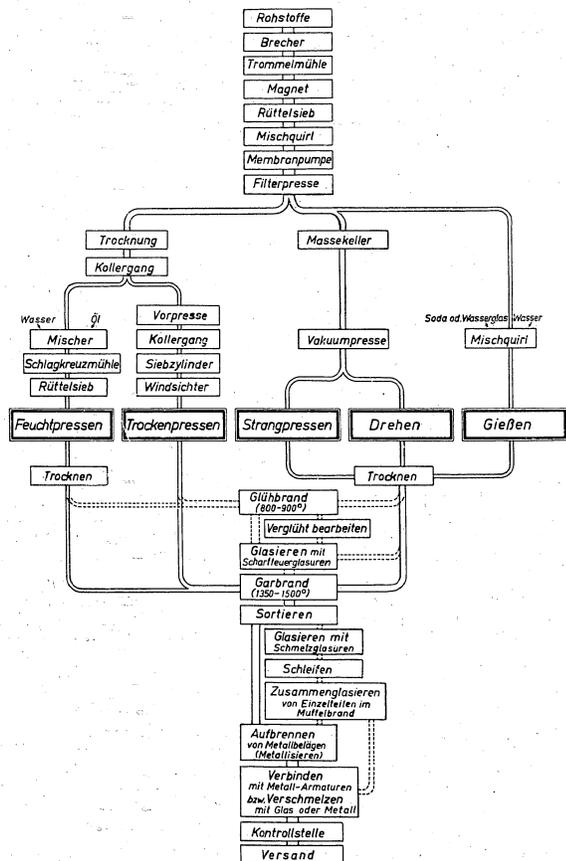
Als Abschluß der Fertigung folgen bei den hierfür in Frage kommenden Werkstücken die Kontrolle der einzuhaltenden Abmessungen und das Nachprüfen der geforderten elektrischen oder mechanischen Werte.

Die vorgenannten Fertigungsgänge, die nachstehend nur kurz behandelt werden, werden auf S. 29...54 im einzelnen dargestellt.

Aufbereitung. Die keramische Arbeitsmasse wird durch Zerkleinern, Feinmahlen, Mischen und Schlämmen der Rohstoffe gewonnen. Der so erhaltene Massebrei wird zur Entfernung etwa hineingelanger Eisenfeilchen über Elektromagnete geleitet und dann auf Filterpressen gepumpt, durch die ihm der größte Teil seines Wassergehaltes entzogen wird. Hierdurch erhält man eine form- und kneibare Masse mit 20 bis 30% Wassergehalt.

Formgebung. Die Formgebung der Masse zu Werkstücken der gewünschten Gestalt erfolgt durch Feuchtpressen, Trockenpressen, Strangpressen (Spritzen), Drehen oder Gießen.

Maßgebend für die Wahl der Fertigungsart sind Gestalt und Größe der herzustellenden Werkstücke, ihre Stückzahl und, vgl. S. 18, die geforderte Maßgenauigkeit.



Fertigungsgang von Erzeugnissen aus keramischen Hochfrequenz-Isolierstoffen

Feucht- und Trockenpressen kommen wegen der benötigten teuren Stahlmatrizen nur bei entsprechend hoher Stückzahl und nicht zu großen Abmessungen in Frage. Vollstäbe, Rohre und ähnliche symmetrische Körper werden stranggepreßt, während — namentlich bei kleineren Stückzahlen — Körper größerer Abmessungen, wenn sie Rotationskörper sind, gedreht, andernfalls gegossen werden.

Erfordert die Formgebung der Körper ihre Herstellung aus mehreren Teilen, so werden diese, vgl. nachstehend, nach einer kurzen Vortrocknung mit Massebrei zusammengarniert oder, vgl. S. 22, in fertiggebranntem Zustande zusammenglasiert. Im ersten Falle werden die Einzelteile im Garbrand, im zweiten durch einen zusätzlichen Muffelbrand zu einem Stück vereinigt.

Sämtliche Fertigungsarten erfordern Formen oder Werkzeuge, die unter Einrechnung der Schwindung — Trockenschwindung + Brennschwindung — nach einer Zeichnung oder einem Modell hergestellt werden. Hierbei werden die Matrizen für das Feucht- oder Trockenpressen, die Mundstücke für das Strangpressen und die Schablonen für das Ab- oder Eindrehen aus Stahl, die Formen für das Gießen aus Gips angefertigt.

Zusammengarnieren. Körper, die sich einteilig nur sehr schwer oder überhaupt nicht herstellen lassen, werden aus mehreren Teilen zusammengesetzt, die entweder sämtlich nach dem gleichen Verfahren oder teils nach dem einen, teils nach einem der anderen der vorgenannten Verfahren geformt werden. Hierauf werden die aneinanderzufügenden Flächen aufgeraut, mit Schlücker (flüssigem Massebrei) bestrichen und „zusammengarniert“, d. h. unter schwachem Druck aufeinandergepreßt. Die Einzelteile werden hierdurch so innig miteinander verbunden, daß sie nach dem Verputzen der Fugen im Garbrande zu einem Stück zusammensintern. Die Trenfläche ist dann nicht mehr zu erkennen und weist auch keine verminderte Festigkeit auf.

Trocknung. Mit Ausnahme der trockengepreßten Werkstücke müssen die nach einem der anderen Fertigungsverfahren geformten Werkstücke sorgfältig getrocknet werden, um ihnen vor dem Brande einen großen Teil ihres Wassergehaltes zu entziehen. Hierbei erleiden die Formlinge die Trockenschwindung, d. h. eine Verkleinerung ihrer Abmessungen und ihres Gewichtes.

Zur Vermeidung innerer Spannungen oder feinsten Risse — Trockenrisse — ist namentlich bei Werkstücken großer Wandstärke und solchen mit teils dicker, teils dünner Scherbenstärke für einen gleichmäßigen Verlauf der Trocknung zu sorgen. Bei kleinen Körpern einfacher Formgebung genügt meistens ein Trocknen an der Luft. Größere Werkstücke und solche schwieriger Formgebung werden dagegen mit künstlicher Wärme von regelbarer Temperatur und Feuchtigkeit in besonderen Trockenkammern getrocknet, wodurch so wohl ein fehlerfreier Ablauf des Trocknungsvorganges ermöglicht als auch die Trocknungszeit erheblich abgekürzt wird.

Rohbearbeitung. Trockengepreßte Werkstücke sind nach dem Herausheben aus der Matrize, feucht- oder stranggepreßte bereits so fest, daß sie zur Vereinfachung ihrer endgültigen Formgebung weiter bearbeitet werden können. Dieses „Zwischenbearbeiten“ vor dem Glüh- oder Garbrand, im sogenannten „rohen“ Zustand, erstreckt sich hauptsächlich auf das Einschneiden von Gewinde oder Rillen oder das Einfräsen von Nuten und Aussparungen und wird in der Hochfrequenzkeramik häufig angewandt.



Pressen



Strangpressen



Abdrehen



Gießen

Glasiern. HF-Isolierteile aus Calit, Condensa, Tempa oder Ardostan werden meistens unglasiert verwendet. Da aber unglasierte Werkstücke eine schwachrauhige Oberfläche haben, werden Isolierteile, die im Gebrauch Schmutz- oder Feuchtigkeitniederschlägen ausgesetzt sind oder ein glattes, glänzendes Aussehen haben sollen, weiß oder farbig glasiert.

Das Glasiern kann mit „Scharffeuer-“ oder mit „Schmelzglasuren“ erfolgen. Mit Scharffeuerglasur werden nur HF-Isolierteile großer Abmessungen aus Calit glasiert. Sie werden hierbei vor dem Brande in eine wäßrige Suspension ähnlicher Zusammensetzung, die jedoch durch den Zusatz von Flußmitteln leichter schmelzend gemacht ist, eingetaucht. Der nach poröse Scherben saugt dann das Wasser an, während sich die darin suspendierten Teilchen auf ihm in dünner Schicht ablagern und in dem anschließenden Garbrande zu einem glasigen, glänzenden Überzuge schmelzen. Das Glasiern mit Schmelzglasur, dem Isolierteile kleiner und mittlerer Abmessungen unterzogen werden und das daher in der Hochfrequenzkeramik vorherrschend ist, wird nach dem Garbrande in einem zusätzlichen Muffelbrand bei 850 bis 950° vorgenommen. Verwendet werden hochwertige, leichtflüssige Glasuren, die meistens mit der Spritzpistole auf die fertiggebrannten Isolierteile aus Calit, Condensa oder Tempa aufgebracht werden. Bei Ardostan ist es allerdings nicht möglich, eine zu seiner kleinen Wärmedehnzahl passende Glasur mit entsprechend niedrigem Schmelzpunkt zu finden. Hier hat die Hescho eine Ardostan-Masse ausgebildet, die sich im Brande selbst glasiert¹⁾.

Von diesem Glasiern zum Erzielen einer glatten, glänzenden Oberfläche ist, wie nochmals hervorgehoben sei, das Zusammenglasiern (Zusammenkitten) durch „Muffelglasuren“, vgl. S. 22, zu unterscheiden, durch das bereits fertiggebrannte Teile miteinander verbunden werden.

Brand. Werkstücke aus Calit, Condensa, Tempa oder Ardostan werden, wie vorerwähnt, nach dem Trocknen bei rd. 1400° gebrannt, wobei sie die Brennschwindigkeit erleiden, d.h. unter Verkleinerung ihrer Abmessungen dicht und unporös werden.

Die Größe der Brennschwindigkeit wird sowohl durch die Zusammensetzung der keramischen Masse als auch durch die Art der Formgebung bedingt. Sie beträgt — linear — unter Zurechnung der vorerwähnten Trockenschwindigkeit bei gedrehten, gegossenen oder stranggepreßten Werkstücken etwa 18%, bei feuchtgepreßten etwa 16% und bei trockengepreßten etwa 11%. Diese für jede Masse erfahrungsgemäß bekannte Gesamtschwindigkeit muß bei der Anfertigung der Gipsformen, Matrizen oder Schablonen durch entsprechende Zuschläge berücksichtigt werden.

Der Brand erfordert etwa 70 Stunden und wird auch heute noch in periodisch arbeitenden zweiseitigen Rundöfen oder in kontinuierlich arbeitenden Tunnelöfen mit Braunkohle- oder Generatorgasfeuerung vorgenommen, doch bürgern sich daneben insbesondere für kleinere Werkstücke immer mehr elektrisch beheizte Tunnelöfen ein.

In den erstgenannten Öfen werden die Werkstücke gegen die unmittelbare Berührung mit der Flamme und eine Verunreinigung durch Flugasche durch Einsetzen in feuerfeste Schamottekapseln geschützt, die im Rundofen oder auf den Wagen des Tunnelofens zu Stößen aufgebaut werden.

Wichtige Brennhilfsmittel sind außerdem die sogenannten „Bomse“, die, vgl. S. 45, dazu dienen, die Werkstücke während des Brandes zu stützen und zu verhindern, daß sie sich verziehen oder durchbiegen.

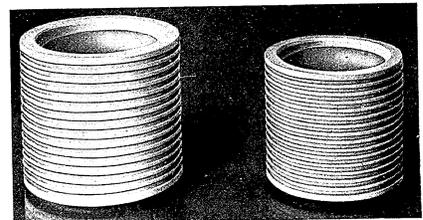
¹⁾ DRP. 646923



Trockenkammer mit Luftzufuhr von regelbarer Temperatur und Feuchtigkeit



Glasieren von fertiggebrannten Werkstücken durch Aufspritzen von Schmelzglasur



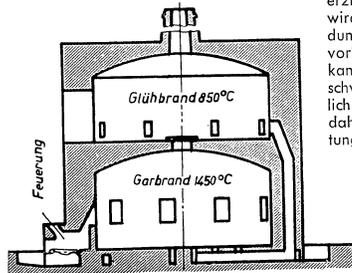
Brennschwindigkeit eines Spulenkörpers aus Calcit
(Vor dem Garbrand H = 100, D = 110 mm;
nachher H = 85, D = 93,5 mm)

Der Brand, von dessen Ausfall das wirtschaftliche Arbeiten des Betriebes weitgehend abhängt, erfordert eine sorgfältige Überwachung des Temperaturanstieges, der Temperatur während des eigentlichen Brennvorganges, des Ofenzuges und der Zusammensetzung der Brenngase, die während der einzelnen Brennperioden verschieden sein muß. Hierzu dienen aus keramischen Massen bestehende Segerkegel, deren Zusammensetzung so abgestuft ist, daß sie beim Erreichen bestimmter Temperaturen umsinken, sowie optische und elektrische Pyrometer, Zugmesser u. dgl.

Der Brand wird entweder in einer oder in zwei Stufen vorgenommen. Im letzten Falle geht dem vorerwähnten Garbrand bei rd. 1400° ein Vorbrand — Verglühbrand — bei 800 bis 900° voraus.

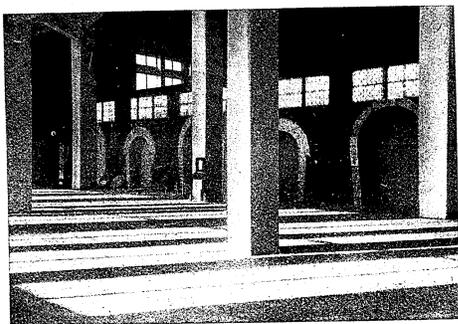
Durch den Verglühbrand, der häufig bei schwachwandigen oder feuchtgepreßten Körpern sowie stets bei Werkstücken vorgenommen wird, die der nachstehenden Zwischenbearbeitung — Verglühtbearbeitung — unterzogen werden, wird aus den Formlingen alle Feuchtigkeit und auch das chemisch gebundene Wasser ausgetrieben. Außerdem werden die Formlinge verfestigt, wie das für eine etwa anschließende Verglühtbearbeitung erwünscht ist.

Verglühtbearbeitung. Nach ihrer Verfestigung durch den Glühbrand lassen sich selbst sehr dünnwandige Werkstücke oder solche schwieriger Formgebung weiter- oder fertigbearbeiten. Ein sehr wichtiger Vorzug besteht hierbei darin, daß man durch die Verglühtbearbeitung eine höhere Maßgenauigkeit als durch die Bearbeitung feuchtplastischer Werkstücke erzielt. Durch den Glühbrand wird nämlich die Trockenschwindigkeit abgeschlossen, die man vorher nur angenähert schätzen kann, während sich die Brennschwindigkeit im Garbrand ziemlich genau vorausbestimmen und daher bei der Verglühtbearbeitung bereits berücksichtigen läßt.



Schnitt durch einen zweistöckigen Rundofen für Kohlefeuerung (rd. 7 m Ø, 6,5 m Höhe)

Andererseits ermöglicht es die Vergühtbearbeitung, Werkstücke vorgeschriebener Formgebung in der Weise herzustellen, daß man sie — meistens durch Trocken- oder Strangpressen — roh vorformt, sie hieran anschließend vergüht und ihnen dann wie Metall oder Holz durch Drehen, Fräsen, Bohren oder Gewindeschneiden die gewünschte Gestalt gibt. Dieses Verfahren hat, vgl. S. 27, eine große Bedeutung für die Herstellung von Mustern, insbesondere für eilige Entwicklungsarbeiten, erlangt. Hierbei geht man von Platten, Hohl- oder Vollzylindern aus, die man in der vorgenannten Weise bearbeitet, so daß weder Gießformen, Stahlmatrizen oder Sonderwerkzeuge erforderlich werden, die sich nur bei hohen Stückzahlen lohnen. Außerdem kann man derartige Muster, um auch die für den Garbrand benötigte Zeit noch abzukürzen, in Sonderöfen dicht brennen.



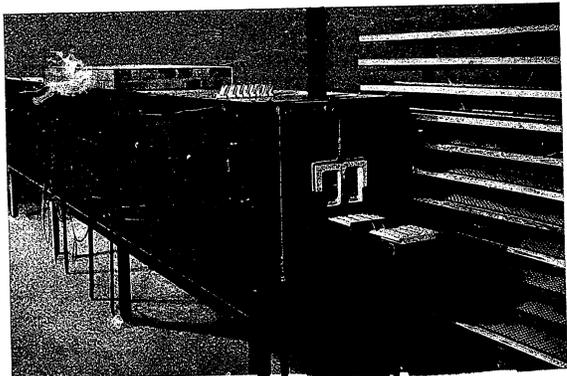
Gaskammerringofen

Maßhaltigkeit. Bei Werkstücken einfacher Gestalt und üblicher Größe aus Calit, Condensa, Tempa oder Ardostan werden im allgemeinen — ohne Vergühtbearbeitung oder das nachstehend behandelte Feinbearbeiten — die folgenden Abmaße eingehalten:

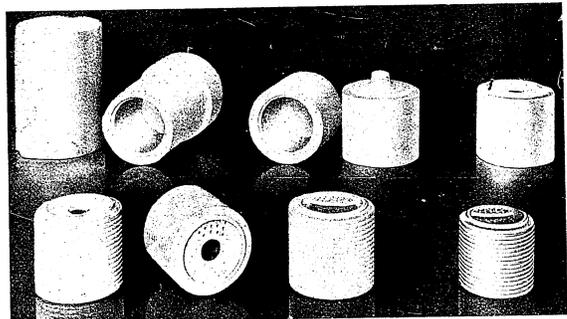
±3% beim Herstellen durch Drehen oder Gießen, jedoch nicht unter ±0,3 mm,
 ±2% beim Herstellen durch Feuchtpressen oder Strangpressen (Spritzen),
 jedoch nicht unter ±0,2... ±0,3 mm,
 ±1,5... ±2% beim Herstellen durch Trockenpressen, jedoch nicht unter ±0,15... ±0,2 mm.

Feinbearbeitung. Wenn auch Isolier- und Aufbauteile mit den vorgenannten Toleranzen bereits für manche Verwendungszwecke brauchbar sind, so erfordert eine hochentwickelte Massenfertigung, wie sie z. B. in der Rundfunktechnik üblich ist, doch häufig weit höhere Maßgenauigkeit. So werden z. B. für Achsen und Wellen Abmaße nach den DIN- und ISA-Passungen verlangt, während Spulenträger, insbesondere für Kurzwellen- und Ultrakurzwellengeräte, nur ganz geringe Abweichungen hinsichtlich der Wickeldurchmesser aufweisen dürfen.

Eine derart hohe Maßgenauigkeit wird, vgl. S. 46, durch Feinbearbeiten der fertiggebrannten Werkstücke erreicht und ist bei ihrer außerordentlichen Härte nur durch Schleifen erzielbar. Durch diese „Präzisionskeramik“, die durch Sondermaschinen und Sondereinrichtungen so verbilligt werden konnte, daß sie auch für hochwertige Massenerzeugnisse anwendbar

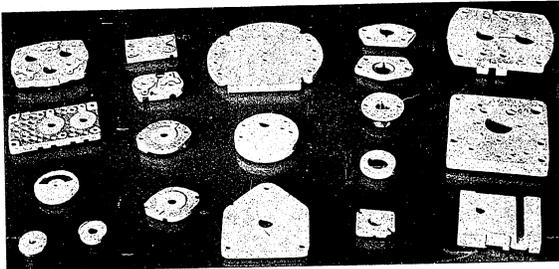


Elektrisch beheizter Tunnelofen für keramische HF-Isolierteile

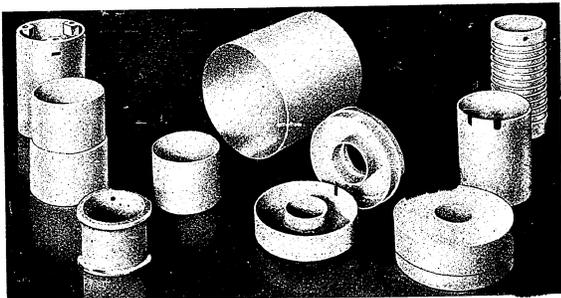


Vergühtbearbeitung eines Schleifring-Körpers

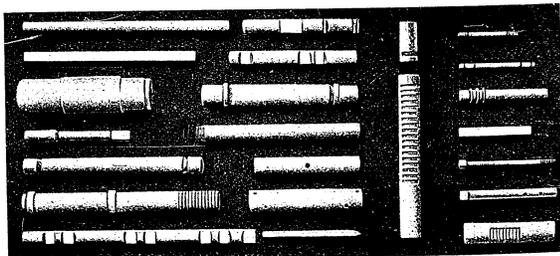
Oberer Reihe: Stranggepreßter Hubel — auf der Drehbank innen und außen gedreht — abgestochen — obere Stirnseite bearbeitet
 Untere Reihe: Körper vergüht, Rillen eingeschnitten und Löcher in die obere Stirnseite gsbahrt
 Stirnseite ausgeschnitten — fertiggebrannter Körper



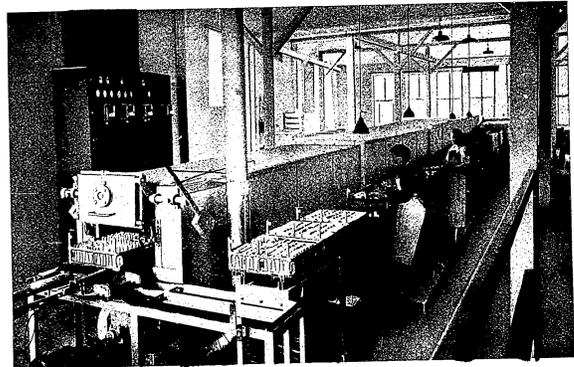
Plongeschliffene Grundplatten und Sockel aus Calit



Rundgeschliffene Calit-Tragkörper für Spulen



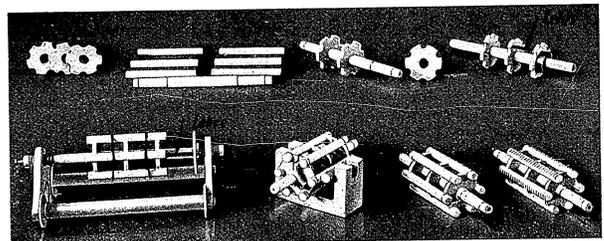
Calit-Achsen und Formstäbe



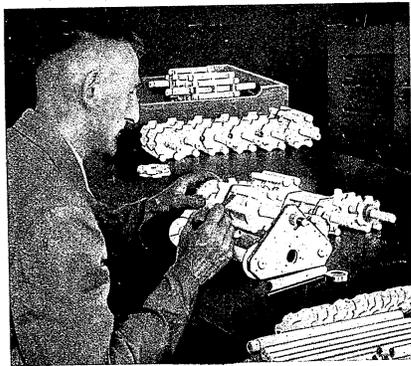
Elektrische Tunnelöfen für den Schmelzbrand

ist, können in normaler Fertigung bei einfachem Plan- oder Zylinderschliff Genauigkeiten bis zu $\pm 0,01$ mm und selbst noch höher eingehalten werden.

Für einfachen Planschliff werden umlaufende Graugußscheiben unter Beigabe von Quarzsand und Wasser als Schleifmittel oder Siliziumkarbid-scheiben, für Planparallelschliff Schleifmaschinen mit umlaufendem oder hin- und hergehendem Tisch, für einfachen Rundschliff (Zylinder-



Aus Einzelteilen zusammengesetzte keramische Spulenkörper



Zusammenglasieren von Konstruktionsteilen aus bearbeiteten Einzelstücken.

Außenschliff) Rundschleifmaschinen verwendet. Gewinde, Windungen und Rillen von Spulenkörpern werden auf der Drehbank eingeschliffen. Spitzenloses Schleifen wird namentlich bei Achsen und Rohren angewendet. Dieser Bearbeitung geht jedoch bei Stücken größeren Durchmessers ein Vorschleifen zwischen Spitzen voraus.

Löcher werden in fertiggebrannte Werkstücke auf Innenschliff- oder Bohrmaschinen mit Hilfe von Diamant- oder Hartmetall-Werkzeugen eingebohrt.

Zusammenglasieren. Werkstücke schwieriger Formgebung, die eine hohe Maßgenauigkeit aufweisen sollen, aber in einem Stück nicht oder nur sehr kostspielig herstellbar sind, werden als Einzelteile gefertigt, die für sich geformt, nötigenfalls roh oder verglüh bearbeitet und fertiggebrannt werden. Außerdem werden vor dem Zusammenbau der Einzelteile, bei dem die für das Fertigstück vorgeschriebenen Abmessungen mit Hilfe von Lehren oder Schablonen eingehalten werden, die aneinanderzufügenden Stellen geschliffen, um die Glasrungen klein zu halten. Die zusammengebauten Körper werden dann in einem abschließenden Nachbrand bei 850 bis 950° mit einer bei dieser Temperatur flüssig werdenden Glasur — Schmelzglasur — zu einem Stück vereinigt.

Da die Einzelteile, weil sie bereits fertiggebrannt sind, in diesem Brand unverändert bleiben und da vor ihrem Zusammenbau Ungenauigkeiten infolge der erlittenen Brennschwindung ausgeglichen wurden, wird durch ein derartiges Zusammenglasieren eine außerordentlich hohe Maßgenauigkeit erzielt. Andererseits werden die durch das Zusammenglasieren verursachten Kosten fast immer dadurch wettgemacht, daß der mit einer teureren einteiligen Ausführung verbundene Brennausfall vermieden wird. Durch Zusammenglasieren lassen sich auch, wenn die Wärmedehnzahlen genügend übereinstimmen, Werkstücke herstellen, deren Einzelteile aus verschiedenen keramischen Werkstoffen, z. B. solchen mit normaler und solchen mit hoher Dielektrizitätskonstante, bestehen.

Aufbrennen von Belägen und Leitungen

Durch das Aufbrennen einer Edelmetallschicht — meist Silber — auf Tragkörper aus Calit, Condensa, Tempa oder Ardoxan erzielt man eine Verbindung zwischen leitenden und isolierenden Teilen, die nicht nur elektrisch verlustfrei, sondern auch außerordentlich haftfest und widerstandsfähig gegen Abnutzung ist.

Bei diesem Verfahren wird eine organische Ode enthaltende Silberlösung auf den Tragkörper aufgestrichen oder aufgespritzt und in elektrisch beheizten Sonderöfen bei Temperaturen bis rd. 850° eingebrannt. Hierbei verdampfen die organischen Bestandteile, während sich das Silber als zusammenhängende Schicht niederschlägt, die je nach der verwendeten Lösung 1 bis 10 μ ($1 \mu = 0,001 \text{ mm}$) dick ist und so fest haftet, daß sie nur durch Abschleifen entfernt werden kann. Erforderlichenfalls wird der Silberbelag galvanisch oder durch Bespritzen („Schoopen“) mit Kupfer verstärkt.

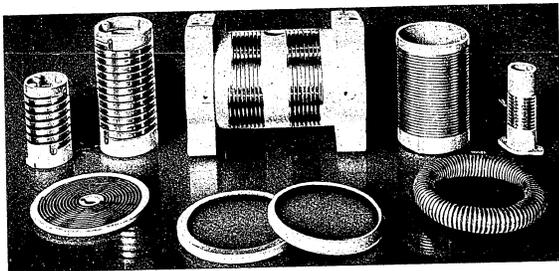
Für die thermische Ausdehnung aufgebrannter bzw. verstärkter Beläge bei Temperaturänderungen ist nicht mehr ihr eigener, sondern der bedeutend kleinere Ausdehnungskoeffizient des keramischen Werkstoffes maßgebend. Hierbei gleichen die Elastizität und die Plastizität des Metallbelages mechanische Spannungen aus, so daß sich der Belag weder vom Tragkörper lösen noch gegen ihn verschieben kann.

Das unmittelbare Aufbrennen eines Belages auf einen formstarrten und zeitlich unveränderlichen keramischen Tragkörper hat es ermöglicht, Kondensatoren und Spulen höchster, auf anderem Wege nicht erreichbarer Konstanz herzustellen. Weiter kann man häufig dadurch, daß man Leitungen oder Anschlüsse durch aufgebrannte Beläge ersetzt, Isolier- und Aufbauteile zweckmäßiger gestalten oder vereinfachen. Auch lassen sich aufgebrannte Beläge wegen ihrer hohen Haft- und Verschleißfestigkeit in vielen Fällen bei Schleifringen, Kontaktwalzen, Schaltern oder dgl. an Stelle von massiven Metallanlagen verwenden, wodurch, vgl. S. 59, erhebliche Metallerparnisse und überdies, vgl. nachstehend, eine lange Lebensdauer erzielt werden.

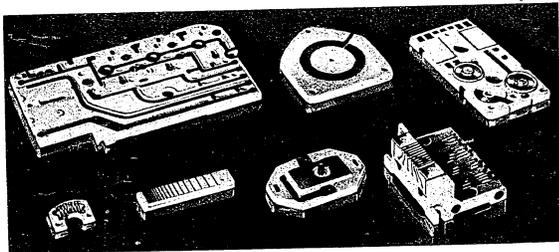
So hat z. B. im HF-Laboratorium der Heschco ein maschinell angetriebener Dreifach-Wellenbereichschalter für Rundfunkempfänger mit einer Calit-Grundplatte, gegen deren aufgebrannte Silberbeläge unter normalem Druck Bronze-federn mit massiven Silberkontakten derart gepreßt wurden, daß sich eine schleifende Beanspruchung ergab, rd. 8 Mill. Schaltungen ausgehalten, ehe der Belag an den Kontaktstellen abgeschweert war. Hierbei lagen die an den Kontakten gemessenen Widerstandsänderungen bis 470 000 Schaltungen unter 0,001 Ohm und bei rd. 5,5 Mill. Schaltungen erst bei 0,01 Ohm.

Verbindung mit Metallarmaturen

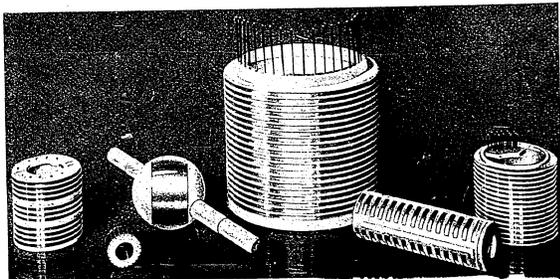
Keramische Werkstücke lassen sich mit Metallteilen auch ohne Verwendung von Kitt oder Klebmitteln, die im Hochfrequenzfeld Verluste verursachen, in verschiedenster Weise verbinden. So kann man z. B. bei der hohen Druckfestigkeit keramischer Körper derartige Verbindungen sowohl durch Verschrauben als auch durch Vernieten vornehmen. Allerdings sind hierbei örtliche Überbeanspruchungen zu vermeiden und daher nachgiebige Unterlagen erforderlich, wenn die Auflageflächen nicht geschliffen sind. Außerdem kann man geschliffene zylindrische Calitkörper in Ringe, Kappen, Buchsen, Füße oder dgl. kalt einpressen oder auf sie, da sie hitzebeständig sind und eine geringe Wärmedehnung haben, Metallteile auf-



Kondensatorplatten aus Calit, Condensa oder Tempa, Ringspulen aus Calit, Flach- und Zylinderspulen aus Calit oder Ardostan mit aufgebranntem Belag



Grundplatten aus Calit mit aufgebrannten Leitungen



Schleifringe und Kontaktwalzen aus Calit mit aufgebrannten Kontakten

schrumpfen, z. B. Rotorplatten von Drehkondensatoren auf Calitachsen. Hinzu kommt, daß sich auch die für den Gerätebau der Hochfrequenztechnik besonders wertvollen Lötverbindungen weitgehend anwenden lassen, nachdem man, wie auf S. 24 dargestellt, auf das keramische Werkstück einen Silberbelag aufgebrannt und erforderlichenfalls durch Verkupfern verstärkt hat. Auf diese Weise lassen sich auch Metallteile kleinerer Abmessungen einlöten, die im weiteren Verlauf der Fertigung durch Bohren, Gewindeschneiden oder dgl. bearbeitet werden können. Körper dieses Aufbaues halten, obwohl die Wärmedehnungen des keramischen und des metallischen Teiles sehr verschieden sind, selbst starke Temperaturänderungen aus. Gleichartige Lötungen, z. B. zum Anschluß von Drähten oder Fahnen, können durch „Tauchlöten“ ausgeführt werden.

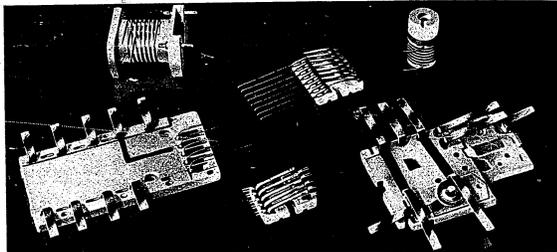
Nachdem jedoch die inzwischen angeordneten behördlichen Maßnahmen zur Einsparung ausländischer Metalle die Ausführung von Lötverbindungen sehr eingeschränkt haben, wird statt dessen, vgl. S. 55, ein von der Kerb-Konus G. m. b. H. zusammen mit der Hescho schon früher ausgebildetes elektrothermisches Stauverfahren²⁾ ausgedehnt verwendet. Bei diesem Verfahren, daß sich u. a. zur Befestigung von Steckerstiften, Gewindebolzen, Klemmen, Kontakten u. dgl. vorzüglich eignet, werden die in das Werkstück hineinragenden Ansätze derartiger Armaturen elektrisch bis zum Erweichen erhitzt und dann unter Vermeidung jeder stoßartigen Beanspruchung gegen seine Wandungen gepreßt. Die hierbei auftretenden hohen Temperaturen werden von dem keramischen Werkstück ohne jede Gefährdung ausgehalten, während das Schrumpfen der Metallteile beim Abkühlen einen Kraftschluß und damit ihren unbedingt festen Sitz bewirkt.

Verschmelzungen mit Glas oder Metall

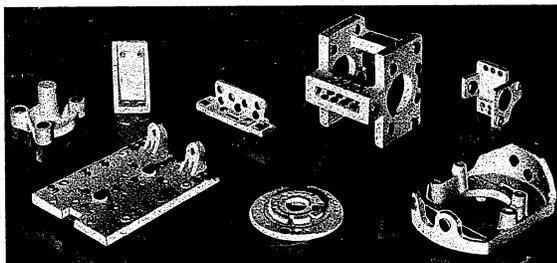
Nachdem es in den letzten Jahren gelungen ist, keramische Werkstoffe mechanisch fest, hochvakuumdicht und temperaturwechselbeständig mit Glas und — mit Glas als Zwischenmittel — mit Metallen zu verschmelzen, haben diese hochwertigen Isolierstoffe, insbesondere Calit, auch der Herstellung von Vakuumröhren neue Wege erschlossen.

Bei diesem Verfahren wird die Verbindungsstelle mit der Gebläseflamme oder elektrisch derart erhitzt, daß das Glas (Erweichungstemperatur 500 bis 900°) auf den seine Form unverändert beibehaltenden keramischen Körper (Erweichungstemperatur 1300 bis 1400°) aufschmilzt. Das gute Verhalten derartiger Verschmelzungen erfordert, daß das Glas eine etwas geringere Wärmeausdehnung als der keramische Werkstoff hat. Beim Einhalten dieser Bedingung lassen sich keramische Werkstoffe mit Ausdehnungszahlen von $2,5 \dots 9 \cdot 10^{-6}$ dicht und haltbar mit passend gewählten Gläsern verschmelzen. Mit Glas als Zwischenmittel lassen sich auch Stromleiter in keramische Hohlkörper, z. B. Röhrensockel, einschmelzen. Da hierbei für eine widerstandsfähige Verschmelzung eine im Verhältnis zum Metallquerschnitt große Metalloberfläche zweckmäßig ist, eignen sich für diese Einschmelzungen namentlich die von der Hescho ausgebildeten „Metallhaut“-Durchführungen, bei denen, vgl. S. 28, ein Silberbelag hautartig auf ein die mechanischen Beanspruchungen aufnehmendes keramisches Stäbchen oder Röhren aufgebracht ist. Wegen der guten Abkühlungsverhältnisse ist bei derartigen Durchführungen die elektrische Belastbarkeit, vornehmlich bei Hochfrequenz, sehr hoch; z. B. vermag eine Metallhaut-Durchführung von 5 mm \varnothing , 30 mm

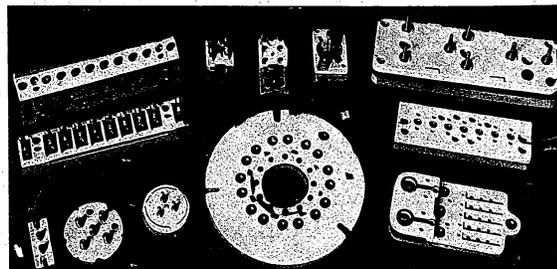
²⁾ DRP: 644 230



Grundplatten, Spulenkörper usw. mit aufgebrannten Leitungen und angelöteten Anschlüssen



Isolierkörper aus Calit mit eingelöteten, nachträglich zu bearbeitenden Metallteilen



Schaltleisten und Kontaktstücke mit elektrothermisch eingestauten Metallteilen

Gesamt- und 10 mm Einschmelzlänge ohne merkliche Erwärmung dauernd einen Strom von 5 A zu führen. Metallhaut-Durchführungen werden auch als konzentrische Rohre ausgeführt, bei denen dann sowohl die Außen- als auch die Innenflächen zur Stromleitung dienen.

Auch lassen sich keramische Rohre an Metallrohre sowie Metallrohre oder zylinderförmige Körper an keramische Platten anschmelzen. Hierbei wird die Verbindungsstelle aus einem zu dem keramischen Werkstück passenden Glas hergestellt.

Kontrollen und Prüfungen

In den einzelnen Betriebsabteilungen durchlaufen die Werkstücke Kontrollstellen, die Teile mit Material- oder Bearbeitungsfehlern von der weiteren Fertigung ausschließen. Teile, die besonders maßhaltig sein müssen, werden außerdem vor dem Verlassen des Werkes in einer mit Feinmeßgeräten reich ausgestatteten „Meßstelle“ scharfen Nachprüfungen ihrer Genauigkeit unterzogen.

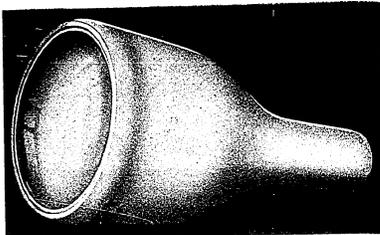
Erzeugnisse, die hohen elektrischen Anforderungen entsprechen müssen, werden als Abschluß ihrer Fertigung Prüffeldern zugeleitet, die den in Frage kommenden Herstellungsabteilungen angegliedert sind. Hier werden z. B. bei Spulen mit aufgebranntem Belag die Induktivitätswerte und Gütefaktoren sowie der maximale Gleichstromwiderstand gemessen, während bei Kondensatoren durch Stückprüfungen die Kapazität, die Verlustfaktoren und TK_{α} -Werte sowie teils durch Stück-, teils durch Typenprüfungen die zulässige Leistung, die Durchschlagfestigkeit und der Isolationswiderstand bestimmt werden.

Musteranfertigung

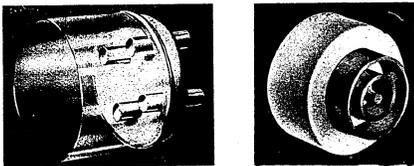
Die laboratoriumsmäßige Entwicklung von HF-Geräten erfordert häufig eine schnelle Belieferung mit Musterstücken von Isolierungen oder Halterungen neuartiger Formgebung. Derartige Handmuster werden mit kurzer Lieferzeit in keramischer Fertigung in der Weise hergestellt, vgl. S. 17, daß man roh vorgeformte Körper verglüht bearbeitet, in Sonderöfen garbrennt und erforderlichenfalls zusammenglasert.

Der vielfach eingeschlagene Weg, zur Beschleunigung der Entwicklungsarbeiten die Handmuster aus Werkstoffen herzustellen, die sich leichter und schneller bearbeiten lassen, aber andere elektrische Eigenschaften haben, ist unzuweckmäßig, wenn für die spätere Serienfertigung des entwickelten Gerätes keramische Isolierungen oder Halterungen vorgesehen sind. Die an Musterstücken aus anderen Werkstoffen ermittelten Werte lassen sich nämlich nur sehr selten auf die später einzubauenden keramischen Werkstücke übertragen und weiter kommen für ihre betriebliche Fertigung meistens auch eine andere Formgebung, andere Abmessungen und Wandstärken oder andere Verbindungen mit Metallarmaturen in Frage, so daß die bei der Entwicklung erzielte Zeitersparnis praktisch doch verloren ist.

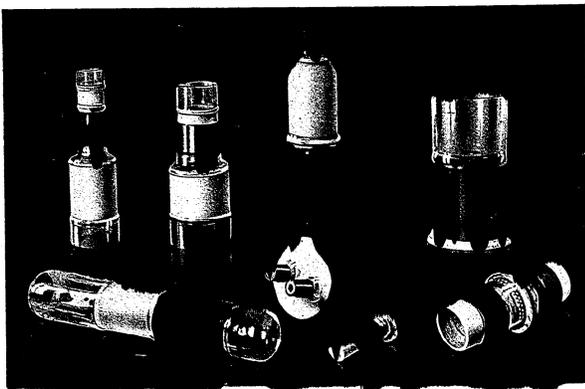
Dementsprechend müssen bei der Formgebung der Handmuster bereits die Gesichtspunkte berücksichtigt werden, die bei der späteren Mengenfertigung zu beachten sind; insbesondere dürfen auch nur Toleranzen verlangt werden, vgl. S. 61, die die betriebliche Fertigung einhalten kann.



Vakuumröhre aus Calit mit eingeschmolzener Glasplatte



Sockel aus Calit mit eingeschmolzenen Drähten bzw. Metallhaut-Durchführungen in Stabform oder in Gestalt konzentrischer Röhre



Verschmelzungen von Calitrohren und Calitplatten mit Kupferrohren

Herstellverfahren Konstruktionshinweise / Toleranzen

Da Rundfunkempfänger sowie Empfangs- und Sendegeräte der kommerziellen Kurzwellentechnik in Reihen aufgelegt werden, müssen die vorgesehenen keramischen Bauelemente nicht nur hinsichtlich ihrer hochfrequenten Eigenschaften, sondern auch hinsichtlich Maßgenauigkeit und wirtschaftlicher Herstellbarkeit hohen Anforderungen entsprechen.

Für die Maßgenauigkeiten, die ohne oder bei Verglüht- bzw. Feinbearbeitung der Werkstücke zugestanden werden können, gelten die Toleranzen nach DIN 40 680 und die Erläuterungen auf S. 61.

Die wirtschaftliche Herstellbarkeit hängt weitgehend von der Formgebung der Werkstücke ab, die den keramischen Fertigungsverfahren angepaßt sein muß. Nachstehend werden daher, um dem Konstrukteur Hinweise für die werkstoffgerechte Formgebung keramischer Isolier- und Aufbauteile zu geben, die Fertigungsverfahren der Hochfrequenzkeramik im einzelnen behandelt. Diesen Ausführungen sind „Falsch-Richtig-Blätter“ beigegeben, die an zahlreichen, der Praxis entnommenen Beispielen zeigen, wie sich häufig ohne Beeinträchtigung des Verwendungszweckes unnötige, das Werkstück verteuernde Schwierigkeiten durch kleine konstruktive Änderungen vermeiden lassen.

Pressen

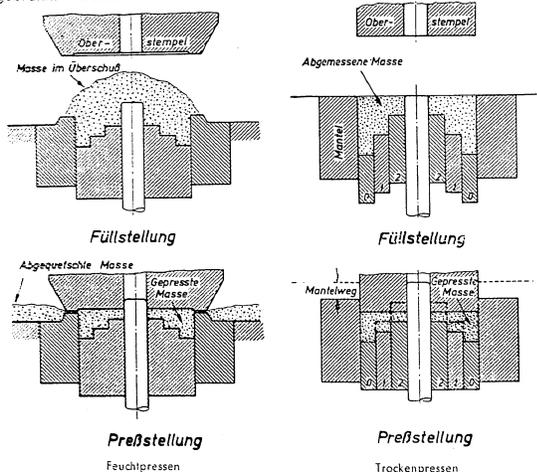
Die Formgebung durch Feucht- oder Trockenpressen in Stahlmatrizen ist das am meisten angewendete Fertigungsverfahren der Hochfrequenzkeramik und kommt insbesondere für die wirtschaftliche Massenfertigung von Isolier- und Aufbauteilen kleinerer bis mittlerer Größe in Frage.

Feuchtpressen. Die durch Feuchtpressen zu verarbeitende Masse wird nach dem Verlassen der Filterpresse, um ihren Wassergehalt innerhalb enger Grenzen zu halten, zunächst getrocknet, hierauf zerkleinert und in einem Mischer mit Wasser und Preßöl versetzt. Nach gründlicher Durchmischung erhält man so eine sehr geschmeidige, krümelige Masse von bestimmtem Feuchtigkeitsgehalt, die auf den Pressen im Überschuß über sogenannten „Abquetschmatrizen“ aufgehäuft wird. Durch den niedergehenden Oberstempel wird die Masse dann derart zusammengepreßt, daß sie alle Vertiefungen der Matrize restlos ausfüllt, während die überflüssige Masse durch Auslässe (Abgangslöcher) in der Matrize sowie durch die Schließfuge zwischen Oberstempel und Matrizenoberkante entweichen kann. Der Scherben wird daher bei feuchtgepreßten Werkstücken weniger hoch als bei trockengepreßten verdichtet und kann gelegentlich auch feine Poren aufweisen. Hierdurch wird jedoch die Verwendung der Werkstücke bei den in Frage kommenden niedrigen Spannungen nicht beeinträchtigt, zumal, wenn sie später glasiert werden. Elektrisch und mechanisch sind feuchtgepreßte Werkstücke weniger fest als trockengepreßte. Ihre Abmaße liegen im allgemeinen bei $\pm 2\%$.

Nach dem Ausheben aus der Matrize müssen die Werkstücke sorgfältig „verputzt“, d. h. von dem anhaftenden Preßgrat befreit werden. Falls ihre Formgebung eine einteilige Herstellung nicht zuläßt oder besonders komplizierte Matrizen erfordern würde, werden feuchtzupressende Werkstücke als Einzelteile für sich gepreßt und, vgl. S. 13, „zusammengarniert“.

Auch werden feuchtgepreßte Werkstücke, um Matrizen einfacher Ausführung und geringerer Herstellungskosten verwenden zu können, häufig nach dem Trocknen oder Verglühen einer Zwischenbearbeitung durch Einfräsen von Nuten oder Aussparungen, Einbohren von Löchern oder Einschneiden von Gewinde unterzogen.

Trockenpressen. Das Trockenpressen unterscheidet sich vom Feuchtpressen grundsätzlich dadurch, daß die Masse ohne Beigabe von Wasser in feiner Pulverform verpreßt wird. Auch wird die Masse nicht im Überschuß über die Matrize gehüft, sondern in sie eingefüllt und durch Abstreichen genau abgemessen. Trockengepreßte Werkstücke fallen daher sehr gleichmäßig und maßgenau aus, zumal sie im Gegensatz zu Werkstücken anderer keramischer Formgebung keiner Trockenschwindung unterworfen sind. Kleinere Werkstücke können daher unmittelbar nach dem „Verputzen“ gebrannt werden.



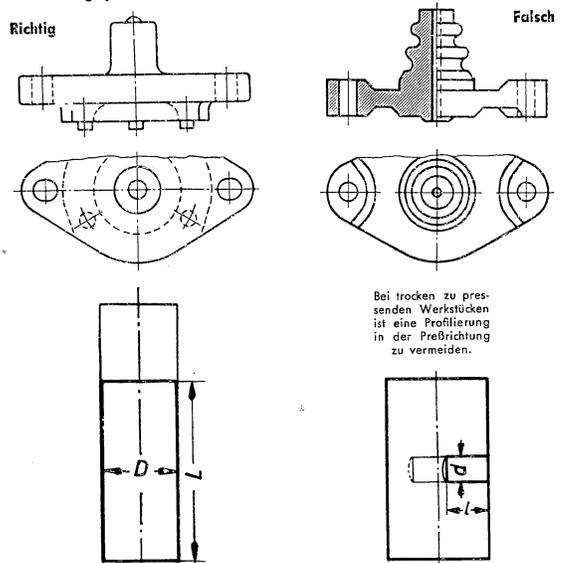
Da die Trockenpreßmasse nur sehr wenig plastisch ist und in der Matrize auf etwa die halbe Höhe zusammengepreßt wird, ohne aus ihr, wie beim Feuchtpressen, abfließen zu können, erfordert das Trockenpressen einen weit höheren Preßdruck als das Feuchtpressen. Infolgedessen können auf Handpressen nur kleinste und kleine Körper trockengepreßt werden, während für mittlere und größere Werkstücke mechanisch angetriebene Pressen verwendet werden. Als Folge des hohen Preßdruckes weisen trockengepreßte Körper einen völlig dichten, elektrisch und mechanisch hoch beanspruchbaren Scherben auf. Auch sind sie bereits nach dem Herausheben aus der Matrize so fest, daß sie häufig ohne eine weitere Verfestigung durch den Verglühenbrand in der üblichen Weise zwischenbearbeitet werden können.

Nach dem Verputzen können, vgl. S. 13, trockengepreßte Körper auch mit anderen trockengepreßten oder nach einem anderen Verfahren hergestellten Werkstücken „zusammengarniert“ werden.

Die durch die Brennschwindung verursachten Maßabweichungen von Trockenpreßlingen liegen im allgemeinen bei kleinen Werkstücken bei $\pm 2\%$, bei mittleren und größeren bei $\pm 1,5\%$. Maße unter 5 mm werden mit einer Genauigkeit bis zu $\pm 0,1$ mm erreicht. Noch höhere Genauigkeiten werden durch Schleifen der fertiggebrannten Körper erzielt.

Die Herstellung durch Trockenpressen eignet sich sowohl für Werkstücke einfacher als auch schwieriger Formgebung, falls die in Frage kommende Menge die Anfertigung der Matrizen lohnt, die ihrerseits umfassende fertigungstechnische und konstruktive Kenntnisse sowie eine große handwerkliche Geschicklichkeit erfordern. Allerdings eignen sich Körper mit stark fassonierten Außenformen nur in begrenztem Umfang für die Herstellung durch Trockenpressen, da die Trockenpreßmasse, wie vorstehend erwähnt, nur wenig plastisch ist. Auch müssen scharfe Wandungs- und Höhenunterschiede nach Möglichkeit vermieden werden. Andererseits ist das Trockenpressen das gegebene Verfahren zur Herstellung kleiner und mittlerer HF-Isolier- und Aufbauteile, wenn an ihren maßgenauen Ausfall hohe Anforderungen gestellt werden.

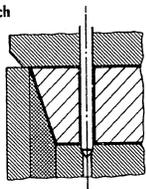
Formgepreßte (feucht- oder trockengepreßte) Werkstücke



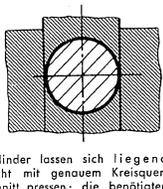
Bei trocken zu pressenden Werkstücken ist eine Profilitung in der Preßrichtung zu vermeiden.

Formgepreßte (feucht- oder trockengepreßte) Werkstücke

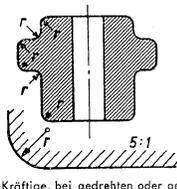
Falsch



Die scharfe Kante des Unterstempels stößt gegen den Oberstempel; nicht ausführbar

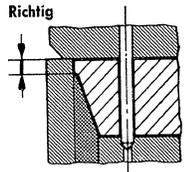


Zylinder lassen sich liegend nicht mit genauem Kreisquerschnitt pressen; die benötigten scharfen Kanten von Ober- und Unterstempel sind praktisch nicht ausführbar

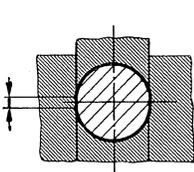


Kräfte, bei gedrehten oder gegossenen Körpern erwünschte Abmessungen (Radien) sind bei gepreßten Werkstücken zu vermeiden

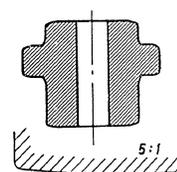
Richtig



Zylindrischer Ansatz am Preßteil ergibt einwandfreies Werkzeug u. saubere Oberkante des Preßlings

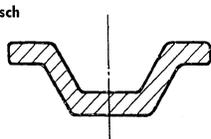


Eine seitliche Ablflachung am Werkstück ergibt einen sauberen Übergang und schont das Werkzeug

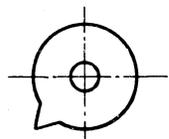


Abmessungen bei gepreßten Werkstücken klein halten oder Übergänge mit abgeschrägter Facette

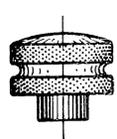
Falsch



Profile mit schrägen Flächen erschweren die Herstellung eines Preßstückes mit gleichmäßig dichtem Gefüge

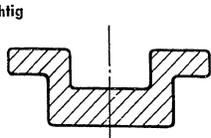


Die vorstehende Pfeilspitze verleiht die Herstellung und verursacht Bruchanfall

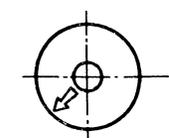


Kordel- oder Kreuzrändelung verleiht Werkzeug und Preßvorgang

Richtig



Preßflächen senkrecht zur Preßrichtung ermöglichen gutes Auspressen und gleichmäßig dichtes Gefüge



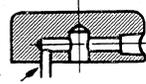
Der erhabene Pfeil auf der Oberfläche verbilligt Werkzeug und Herstellung



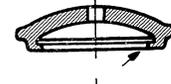
Grobe Rändelung in Preßrichtung ermöglicht billige Herstellung

Formgepreßte (feucht- oder trockengepreßte) Werkstücke

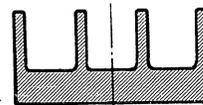
Falsch



Seitenschieber und Abstützstift erforderlich; teures Werkzeug und verlangsames Pressen

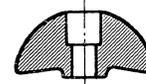


Unrunde Form u. Unterscheidungen erfordern teure Werkzeuge



Beim Pressen und Brennen Ausschuß durch schwache Trennwände, senkrechte Steifflächen und scharfe Querschnittsübergänge

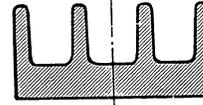
Richtig



Seitenschieber vermeiden, preßtechnisch einfache Form

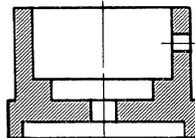


Runder Körper u. Unterscheidungen ermöglicht billige Herstellung

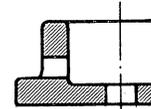


Verstärkte u. angeschrägte Trennwände reißen nicht und verziehen sich nicht. Abgerundete Kanten ermöglichen besseres Ausheben und gutes Auspressen

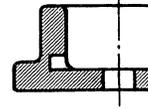
Falsch



Scharfe Außenkanten und hohe senkrechte Steifflächen ergeben schlechtes Auspressen. Der waagerechte Boden zieht sich beim Brennen ein

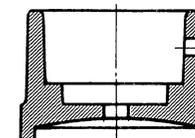


Seitliches Loch bedingt Seitenschieber u. damit teures Werkzeug sowie verlangsames Auspressen

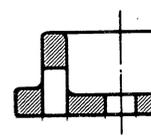


Seitliche Innenausparung nur sehr schwer ausführbar, erfordert teuren Oberstempel und verlangsamt das Auspressen

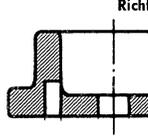
Richtig



Die abgerundeten Kanten ermöglichen gutes Auspressen, die leicht angeschrägten Steifflächen gutes Ausheben. Der gewölbte Boden hält sich gut im Brande



Seitliches Loch – nach unten durchgezogen – wird durch Stift im Werkzeug geformt. Einfaches Werkzeug und schnelles Auspressen



Seitliche Innenausparung – nach unten durchgezogen – wird durch Stift im Werkzeug geformt. Einfaches Werkzeug, schnelles Auspressen

Formgepreßte (feucht- oder trockengepreßte) Werkstücke

Falsch	Richtig	Falsch
Feines Gewinde bricht sehr leicht aus; sauber schwer ausführbar	Grobes Gewinde oder einzukittende Metallbalzen vorsehen	Rundlöcher an Befestigungsflanschen führen leicht zu Paßschwierigkeiten
		Richtig
Rundlöcher bedingen Paßschwierigkeiten in den Abständen	Langlöcher, die einen Ausgleich erlauben, sind stets vorzuziehen	Schlitzlöcher oder Langlöcher lassen Ausgleich zu

Falsch	Richtig	Falsch
Wandstärke der Vierkanter senke zu schwach. Wandung reißt oder bricht	Vierkante versenken und, wenn möglich, nach außen offen halten	Die Wandung reißt, wenn das Loch zu nahe am Rande sitzt
		Richtig
		Wandstärke s bis zu einer Höhe von 10 mm = 1/4 h, jedoch nicht unter 1 mm; bei einer Höhe von 11 ... 20 mm = 1/5 ... 1/6 h. Bei einer Höhe über 20 mm muß die Wandstärke mindestens 3,5 mm betragen

Formgepreßte (feucht- oder trockengepreßte) Werkstücke

Falsch	Richtig	Falsch
Winklig zueinanderliegende Seitenlöcher überschneiden sich. Nur durch Einbohren in das vergütete Stück herstellbar. Teuere Herstellung	Parallel liegende Seitenlöcher können mit Seitenschleibern gepreßt werden	Gewinde bis zum letzten Gang ausgeschnitten, verursacht ausgebrochene Kante
		Richtig
		Gewindeauslaut verputzt, scharfe Kantenbildung vermeiden

Strangpressen

Das Strangpressen oder Spritzen, das fälschlicherweise auch heute noch ab und zu mit Ziehen bezeichnet wird, dient zum Herstellen von Rohren sowie von hohlen und vollwandigen Profilkörpern großer Länge. Außerdem werden auf der Strangpresse hohle oder massive Zylinder hergestellt, die, vgl. S. 39, in der Dreherei als Vorformen — sogenannte „Hubel“ — verwendet werden. Die durch Strangpressen zu verarbeitende Masse muß luftfrei und sehr plastisch sein. Sie wird daher nach dem Verlassen der Filterpresse zur Erhöhung ihrer Bildsamkeit noch einige Zeit im Massekeller gelagert und dann auf Vakuumpressen entlüftet. Die so vorbereitete Masse wird, vgl. Abb. S. 14 u. 36, zur Herstellung von dünnwandigen und leichten Körpern in eine stehende, von dickwandigen und schweren Körpern in eine liegende Strangpresse gefüllt. Hier wird sie durch einen hydraulisch angetriebenen Kolben oder eine Förderschnecke durch ein Mundstück gedrückt, das für die Herstellung von Vollstäben aus einer rohrförmigen Buchse, für die Herstellung von Hohlkörpern aus einem Rohr mit entsprechend geformtem Dorn besteht. Der austretende Massestrang wird von Hand oder durch eine mit der Presse verbundene Vorrichtung auf die gewünschte Länge geschnitten, auf einer Unterlage aus Holz aufgefangen und in den Trockenraum gebracht. Stranggepreßte Rohre und Stäbe werden im allgemeinen hängend gebrannt. Bei Stäben und stärkeren Rohren wird deshalb vor dem Trocknen an einem Ende eine Verdickung angestaucht, bei dünnwandigen Querschnitten ein Ring aufgeschickert. Körper, die sich etwas verzogen haben, da der aus dem Mundstück austretende Massestrang die Neigung hat, sich zu krümmen, hängen sich im Brande meistens wieder aus. Andererseits begrenzt das hängende Brennen die Länge der stranggepreßten Körper. Bei der Sinterung im Garbrand besteht nämlich bei größeren Querschnitten infolge der mit wachsender Länge zunehmenden Flächenbelastung die Gefahr des Abreißen.

Vollwandige Calitstäbe bis 40 mm \varnothing sind daher nur bis 2000 mm Länge, solche bis 75 mm \varnothing nur bis 1500 mm Länge herstellbar.

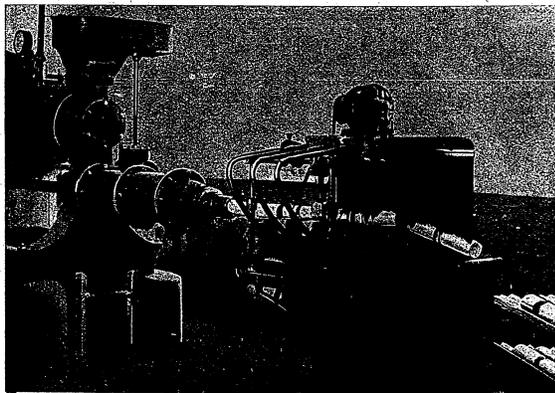
Sollen stranggepreßte Körper mit Bohrungen, Quernuten, Einkerbungen oder dgl. versehen werden, so können deren Abstände nur mit einer Toleranz von $\pm 3\%$ eingehalten werden. Zu berücksichtigen ist außerdem, daß stranggepreßte Stücke nicht so maßgenau wie in Matrizen gepreßte Körper ausfallen, daß sich aber stranggepreßte Stäbe und Rohre in fertiggebranntem Zustande durch Schleifen auf höchste Maßgenauigkeit bringen lassen. So werden z. B. Calit-Achsen für Drehkondensatoren in normaler Fertigung auf Abmaße von $\pm \frac{1}{100}$ mm geschliffen.

Bei der Formgebung von Profilkörpern sind Spitzen zu vermeiden, da diese im Fluß des aus dem Mundstück austretenden Stranges gegenüber den anderen Teilen zurückbleiben und dadurch das Entstehen von Ribbildungen — einer sogenannten „Säge“ — begünstigen.

Auch scharfe Übergänge stören den Ausgleich und verhindern eine saubere Ausführung des Profils. Weiter sind bei sämtlichen Profilen gleiche Wandstärken anzustreben, da stärkere Querschnitte während des Preßvorganges voreilen und ein Krummwerden des Stranges verursachen. Lassen sich ungleiche Wandstärken nicht vermeiden, so ist in dem dickeren Querschnitt eine als „Brems“ wirkende Aussparung, z. B. durch Einfügen eines Loches, vorzusehen.

Im Hinblick auf runde Form innerhalb einer 3prozentigen Toleranz müssen Rohre von 3 bis 50 mm Außen- \varnothing folgende Mindestwandstärken aufweisen:

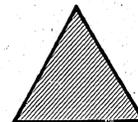
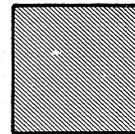
Rohr- durchmesser	Mindest- wandstärke	Rohr- durchmesser	Mindest- wandstärke	Rohr- durchmesser	Mindest- wandstärke
3 mm	0,2 mm	17 mm	0,6 mm	30 mm	3,5 mm
4...10 "	0,3 "	18 "	1,0 "	40 "	5,5 "
12 "	0,4 "	20 "	2,0 "	50 "	7,5 "
14 "	0,5 "	25 "	2,5 "		



Auspressen von Hubeln auf einer liegenden Strangpresse

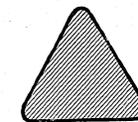
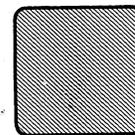
Stranggepreßte Werkstücke

Falsch



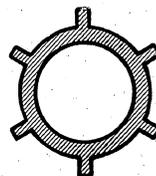
Spitzen vermeiden

Richtig

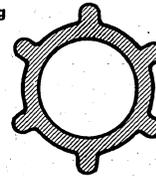


Kanten abrunden

Falsch

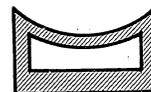
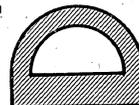


Richtig



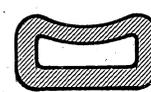
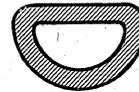
Keine scharfen Kanten und Übergänge. Rippenstärke gleich Rohrwandstärke

Falsch



Wandstärke gleichmäßig halten

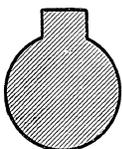
Richtig



Kanten und Übergänge abrunden

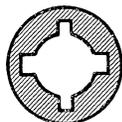
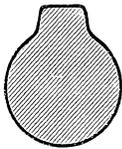
Stranggepreßte Werkstücke

Falsch

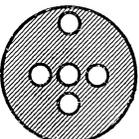
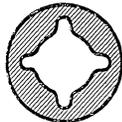


Keine scharfen Kanten. Rippen abschrägen

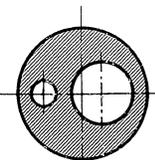
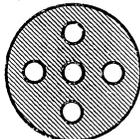
Richtig



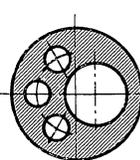
Bei Profilen scharfe Kanten vermeiden



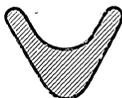
Löcher gleichmäßig auf den Querschnitt verteilen. Zu dünne Wandstärken neigen zur Ribbildung



Ungünstige Massenverteilung. Anordnung mehrerer Löcher ergibt günstigen Querschnitt



Falsch



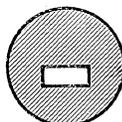
Ungleiche Massenverteilung verursacht Strangverwindungen

Richtig



Loch im Querschnitt ergibt gute Massenverteilung und annähernd gleiche Wandstärke

Falsch



Richtig

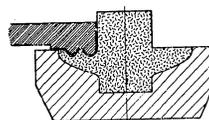


Aussparung in die Mitte des Querschnittes legen. Kanten abrunden

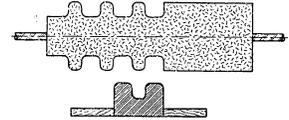
Drehen

Die durch Drehen zu verarbeitende Masse wird nach dem Verlassen der Filterpresse zur Erhöhung ihrer Bildsamkeit noch einige Zeit im Massekeller gelagert und hierauf in der Vakuumpresse von Luftschlüssen befreit. Aus der so vorbereiteten Masse werden die Werkstücke, die in ihrer Grundform Rotationskörper sein müssen, durch Freidrehen, Eindrehen oder Abdrehen hergestellt.

Freidrehen. Durch freihändige Formgebung auf der Drehscheibe werden in der Hochfrequenzkeramik nur die sogenannten „Hubel“ hergestellt, die für die Formgebung durch Eindrehen oder Abdrehen benötigt werden. Zur Herstellung derartiger Hubel wird auf einer horizontal umlaufenden Drehscheibe durch kräftiges Aufschlagen ein Masseklumpen befestigt und mit den Händen abwechselnd so lange nach oben gezogen und wieder nach unten gedrückt, bis er — hohl oder massiv — den ungefähren Abmessungen des herzustellenden Werkstückes entspricht. In neuerer Zeit werden die Hubel statt in dieser Weise hauptsächlich durch Auspressen auf der Strangpresse, vgl. S. 36, hergestellt.



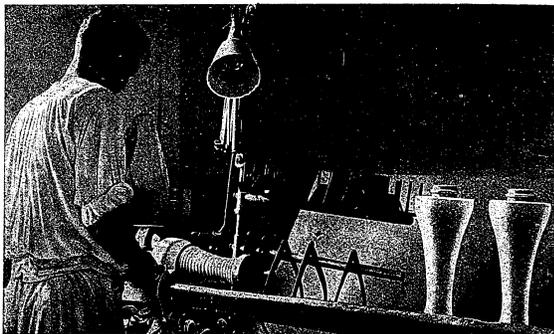
Eindrehen



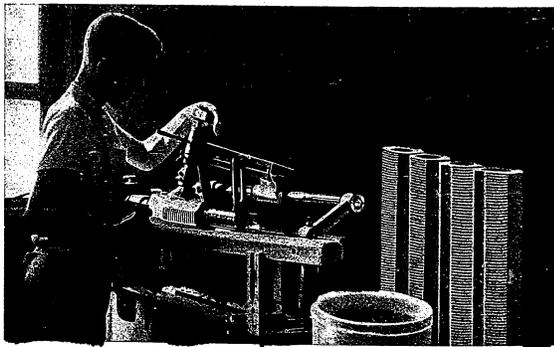
Abdrehen

Eindrehen. Hierzu wird zunächst nach einem Gipsmodell des anzufertigenden Körpers, das jedoch wegen dessen Schwindung im Garbrand um rd. 18% größere Abmessungen erhält, eine Gipsform — die Arbeitsform — abgegossen. In diese Form wird ein in der vorherbeschriebenen Weise aufgedrehter oder stranggepreßter Hubel eingedrückt, dem hierdurch bereits die äußere Gestalt des herzustellenden Werkstückes gegeben wird. Die Form wird dann auf die Drehscheibe gesetzt und hier entsprechend der inneren Gestalt des Werkstückes mit Metallschablonen ausgedreht. Das Werkstück verbleibt nun noch einige Zeit in der Gipsform, die der feuchten Masse Wasser entzieht, so daß es von der Wandung abschwindet. Damit das Werkstück später herausgenommen werden kann, darf die Form keine unterschrittenen Teile aufweisen. Hohlkehlen, Außengewinde, Wulste oder dgl. müssen daher nachträglich eingearbeitet werden. Hierzu wird das Werkstück nach kurzzeitigem Trocknen nochmals auf die Drehscheibe genommen und mit Schablonen oder Drehstählen abgedreht. Größere Werkstücke oder solche, die sich nicht in einer einteiligen Form herstellen lassen, werden aus zwei oder mehr Einzelteilen hergestellt und, vgl. S. 13, zusammengarniert.

Abdrehen. Die Hubel der Werkstücke, die ohne Verwendung einer Gipsform ihre Formgebung durch Abdrehen erhalten sollen, werden so lange getrocknet, bis sie lederhart geworden sind, und dann wie Holz oder Metall auf der Drehbank mit Schablonen oder Drehstählen bearbeitet, wobei die Abmessungen an Hand der Werkstattzeichnung mit Schublehren oder Tastzirkeln eingehalten und nachgeprüft werden. Mit Sonderstählen kann man in die abgedrehten Werkstücke mit großer Genauigkeit auch Feingewinde einschneiden, während Vorsprünge und Ansätze, auch in ihrem Inneren, angarniert werden.



Abdrehen des Hubels für eine Durchführung mit Schablonen und Drehstählen



Einschneiden von Feingewinde in einen Wicklungsträger

Gießen

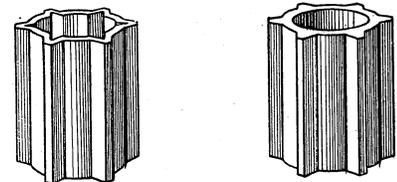
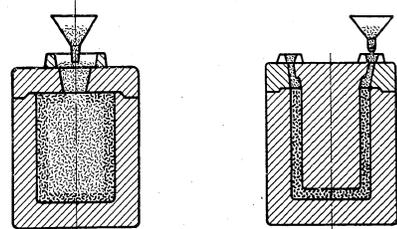
Für die Formgebung durch Gießen werden in einem Mischquirl der von der Filterpresse kommenden Masse, damit sie bei hoher Konzentration dünnflüssig wird, Wasser und in geringer Menge Soda und Wasserglas zugesetzt. Der so erhaltene „Schlicker“ wird in zwei- oder mehrteilige Formen aus Gips gegossen, deren poröse Wandungen das Wasser begierig ansaugen, so daß sich an ihnen eine verfestigte Masseschicht ansetzt. Die Form bleibt

so lange gefüllt, bis sich eine der verlangten „Scherbenstärke“ (Wandstärke) des Werkstückes entsprechende Masseschicht abgesetzt hat. Hierauf wird der überschüssige Schlicker durch Umkehren der Form ausgegossen. Mit zunehmender Trocknung schwindet der Formling von den Wandungen ab, so daß man ihn nach einigen Stunden in verfestigtem, aber noch plastischem Zustande der Form entnehmen kann.

Das Gießverfahren ermöglicht die Herstellung von Stücken selbst sehr schwieriger Formgebung, die sich auf andere Weise nicht herstellen lassen. Hierbei geht man vielfach so vor, daß man derartige Werkstücke in zwei oder mehr Einzelstücke unterteilt und diese für sich gießt, worauf man sie, vgl. S. 13, zusammengarniert.

Man unterscheidet 3 Arten des Gießverfahrens: Hohlguß, Kernguß und Gießen unter Druck.

Hohlguß. Der Hohlguß ist dadurch gekennzeichnet, daß er ohne Kern erfolgt und daß sich daher die Innenform des Gußkörpers entsprechend seiner Außenform ausbildet. Infolgedessen lassen sich



Hohlguß
(Innenform entspricht der Außenform)

Kernguß
(Innenform entspricht dem Kern)

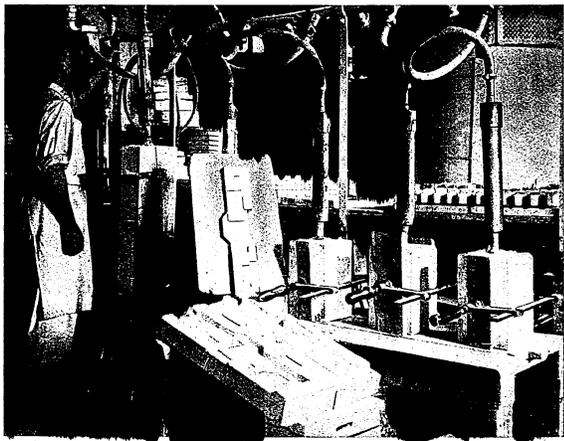
durch Hohlguß nur Werkstücke herstellen, deren Scherben an allen Stellen gleich dick ist. Auch darf, um ein fehlerfreies Gußstück zu erhalten, die Scherbenstärke nicht zu groß sein.

Kernguß. Beim Kernguß wird die Innenform durch einen Kern gebildet, der gleichfalls aus Gips besteht. Durch Kernguß lassen sich daher Körper gießen, deren Innenform von der Außenform abweicht. Da der Kern dem Schlicker gleichfalls Wasser entzieht, wird die Scherbenbildung beschleunigt, und weiter kann man durch Kernguß eine größere Scherbenstärke als durch Hohlguß erreichen.

Beim Kernguß muß die Form dauernd gut gefüllt sein. Damit sich keine Hohlräume durch das „Anziehen“, d. h. durch das Aufsaugen der Feuchtigkeit des Schlickers durch die Gipsform und den Kern bilden, wird zum Nachströmen von Schlicker ein Vorratsbehälter auf die Form aufgesetzt.

Auch beim Kernguß ist eine möglichst gleichmäßige Scherbenstärke des Gußstückes anzustreben. Andernfalls ist eine Lunkenbildung dadurch zu befürchten, daß durch Festwerden des Schlickers an Stellen dünner Scherbenstärke dem an Stellen größerer Scherbenstärke noch erforderlichen Schlicker der Weg versperrt wird.

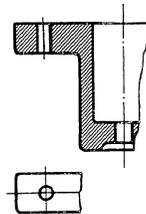
Gießen unter Druck. Dieses Verfahren wird namentlich bei starkscherbigen Werkstücken zur Vermeidung einer Lunkenbildung angewandt. Die Innenform kann auch hier durch einen Kern gebildet werden. Vom normalen Gießen unterscheidet sich jedoch das Gießen unter Druck dadurch, daß der Schlicker, um sicherzustellen, daß er die Form gut ausfüllt, unter einem Druck von 3 bis 4 Atmosphären in die Form gepreßt wird.



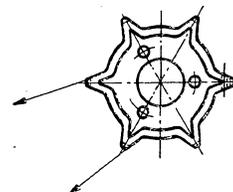
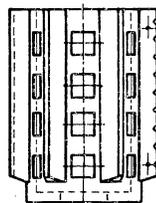
Gießen unter Druck

Gegossene Werkstücke

Falsch

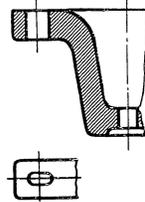


Gefahr der Ribbildung durch ungleichmäßige Wandstärke und zu kleine Aus- oder Abrundungen. Runde Befestigungslöcher werden leicht unpassend

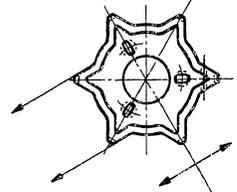
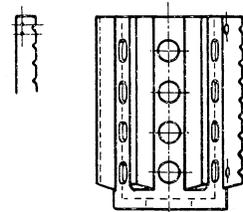


Form muß dreiteilig ausgebildet werden; rechteckige Erleichterungslöcher lassen sich schwerer herstellen als runde und führen leicht zu Ribbildung in den Ecken. Runde Befestigungslöcher mit zu wenig Spiel im Schraubloch werden bei Schwindungsschwankungen leicht unpassend. Zu dicht am Gewindegrund sitzende Abbinde-löcher werden leicht aufgeschliffen und fallen unpassend aus, wenn sie nicht als Langloch ausgebildet werden. Besser als Langlöcher sind zwei nebeneinander gebohrte Rundlöcher

Richtig



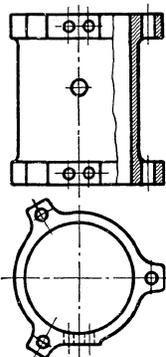
Gute Aus- und Abrundungen, gleichmäßige Wandstärken und Befestigungslöcher als Langlöcher



Form ist durch Änderung der Stegwinkel zweiteilig. Runde Erleichterungslöcher lassen sich leichter stechen oder bohren und führen nicht zu Ribbildungen. Ovale Befestigungslöcher gestatten einen Maßausgleich bei Schwindungsschwankungen. Noch besser ist es, die Lochdurchmesser so weit zu vergrößern, daß Schwindungsschwankungen trotzdem die Lehrenhaftigkeit einer Lochgruppe gewährleisten. Abbinde-löcher am Grunde des Spulsteges und oval zum Ausgleich der Schwindung

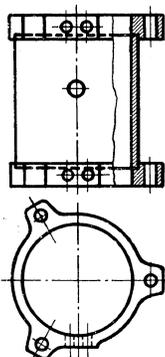
Gegossene Werkstücke

Falsch



Gegossene einteilige Ausführung ergibt durch Verziehen hohen Brennausfall und größere Maßabweichungen

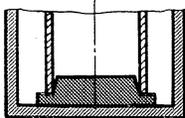
Richtig



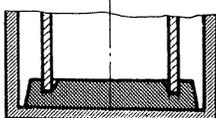
Dreiteilige Ausführung, bei der die beiden Ringe nach dem Garbrande angelasiert werden, verhindert Brennausfall und ergibt genaue Abmessungen

Brand

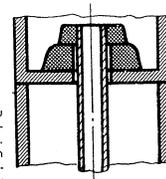
Da die keramischen Massen im Brand eine Brennschwindung von 11...18% erleiden, müssen die daraus geformten Körper während des Brandes gegen Verziehen geschützt und, wenn es sich um Stücke mit ausladenden Formen handelt, gegen Durchbiegen abgestützt werden. Die hierzu dienenden „B o m s e“ müssen aus der gleichen Masse wie der zu brennende Körper bestehen, damit sie mit ihm im gleichen Verhältnis schwinden; sie können daher nur einmal verwendet werden. Die Boms e sind die häufig, namentlich bei Preßstücken, erforderlichen Boms-Matrizen sind dementsprechend zu den Gesteungskosten des Werkstückes hinzuzurechnen. In den nachstehenden Abbildungen sind die gebräuchlichsten Boms e und einige Beispiele für die brenntechnisch richtige Ausbildung von Werkstücken dargestellt.



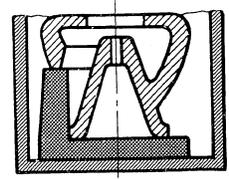
Spannboms für Hohlkörper bis zu mittleren Abmessungen



Ringboms mit beidseitiger Führung für Hohlkörper größerer Abmessungen



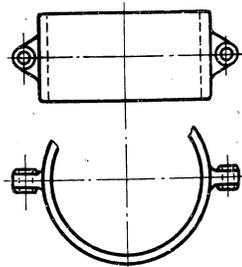
Hängeboms für hängend zu brennende Achsen und Rohre. Der vor dem Trocknen angestauchte oder aufgeschlickerte Hängeboms wird nach dem Brande abgeschlagen. Während des Brandes liegt er auf einem ringförmigen Stützboms auf



Stützboms verhindert das Verziehen oder Durchbiegen freistehender oder ausladender Teile eines Werkstückes

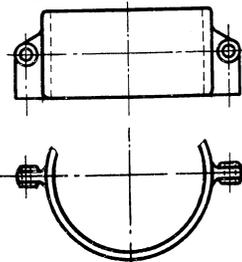
Brenntechnische Hinweise

Falsch



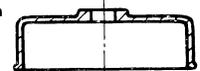
Die freistehenden seitlichen Befestigungsaugen brauchen besondere Stützboms e

Richtig



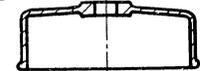
Durch Herunterziehen einer Rippe stützen sich die Augen selbst

Falsch



Der waagrecht ausgebildete Kappenbogen senkt sich im Brande leicht durch

Richtig



Ein gewölbter Kappenbogen hält sich gut im Brande

Falsch

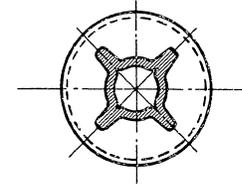
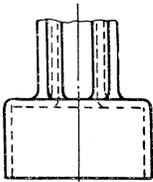
Die schwachen Seitenwände des Spulenkörpers verziehen sich im Brande und sind mechanisch wenig fest. Große Ribbildung durch gefähr an den scharfen Ecken

Richtig

Konische Verstärkung der Spulenwände nach dem Spulenkern hin ergibt größere mechanische Festigkeit und guten Brennausfall. Ribbildung durch kräftige Ausrundung am Übergang vom Deckel zum Kern vermieden

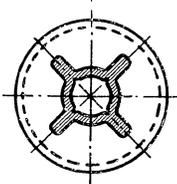
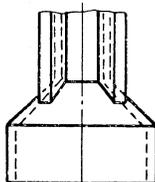
Brenntechnische Hinweise

Falsch

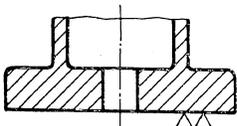


Der scharfe Übergang vom Wickelkörper zum Sockel verursacht leicht Schiefstellung im Brande. Außerdem biegt sich der horizontale Sockelboden durch

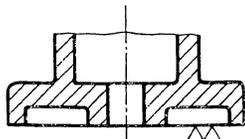
Richtig



Bei konischem Übergang vom Wickelkörper zum Sockel (geringe Vergrößerung der Bauhöhe) hält sich der Körper sehr gut im Brande



Materialanhäufung im Fuß führt leicht zur Ribbildung. Große Schleiffläche verteuert das Stück



Ausparung im Fuß ergibt gleichmäßige Wandstärken und verringert die Schleiffläche. Mittlere Stützfläche für den Brand notwendig

Feinbearbeitung

Keramische Isolier- und Aufbauteile, von denen aus konstruktiven oder elektrischen Gründen enge Toleranzen, z. B. nach den DIN- oder ISA-Passungen, gefordert werden, müssen durch Feinschleifen nach dem Garbrand nachbearbeitet werden.

Als Schleifmittel und Schleifwerkzeuge werden Quarzsand, Siliziumkarbid-scheiben verschiedener Härten, Körnungen und Bindungen, mit Diamantbord belegte Metallscheiben, Hartmetall- und Diamantbohrer verwendet.

Wenn es auch Sonderschleifmaschinen und Sondervorrichtungen gestattet, das Feinschleifen selbst von Massenerzeugnissen wirtschaftlich auszuführen, so müssen doch die in Frage kommenden Schleifmöglichkeiten schon bei der Formgebung der Werkstücke berücksichtigt und die zu bearbeitenden Flächen zwecks Ersparnis an Schleifarbeit und Schleifmitteln, z. B. durch Anordnung eng tolerierte Profile zu vermeiden, da bei der Härte des Werkstoffes meistens mit „weichen“ Schleifscheiben gearbeitet wird, die ihr Profil verhältnismäßig schnell ändern.

Die hier behandelten Isolierstoffe sind dichte keramische Werkstoffe und müssen daher durch Naßschleifen nachbearbeitet werden. Trockenschleifen ist nur bei Schleifstellen kleiner Abmessungen ausführbar, da es leicht Sprünge oder Risse durch örtliche Überhitzung verursacht.

Die wichtigsten Verfahren der Feinbearbeitung sind: Rundschliff, Flächenschliff, spitzenloser Schliff und das Bohren kleiner Löcher.

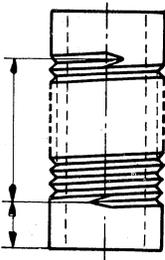
Rundschliff. Der einfache Rundschliff (Zylinderschliff) wird auf den üblichen Rundschleifmaschinen vorgenommen. Lagerstellen an Achsen, Ansätze und Versenke jeder Art, Gewinde sowie Windungen und Rillen von Spulenkörpern u. dgl. werden auf der Drehbank geschliffen. Besondere Vorrichtungen ermöglichen hierbei das Ausführen auch von Kugel-Außen- und -Innenschliff sowie von Kugel- und Kegelgewinden. In keramische Körper kann Gewinde allerdings nicht mit der geringen Steigung eingeschliffen werden, die in der Metallbearbeitung erreichbar ist.

Flächenschliff. Beim Schleifen ebener Flächen sind das einfache Abreiben, das auf umlaufenden, mit Sand und Wasser beschickten Graugußscheiben vorgenommen wird, und der Feinplanschliff zu unterscheiden, für den die verschiedensten Arten von Flächenschleifmaschinen, z. T. auch Fräsmaschinen mit schnell laufender Spindel, verwendet werden. Die Planschleifmaschinen haben entweder einen hin- und hergehenden Tisch mit waagerechter oder senkrechter Scheibenstellung oder einen umlaufenden Tisch. Die Werkstücke werden durch besondere Vorrichtungen oder durch Magnetspannplatten mit Hilfe von Eisenbeilagen festgespannt. Kleinere Werkstücke werden von Hand auf einfachen Spindeln unter seitlichem Andrücken an die Schleifscheibe oder auf Sondermaschinen mit Karussellbetrieb geschliffen. Ist eine besonders hohe Oberflächengüte des Werkstückes erforderlich, so schließt sich an den Planschliff noch ein Lappschliff an. So weisen z. B. die Oberseiten der Sockel von Scheibenrührern und die Unterseiten der auf ihnen gleitenden Rotorscheiben „optischen Feinschliff“ auf.

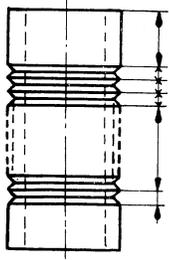
Spitzenloser Schliff. Beim spitzenlosen Schliff schieben sich die Werkstücke, meistens Achsen oder Rohre, selbsttätig zwischen einer schnell umlaufenden Schleifscheibe und einer in entgegengesetzter Richtung langsam umlaufenden zweiten Scheibe hindurch, wobei auf die Schleifflächen reichlich Wasser gegeben wird. Bei Stücken mit größerem Durchmesser geht dem spitzenlosen Schliff ein Vorschleifen zwischen Spitzen voraus.

Bohrungen. Kleine Löcher ins Volle werden auf schnell laufenden Senkrecht-Bohrmaschinen mit Hartmetall- oder Diamantbohrern gebohrt. Bohrungen mit engen und engsten Toleranzen werden auf Präzisions-Innenschleifmaschinen hergestellt, während zum Einschleifen von Bohrungen in schwere oder sperrige Werkstücke Planeten-Schleifwerke dienen.

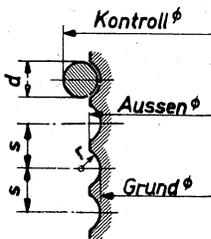
Schleiftechnische Hinweise



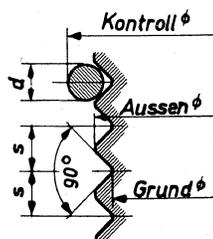
Gewindgänge sind unter einer gewissen Steigung fortschreitende Nuten. Profil und Steigung angeben



Rillen sind in sich geschlossene Nuten. Profil und Teilung angeben



Rundgewinde läßt sich nur bis zu einer gewissen Steigung herab anwenden. Es muß dabei darauf geachtet werden, daß bei halbrundem Profil der Rille die Stege nicht zu schwach werden, da diese beim Schleifen leicht ausbrechen. Ferner ist der Ausrundungsradius schwer zu bestimmen

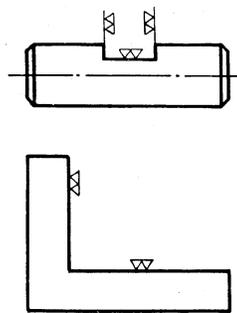


Bei Feingewinde, also kleinen Steigungen, ist Spitzgewinde vorzuziehen, weil dann die Kanten nicht ausbrechen und das Profil der Schneidscheibe leichter herzustellen ist

Für das Messen des Gewindes ist die Angabe des über den einzulegenden Draht gemessenen Außendurchmessers nötig. Der Kerndurchmesser des Gewindes kann nicht direkt gemessen werden

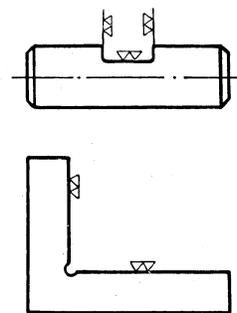
Schleiftechnische Hinweise

Falsch



Scharfe Ecken und Kanten vermeiden. Bei winklig geschliffenen Innenflächen oder Nuten mit winkligen Profilen Ecken verrunden

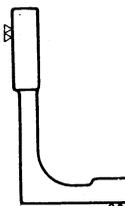
Richtig



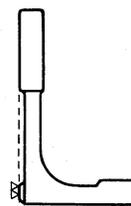
Die große Auflagefläche ist nur durch Nachschleifen plan zu erhalten; hohe Schleifkosten



Kleine Auflagefläche verbilligt die Schleifkosten



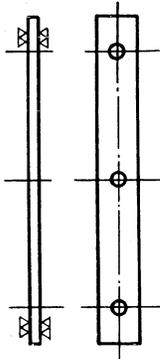
Die fehlende Schleifwarze macht es schwierig, das Werkstück mit rechtwinklig zueinanderliegenden geschliffenen Montageflächen zu liefern



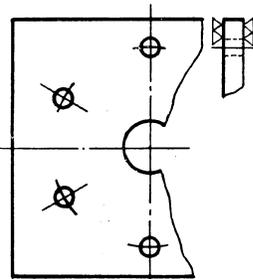
Durch Anordnung einer Schleifwarze wird ein leichtes Aufspannen ermöglicht

Schleiftechnische Hinweise

Falsch

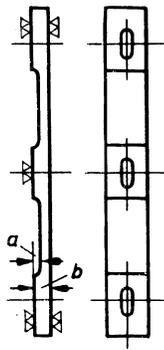


Montageleisten mit durchgehender gleicher Wandstärke verursachen hohe Schleifkosten. Rundlöcher führen wegen der Schwindungsschwankungen im Brande zu Schwierigkeiten bei der Befestigung

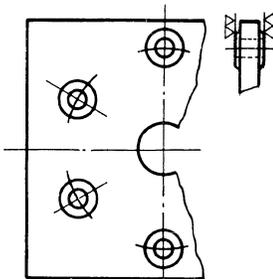


Hohe Schleifkosten bei ebener Ausführung der Montageplatte

Richtig



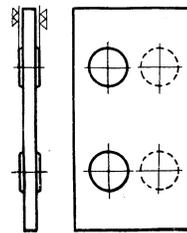
Schleifwarzen vermindern die Schleifkosten. Durch Langlöcher oder vergrößerte Rundlöcher lassen sich Schwindungsschwankungen leicht ausgleichen. Eine enge Toleranz für „a“ ist zu vermeiden, vielmehr ist das Maß „b“ anzugeben; andernfalls muß auch die versenkt liegende Fläche geschliffen werden



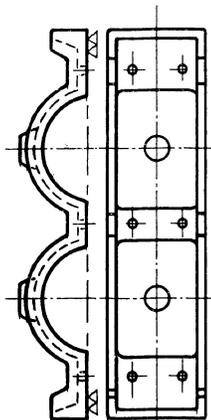
Stark verringerte Schleifkosten durch Anordnung von Schleifwarzen

Schleiftechnische Hinweise

Falsch

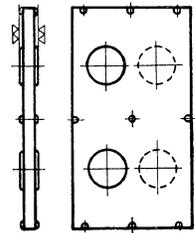


Die unsymmetrisch sitzenden Montageflächen erschweren das Aufspannen beim Schleifen. Planparallelität ist nur schwer zu erreichen

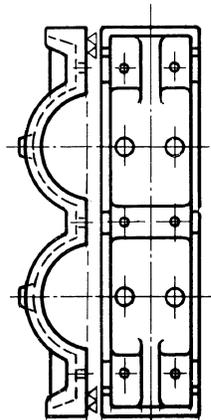


Die kurzen Seitenwände ziehen sich im Brande ohne besondere Abstützung ein. Die beiden Schleifaugen in der Mitte der Gewölbe ergeben keine sichere Schleifauflage

Richtig



Durch Anordnung von Warzen wird eine gute Unterstüzung beim Brennen und eine sichere Auflage beim Schleifen erreicht



Die Mittelrippen verhindern das Einziehen der kurzen Seitenwände. Eine sichere Schleifauflage wird durch die 4 Schleifwarzen bewirkt

Zusammenglasieren

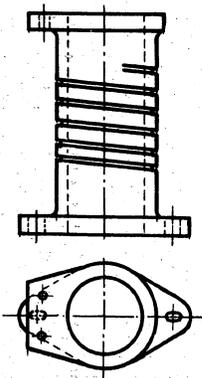
Isolier- und Aufbauteile, die wegen ihrer Formgebung durch Pressen, Gießen oder Drehen einteilig nur sehr schwierig oder überhaupt nicht herstellbar sind, werden, vgl. S. 22, aus fertiggebrannten und nötigenfalls nachbearbeiteten Einzelteilen zusammengesetzt, worauf sie mit einer als „Feuerkitt“ wirkenden Glasur in einem abschließenden Nachbrand zu einem Stück vereinigt werden.

Das Zusammenglasieren wird heute in der keramischen Fertigung ausgedehnt angewandt, da es nicht nur eine vereinfachte, sondern auch eine sehr maßgenaue Herstellung der Werkstücke ermöglicht. So lassen sich z. B. bei der Herstellung durch Zusammenglasieren Genauigkeiten von wenigen Zehntel Millimetern einhalten, während die einteilige Ausführung, falls sie möglich wäre, je nach dem Herstellverfahren Maßabweichungen von 1,5 bis 3% erfordern würde.

Die nachstehenden Gegenüberstellungen zeigen an einigen der praktischen Fertigung entnommenen Beispielen, wie durch Zusammenglasieren die Herstellung vereinfacht oder eine besonders hohe Maßgenauigkeit erreicht werden kann.

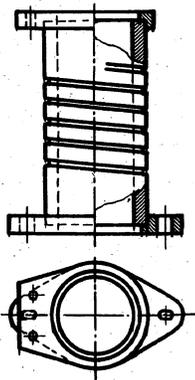
Zusammenglasierte Werkstücke

Falsch



Die einteilige Ausführung ergibt, da sich die Flanschen im Brande leicht verziehen, einen verhältnismäßig hohen Ausfall

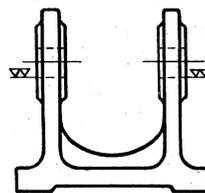
Richtig



Die Ausführung aus drei Teilen, die für sich gebrannt, fertigbearbeitet und mittels Lehre zusammenglasieren werden, vermeidet den Brennausfall und ergibt höchste Maßgenauigkeit

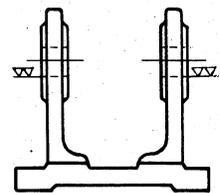
Zusammenglasierte Werkstücke

Falsch

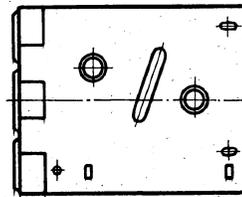
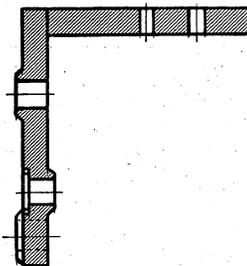


Die einteilige Ausführung verursacht leicht ein Verziehen der Lagerstützen im Brand und erschwert das Schleifen der Lagerbohrungen

Richtig



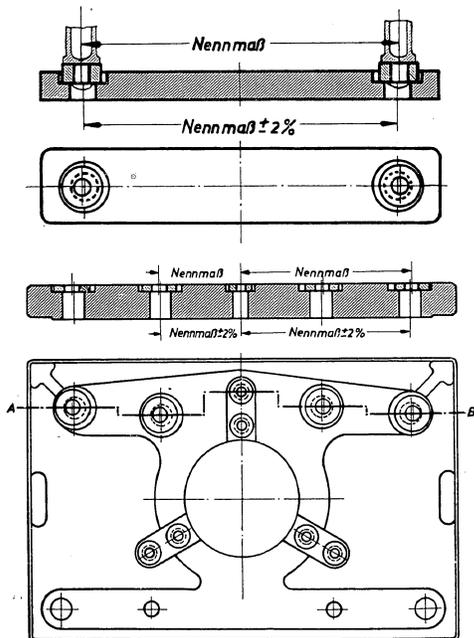
Die dreiteilige Ausführung vereinfacht die Herstellung, vermeidet den Brennausfall und erleichtert die Schleifarbeit, wobei das Aufglasieren der Stützen mittels Lehre ein gutes Ausrichten der Bohrungen ermöglicht



Bei einteiliger Ausführung würde sich der Montagewinkel im Brande verziehen und eine teuere Nachbearbeitung erfordern

Die zweiteilige Ausführung durch Zusammenglasieren aus für sich gebrannten und bearbeiteten Einzelteilen vermeidet den Brennausfall und ermöglicht ein genau rechtwinkliges Ausrichten

Zusammenglasierte Werkstücke



Bei sehr genau einzuhaltenden Lochabständen mußten bisher in die fertiggebrannten keramischen Werkstücke Löcher mit Diamantbohrern eingebohrt werden. Statt dessen werden nach einem von der Hescho ausgebildeten Verfahren³⁾ vor dem Brande in die Werkstücke mit der üblichen Genauigkeit Löcher eingestochen, in die nach dem Brande Scheiben mit eingepreßten, erforderlichenfalls nachgeschliffenen Löchern mittels Lehren einglasiert werden. Hierdurch werden alle durch die Brennschwindung verursachten Ungenauigkeiten der Werkstücke ausgeglichen und bei einfacher Herstellung und verkürzter Arbeitszeit die geforderten Mittenabstände mit größter Genauigkeit eingehalten.

³⁾ DRP. 683070

Elektrothermische Verbindung mit Metallarmaturen

Für die zeitbeständige Verbindung keramischer und leitender Teile hat, da Lötverbindungen nicht immer ausführbar sind und überdies ihre Anwendung gegenwärtig einschneidenden Beschränkungen unterliegt, während Schraub- oder Nietverbindungen wegen der geringen Elastizität bzw. Stoßfestigkeit des keramischen Werkstoffes vielfach ausscheiden müssen, das elektrothermische Stauchverfahren⁴⁾ eine überragende Bedeutung erlangt.

Bei diesem Verfahren, das das Einstauchen von Armaturen aus Kupfer, Messing, Stahl oder Aluminium ermöglicht, werden die zur Bestückung vorgesehenen Metallteile elektrisch bis zum Erweichen erhitzt und unter schwachem Druck gegen die umgebende keramische Wandung gepreßt. Zu der so wirkten formschlüssigen Verbindung tritt beim Erkalten eine kraftschlüssige in axialer Richtung durch Schrumpfen hinzu.

Die umstehenden Abbildungen zeigen einige unmittelbare und mittelbare Stauchverbindungen von isolierenden mit leitenden Teilen.

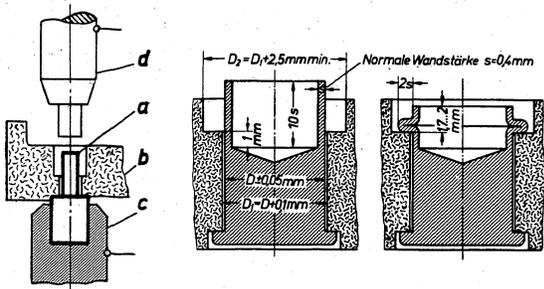
Zwecks Vermeidung zu starker örtlicher Erhitzung des keramischen Werkstückes empfiehlt es sich, den Querschnitt der Stauchenden klein zu halten und bei größeren Abmessungen die Zapfen vor der Verformung auszudrehen. Ein Einhalten von Passungen im keramischen Werkstück ist nicht erforderlich, da auch bei größerem Spiel die metallische Armatur formschlüssig an die keramische Wandung gequetscht wird. Infolgedessen können auch Verdrehungskräfte durch Nasen oder Riffelungen im keramischen Körper aufgenommen werden. Bei Reihenarmaturen werden enge Toleranzen über große Abstände durch die Verwendung von Stauchlehren eingehalten.

Ein gleichmäßiger Ausfall der Armierung wird bei großen Stückzahlen mit Hilfe von maschinellen Einrichtungen (Halbautomaten) erreicht; dies gilt insbesondere für die durchschnittliche 0,1 s betragende Erhitzungszeit und den vorsichtig zu regelnden Kontaktdruck, der während der Erhitzungszeit gering sein muß. Als Spannung genügen 1 bis 5 V; die Stromstärke muß dem spezifischen Widerstand des Werkstoffes und den Abmessungen des Zapfens entsprechend gewählt werden.

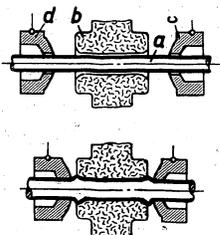
Mit Hilfe des elektrothermischen Einstauchens können auch „Stauchlötungen“ ausgeführt werden. Hierzu wird auf die Berührungsflächen zwischen dem keramischen Werkstück und der einzustauchenden Armatur ein Metallbelag aufgebrannt und mit einer Lötsschicht überzogen, so daß beim Erhitzen zusätzlich zu der Stauchverbindung eine Lötverbindung bewirkt wird.

⁴⁾ DRP. 644230

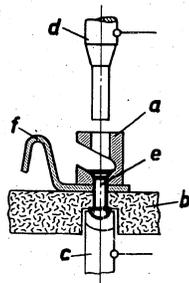
Elektrothermisches Einstauchen



Unmittelbares Einstauchen von Voll- oder Hohlzapfen in durchgehende Löcher oder Schlitze eines keramischen Werkstückes
 a Metallzapfen - b keramischer Körper - c untere Elektrode - d obere Elektrode

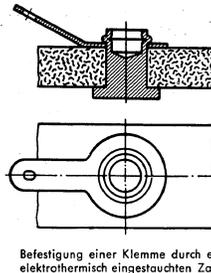


Unmittelbares Einstauchen von stabförmigen Metallteilen (Wellen, Durchführungen, Stiften oder dgl.) in scheibenförmige keramische Körper, Sockel oder dgl.
 oben: vor dem Erhitzen
 unten: in eingestauchtem Zustand
 a stabförmiger Metallkörper
 b keramisches Werkstück
 c u. d mit Klammern versehene Elektroden



Mittelbare Befestigung einer Klemme und eines Bügels auf einem keramischen Werkstück durch einen eingestauchten Voll- oder Hohlzinn
 a Metallklemme
 b keramischer Körper
 c untere Elektrode
 d obere Elektrode
 e Niet
 f Metallbügel

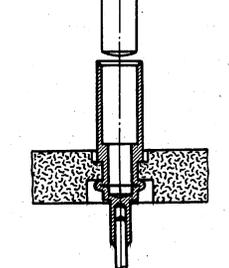
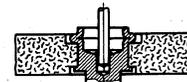
Elektrothermisches Einstauchen



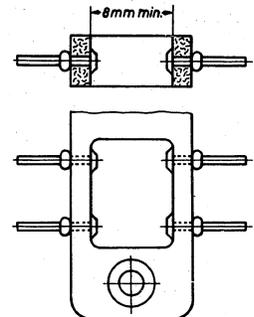
Befestigung einer Klemme durch einen elektrothermisch eingestauchten Zapfen



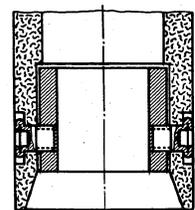
Elektrothermisch eingestauchte Buchse



Elektrothermisch eingestauchter Stecker mit Lötanschluß durch Stiftanbohrung und elektrothermisch eingestauchte Buchse mit Lötanschluß



Keramischer Körper mit beiderseits elektrothermisch eingestauchten Stiften



Durch elektrothermisch eingestauchte Zapfen in einem keramischen Körper befestigte Metallbuchse



Durch elektrothermische Stauchlötlung in einem keramischen Körper befestigte Buchse

Entglimmerung

Aus politischen und wirtschaftlichen Gründen muß der Bau von hochfrequenten Fernmeldegeräten von ausländischen Werkstoffen unabhängig sein. Es ist daher sehr wertvoll, daß man die für den Aufbau von Sendern und Empfängern früher in großem Umfange benötigten Glimmerkondensatoren heute überall da, wo die Raumverhältnisse es gestatten, d. h. in mehr als 90% aller Fälle, durch keramische Kondensatoren ersetzen kann.

Die Hauptbauarten der für die Entglimmerung in Frage kommenden festen und veränderbaren Keramikkondensatoren sind aus den Abbildungen auf S. 9 u. 10, ihre konstruktive Durchbildung und ihre Vorzüge aus Einzeldarstellungen^{*)} ersichtlich. Hier ist deshalb nur nochmals hervorzuheben, daß, vgl. S. 9 und Zahlentafel 4, es erst keramische Kondensatoren ermöglicht haben, den Einfluß von Temperatureinwirkungen auf Hochfrequenzkreise in einfacher Weise durch Parallel- oder Reihenschaltung von Kondensatoren mit positiven und von Kondensatoren mit negativen Temperaturkoeffizienten zu kompensieren und hierdurch insbesondere auch Oszillatoren und Bandfilter mit jedem praktisch benötigten Wert des Temperaturkoeffizienten herzustellen.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Entglimmerung ergibt sich u. a. daraus, daß seit 1937 bis Oktober 1942 rd. 200 t Rohglimmer durch Einsatz keramischer HF-Kondensatoren eingespart werden konnten.

^{*)} Vgl. die Hesco-Druckschriften: Keramik-Festkondensatoren für HF-Kleingeräte - Veränderbare Rundfunk-Kondensatoren - Feste Sender-Kondensatoren.

Zahlentafel 4

Temperaturkoeffizienten fester HF-Kondensatoren

Richtwerte, keine Garantiewerte

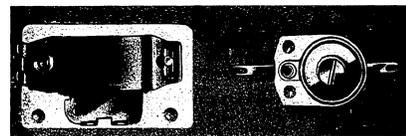
Dielektrikum	Kapazitätsänderung in 10 ⁻⁴ pro pF für 1° zwischen 20° und 80°
Calit	+ 90 . . . + 180
Glimmer*)	+ 60 . . . + 100
Tempa S	- 30 . . . + 90
Tempa T	0 . . . - 250**)
Condensa N	- 360 . . . - 480
Condensa F und C	- 680 . . . - 860

^{*)} Bei Glimmer-Kondensatoren ist der Temperaturgang nicht linear; vgl. ATM 1936, Z. 136-1.
^{**)} Wird in mehreren Abarten mit verschiedenem Tg innerhalb des angegebenen Bereiches hergestellt.

Metalleinsparung durch aufgebrannte Beläge

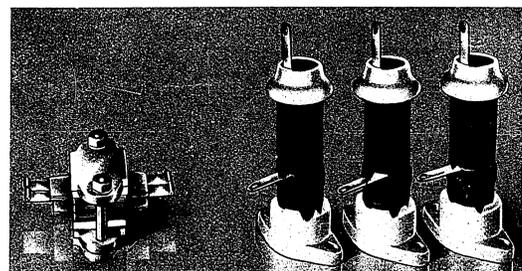
Neben den bereits erwähnten elektrischen und konstruktiven Verbesserungen ermöglicht das Aufbrennen metallischer Beläge auf keramische Isolierkörper auch erhebliche Einsparungen an devisenbelasteten Metallen und Legierungen. Wenn auch die auf das Einzelstück bezogene Ersparnis an Kupfer, Zinn, Messing oder Bronze gering erscheint, so ergibt sich doch ein wesentlich anderes Bild, wenn man berücksichtigt, daß der jährliche Bedarf an Kondensatoren, Spulen, Abschirmungen, Wellenschaltern u. dgl. sehr groß ist und z. B. bei festen und veränderbaren Kondensatoren für HF-Kleingeräte viele Millionen Stück beträgt.

Einen Anhalt für die Einzelerparnisse durch aufgebrannte Beläge geben die nachstehenden der normalen Fertigung entnommenen Gegenüberstellungen.



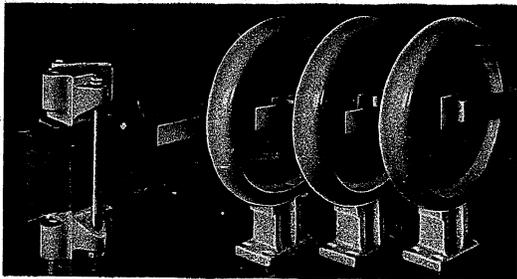
Normaler Quetschtrimmer
Metallverbrauch: 7,5 g

Keramischer Scheibentrimmer
Metallverbrauch: 1,3 g
Metallersparnis: rd. 82%



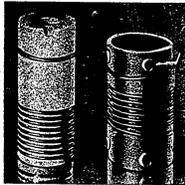
Glimmerkondensator
C = 5500 pF
U = 2500 V_{eff}
Metallverbrauch: 50 g

3 Condensa F-Topfkondensatoren
C = 6000 pF_{max}
U = 3000 V_{eff}
Metallverbrauch: 10 g
Metallersparnis: rd. 80%

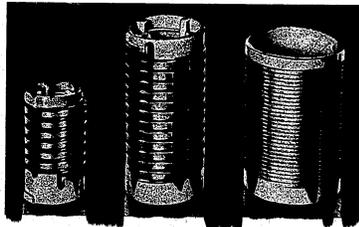


Glimmerkondensator
 $C = 1360 \text{ pF}$
 $U = 10000 \text{ V}_{\text{eff}}$
 $N_B = 100 \text{ kVA}$
 Metallverbrauch: 2200 g

3 Calit-Plattenkondensatoren
 $C = 1500 \text{ pF}_{\text{max}}$
 $U = 10000 \text{ V}_{\text{eff}}$
 $N_B = 120 \text{ kVA}$
 Metallverbrauch: 175 g
Metallersparnis: rd. 92,5 %



Kurzwellen-Spule
 Hartpapier, aufgewickelter Leiter
 Metallverbrauch: 45 g
 Calit, aufgebrannter Leiter
 Metallverbrauch: 0,5 g
Metallersparnis: rd. 98 %



Spulen aus Calit oder Ardestan
 mit aufgebranntem Leiter
**Metallersparnis gegenüber gewickelter Ausführung:
 über 50 %**



Alte Ausführung. Gewicht 200 g

Wellenschalter

Neue Ausführung. Gewicht 50 g
Metallersparnis: rd. 70 %

Toleranzen

Infolge der Brennschwindung im Garbrand streuen die Abmessungen keramischer Werkstücke um das Nennmaß, das auch einseitig nach oben oder unten über- oder unterschritten werden kann. Für die zulässigen Maßabweichungen gelten die durch das Normblatt DIN 40680 festgesetzten Grob- und Mitteltoleranzen.

Grobtoleranzen genügen für Maße, deren Abweichungen die Konstruktion nicht beeinflussen sowie für Teile, die mit einem größeren Spiel zusammengebaut werden. Sie gelten namentlich für Dreherei- und Gießerei-Erzeugnisse. Grobtoleranzen sind, da sie keine Nachbearbeitung des fertiggebrannten Stückes erfordern, am wirtschaftlichsten und daher zu bevorzugen.

Mitteltoleranzen sind für Maße erforderlich, die nur geringe Abweichungen aufweisen dürfen sowie für Teile, die mit geringem Spiel zusammenpassen müssen. Sie werden durch besonders scharfes Sortieren oder durch Bearbeiten der Werkstücke in verglühtem Zustand erreicht und gelten, Zahlentafel 5, für Presserei- und nur auf Grund besonderer Vereinbarung für Dreherei- und Gießerei-Erzeugnisse.

Feintoleranzen sind nur durch nachträgliches Schleifen, Bohren oder dgl. der fertiggebrannten Stücke zu erreichen und kommen für Teile in Frage, die höchste Maßgenauigkeit aufweisen oder mit geringstem Spiel mit anderen zusammenpassen müssen.

Feintoleranzen sind stets besonders zu vereinbaren. In Zahlentafel 6 und 7 sind die durch Vereinbarung zwischen führenden Erzeugern und Verbrauchern keramischer HF-Isolierstoffe festgesetzten Feintoleranzen zusammengestellt.

Den vorstehenden Angaben ist noch ergänzend hinzuzufügen:

Sämtliche Grob- und Mitteltoleranzen gelten unter der Voraussetzung, daß zwischen den äußeren Abmessungen folgende Beziehungen bestehen:

1. Bei stabförmigen Vollkörpern, z. B. Wellen, Vierkantstäben u. dgl., soll der mittlere Durchmesser nicht unter 5% der Länge, mindestens aber 1 mm betragen.
2. Bei zylindrischen Hohlkörpern, z. B. Spulenkörpern, Durchführungen oder dgl., soll die mittlere Wandstärke nicht unter 5% des Außendurchmessers, mindestens aber 1 mm betragen. Für dünnwandige Röhrchen gelten die Angaben auf S. 36.
3. Bei flachen Körpern, z. B. Scheiben, Leisten, Platten u. dgl., soll die mittlere Breite mindestens 10% der mittleren Länge, die mittlere Höhe in Pfeilrichtung mindestens 3% der mittleren Länge betragen.

Ohne Nachbearbeitung können bei Grob- oder Mitteltoleranzen Teile, die einen Kreis-Querschnitt haben sollen, innerhalb der Toleranz unrund ausfallen. Der Durchmesser muß aber zwischen dem oberen und unteren Abmaß liegen, ganz gleich, nach welchem Meßverfahren (Zweipunkt- oder Dreipunktauflage) gemessen wird.

Die Toleranz für Abstechen (auf Länge schleifen) beträgt $\pm 0,3 \text{ mm}$ für allseitig geschliffene Achsen und $\pm 1,5\%$ der Länge für unbearbeitete Teile.

Bei glasierten Teilen ist die Glasur in den Grob- und Mitteltoleranzen einbegriffen, dagegen ist bei metallisierten Teilen der Metallüberzug nicht einbegriffen.

Zahlentafel 5
Grob- und Mitteltoleranzen ohne Nachbearbeitung
± Abmaße in mm

Durchmesser oder Längenbereich	Grobtoleranz		Mitteltoleranz	
	± Abmaße	einseitige Abmaße nach oben oder unten	± Abmaße	einseitige Abmaße nach oben oder unten
über 2... 4	0,4	0,8	0,2	0,4
" 4... 6	0,4	0,8	0,15	0,3
" 6... 8	0,6	1,2	0,2	0,4
" 8... 10	0,7	1,4	0,25	0,5
" 10... 13	0,8	1,6	0,3	0,6
" 13... 16	1	2	0,35	0,7
" 16... 20	1,2	2,4	0,4	0,8
" 20... 25	1,5	3	0,45	0,9
" 25... 30	1,5	3	0,5	1
" 30... 35	2	4	0,55	1,1
" 35... 40	2	4	0,6	1,2
" 40... 45	2	4	0,65	1,3
" 45... 50	2,5	5	0,7	1,4
" 50... 55	2,5	5	0,8	1,6
" 55... 60	2,5	5	0,9	1,8
" 60... 70	3	6	1,2	2,4
" 70... 80	3,5	7	1,4	2,8
" 80... 90	4	8	1,6	3,2
" 90... 100	4,5	9	1,8	3,6
" 100... 110	5	10	2	4
" 110... 125	5,5	11	2,2	4,4
" 125... 140	6	12	2,5	5
" 140... 155	6,5	13	2,8	5,6
" 155... 170	7	14	3	6
" 170... 185	7,5	15	3,4	6,8
" 185... 200	8	16	3,8	7,6
" 200... 250	9	18		
" 250... 300	10	20		
" 300... 350	11	22		
" 350... 400	12	24		
" 400... 450	13	26		
" 450... 500	14	28		

Die angegebenen Größtoleranzen sind zu bevorzugen und gelten für Drehen, Gleit- und Pressen-Erzeugnisse und nur nach besonderer Vereinbarung für Drehen- und Gleit-Erzeugnisse.

Zahlentafel 6
Feintoleranzen für Rundschliff zwischen Spitzen, spitzenlosen Rundschliff oder Planschliff

Durchmesser oder Längenbereich	Einseitig liegende Abmaße nach oben oder unten in mm		
	F _a	F _b	T _c
über 1 bis 3	0,10	0,05	-0,010
3 6	0,10	0,05	-0,010
6 10	0,10	0,05	-0,010
10 18	0,10	0,05	-0,012
18 30	0,15	0,05	-0,015
30 50	0,15	0,05	-0,018
50 80	0,20	0,06	-0,020
80 120	0,20	0,07	
120 180	0,25	0,08	
180 260	0,25	0,09	
260 360	0,30	0,10	
360 500	0,35	0,12	

Bei spitzenlosem Rundschliff sind die Toleranzen T_c nur für Stäbe oder Rohre bis 10 mm Ø zu verwenden. Aus wirtschaftlichen Gründen sind die Toleranzen F_a und F_b zu bevorzugen.

Zahlentafel 7
Toleranzen für besondere Angaben

Besondere Angaben	Skizze	Ohne Nacharbeit und ohne Angabe in der Zeichnung	Mit Nacharbeit oder durch besondere Maßnahmen erreichbar	Angabe in der Zeichnung
1. Planparallelität auf 100 mm Länge		d ₁ - d ₂ = 0,5 mm	0,03 einschließlich Durchbieg.	„planparallel“
2. Durchbiegung auf 100 mm Länge		f = 0,5 mm	0,03 bis 700 mm Länge 0,04 über 700 mm Länge	„gerade“
3. Verdrehung auf 100 mm Länge		δ = 2°	0,5°	„gerade“
4. Konizität bei Preßteilen		h mm	d ₁ -d ₂ mm	
		bis 10	0,1	
		" 30	0,3	
		" 50	0,4	
5. Rechtwinkligkeit		90° ± 2°	90° ± 0,1°	„rechtwinklig“
6. Kleinster Radius beim Überg. v. zwei winkl. Flächen, z. B. bei Einkerbungen		allgem. r = 0,5 bei Preßteilen r = 0,3	0,3 0,1	„scharfkantig“
7. Unrundheit bei spitzenlosem Schliff		etwa gleich den Tol. bei kreisrunden Querschn.		„spitzenlos schleifen“

Maßeintragungen — Bearbeitungszeichen

Grobtoleranz. Das Nennmaß wird ohne die zulässige \pm Toleranz angegeben. Bei einem Körper mit z. B. einem Längen-Nennmaß von 50 mm wird also nur die Zahl 50 zwischen die Maßpfeile eingeschrieben. Soll jedoch dieser Körper nur einseitig liegendes Abmaß aufweisen, das nach Zahlentafel 5 bis 5 mm betragen darf, so ist das Nennmaß mit $50+5$, wenn das Abmaß nach oben, mit $50-5$, wenn das Abmaß nach unten liegen soll, einzutragen.

Mitteltoleranz. Das Nennmaß wird mit der zulässigen \pm Toleranz hinter der Maßzahl angegeben; im vorgenannten Falle wäre also $50 \pm 0,8$ einzuschreiben. Darf jedoch das Abmaß nur einseitig nach oben oder unten liegen, so ist das Nennmaß mit $50+1,6$ bzw. mit $50-1,6$ einzutragen.

Feintoleranz. Alle Maße sind mit der vereinbarten Feintoleranz wie bei Mitteltoleranz einzutragen.

Spitzenloses Schleifen. Sollen Körper, wie das bei einfachen Rundstäben zu bevorzugen ist, spitzenlos geschliffen werden, so ist in der Zeichnung „spitzenlos schleifen“ anzugeben. Zu beachten ist hierbei, Zahlentafel 7, daß die Teile unrund ausfallen können.

Überschleifen. Soll durch Schleifen nur die Oberfläche geglättet oder die Durchbiegung oder Verdrehung (Verkantung) von unbearbeiteten Teilen herabgesetzt werden, ohne ihre Maßhaltigkeit zu erhöhen, so sind diese Stellen durch das Zeichen \sim (= „Abreißen“) zu kennzeichnen.

Grobschliff. Oberflächen, die eine Gleichförmigkeit und Glätte aufweisen sollen, wie sie durch Schruppbearbeitung erzielt wird, bei denen also vom Werkzeug herrührende Riefen fühlbar und mit bloßem Auge deutlich sichtbar sein dürfen, sind in der Zeichnung durch ∇ zu kennzeichnen.

Feinschliff. Oberflächen, die eine Gleichförmigkeit und Glätte aufweisen sollen, wie sie durch Schlichtbearbeitung erzielt wird, bei denen also vom Werkzeug herrührende Riefen mit bloßem Auge noch sichtbar sein dürfen, sind in der Zeichnung durch $\nabla \nabla$ zu kennzeichnen.

Polierschliff. Oberflächen, die eine Gleichförmigkeit und Glätte aufweisen sollen, wie sie durch Feinschliff erzielt wird, bei denen also vom Werkzeug herrührende Riefen mit bloßem Auge nicht mehr sichtbar sein dürfen, sind in der Zeichnung mit $\nabla \nabla \nabla$ zu kennzeichnen.

Optischer Schliff. Der optische Schliff entspricht dem Polierschliff, jedoch wird zusätzlich geläppt. In der Zeichnung ist an den betreffenden Stellen mit einem Bezugshaken das Wort „geläppt“ einzutragen.

Glasieren. Soll bei einem keramischen Körper nur ein Teil der Oberfläche glasiert werden, so sind die betreffenden Stellen mit einer ——— Linie zu kennzeichnen. Die ——— Linie ist auf der Zeichnung zu wiederholen und mit der Angabe „glasieren“ zu versehen.

Soll dagegen bei einem zu glasierenden Körper ein Teil der Oberfläche nicht glasiert werden, so ist die betreffende Stelle mit einer ——— Linie zu kennzeichnen und neben der Wiederholung der ——— Linie auf der Zeichnung die Angabe „nicht glasieren“ einzutragen.

Metallisieren. Soll auf einen keramischen Körper ein Metallbelag aufgebracht werden, so ist die betreffende Oberfläche in der Ansicht durch $\times \times \times \times$, im Schnitt durch ||||| oder neben der Begrenzungslinie zu kennzeichnen. Diese Zeichen sind auf der Zeichnung mit dem Zusatz „metallisieren“ zu wiederholen.

Stichwörter-Verzeichnis

Seite	Seite	Seite
Abdrehen..... 14, 39	Handmuster..... 18	Schamottekapseln..... 15
Abmaße..... 29, 61	Hängeboms..... 45	Scherben..... 2
Abquetschmatrize..... 30	Härte..... 3	Scherbenstärke..... 36, 42
Abreiben..... 64	Herstellungsgang..... 11, 12	Schlagbiegefestigkeit..... 3
Abstirmtöpfe..... 10	Hohlguß..... 41	Schleifen..... 21, 69, 64
Abspannisolatoren..... 8	Hubel..... 36	Schleifefestigkeit..... 3
Abstechen..... 35	Invar..... 5	Schleifmittel..... 21
Anlöten..... 25	Isolierteile..... 4, 6	Schleifringe..... 24
Ardostan..... 2, 3, 4	Kapazitätswerte..... 5	Schleifzeichen..... 64
Aufbautteile..... 6	Keramik (Glas- u. Keramik)..... 48	Schlichter..... 12, 15, 16
Aufbereitung..... 12	Keramik/Metall-Verschmelzung..... 11, 28	Schmelzglasur..... 12, 15, 16
Aufbrennen..... 23, 59, 60	Kernguß..... 42	Schraubverbindungen..... 57
Aufschumpfen..... 23	Kondensatoren..... 4, 5, 6, 9, 10, 25	Segerkegel..... 17
Bearbeitungszeichen..... 64	Konzilist..... 63, 33	Selbstglasur..... 15
Beläge..... 59, 60	Kugelschliff..... 47	Senderbau..... 5
Biegefestigkeit..... 3	Kugelschliff..... 47	Silberbelag..... 23
Bohren..... 22, 54	Läppschliff..... 47, 64	Spannboms..... 44
Bornte..... 15, 44	Lehren..... 54	Spitzenloser Schliff..... 47, 62
Brand..... 15, 17, 18, 44	Lötverbindungen..... 59, 60	Spulen..... 4, 7, 8
Brennwindung..... 15, 17, 18, 44, 45, 54	Magnetspannplatten..... 47	Stauchlöten..... 55, 57
Calit..... 2, 3, 4, 5	Maßeintragungen..... 64	Stangpressen..... 11, 12, 14, 35
Condensa..... 2, 3, 4, 5	Maßhaltigkeit..... 18, 19, 21, 22	Stützboms..... 45
Dämpfungsverluste..... 5	Mastfuß-Isolator..... 8, 11	Tempa..... 2, 3, 4, 5
Dielekt. Verlustfaktor..... 2, 3, 4, 5	Matrizen..... 13, 14, 30	Temperaturkoeffizient..... 2
Dielektrizitätskonstante..... 2, 3, 4, 5	Metallarmaturen..... 26	Temperaturkompensation..... 9
Drehen..... 11, 12, 13, 39, 40	Metalleinsparung..... 26	Trockenpressen..... 11, 12, 13, 29, 30
Druckfestigkeit..... 3	Metallhaut-Durchführungen..... 28	Trockenrisse..... 13
Durchbiegung..... 63	Metallisieren..... 23	Trockenschleifen..... 47
Durchführungen..... 7, 8	Mitteltoleranzen..... 51	Trockenschwindung..... 13, 16
Durchgangswiderstand..... 2	Mohshärte..... 3	Trücknung..... 16
Durchschlagfestigkeit..... 2	Muffelbrand..... 11, 12, 13, 20	Tunnelöfen..... 18, 19, 21
Eindrehen..... 13, 39	Musterherstellung..... 13, 19, 20	Überschleifen..... 47
Einglasieren..... 54	Naßschleifen..... 47	Vakuumröhren..... 28
Einlöten..... 25	Nietverbindungen..... 56	Variometer..... 7
Einpressen..... 56	Oberflächengüte..... 64	Verdrehung..... 63
Elastizitätsmodul..... 2	Optischer Feinschliff..... 62, 64	Verglühbrand..... 11, 12, 17
Elektrotherm. Einstauchen..... 56	Planparallelschliff..... 21, 62, 63	Verglühbearbeitung..... 11, 12, 17
Empfängerbau..... 4	Planschliff..... 62, 21, 62	Vernieten..... 26, 56
Entglümmung..... 58	Polierschliff..... 64	Verputzen..... 35
Fassungen..... 5	Pressen..... 14, 29	Verschmelzen..... 25, 28
Feinbearbeitung..... 18, 19, 21, 47	Freißguß..... 42	Verschrauben..... 34, 35
Feinschliff..... 64	Raumgewicht..... 2	Verlustfaktor..... 2, 3, 4
Feintoleranzen..... 11, 29	Ringboms..... 44	Vorschliff..... 22
Feuchtpressen..... 11, 29	Rohbearbeitung..... 11	Wärmedehnzahl..... 2
Formgebung..... 11, 12, 13	Rundöfen..... 17, 18	Werkstoffeigenschaften..... 2, 3, 4
Freidrehen..... 39	Rundschliff..... 21, 22, 62	Zielen..... 12, 14, 36
Garbrand..... 12, 13, 15, 17	Rechtwinkligkeit..... 63	Zusammengarnieren..... 13
Gewindeschneiden..... 48	Schablonen..... 14, 40	Zusammenlagern..... 12, 13, 22
Gießen..... 12, 40, 42	Scharfverglasur..... 12, 15	Zwischenbearbeitung..... 11, 17, 18, 19
Gipsform..... 14, 40, 41, 42	Scherben..... 2	Zugfestigkeit..... 3
Glasieren..... 12, 15, 16	Scherbenstärke..... 36, 42	Zylinderschliff..... 18..... 21
Glimmereinsparung..... 58	Schlagbiegefestigkeit..... 3	
Globbrand..... 12	Schleifen..... 21, 69, 64	
Grobschliff..... 64	Schleifefestigkeit..... 3	
Grobtoleranzen..... 61, 62, 64	Schleifmittel..... 21	
	Schleifringe..... 24	
	Schleifzeichen..... 64	
	Schlichter..... 12, 15, 16	
	Schmelzglasur..... 12, 15, 16	
	Schraubverbindungen..... 57	
	Segerkegel..... 17	
	Selbstglasur..... 15	
	Senderbau..... 5	
	Silberbelag..... 23	
	Spannboms..... 44	
	Spitzenloser Schliff..... 47, 62	
	Spulen..... 4, 7, 8	
	Stauchlöten..... 55, 57	
	Stangpressen..... 11, 12, 14, 35	
	Stützboms..... 45	
	Tempa..... 2, 3, 4, 5	
	Temperaturkoeffizient..... 2	
	Temperaturkompensation..... 9	
	Trockenpressen..... 11, 12, 13, 29, 30	
	Trockenrisse..... 13	
	Trockenschleifen..... 47	
	Trockenschwindung..... 13, 16	
	Trücknung..... 16	
	Tunnelöfen..... 18, 19, 21	
	Überschleifen..... 47	
	Vakuumröhren..... 28	
	Variometer..... 7	
	Verdrehung..... 63	
	Verglühbrand..... 11, 12, 17	
	Verglühbearbeitung..... 11, 12, 17	
	Vernieten..... 26, 56	
	Verputzen..... 35	
	Verschmelzen..... 25, 28	
	Verschrauben..... 34, 35	
	Verlustfaktor..... 2, 3, 4	
	Vorschliff..... 22	
	Wärmedehnzahl..... 2	
	Werkstoffeigenschaften..... 2, 3, 4	
	Zielen..... 12, 14, 36	
	Zusammengarnieren..... 13	
	Zusammenlagern..... 12, 13, 22	
	Zwischenbearbeitung..... 11, 17, 18, 19	
	Zugfestigkeit..... 3	
	Zylinderschliff..... 18..... 21	

Wir fertigen

aus unseren keramischen HF-Sondermassen
CALIT · CONDENSA · TEMPA · MANIFER
und aus bestem Hartporzellan

Für die Rundfunktechnik und den Meßgerätebau

Keramische Festkondensatoren, veränderbare Kleinkondensatoren (Scheibentrimmer), Kondensatoren mit Glimmer-Dielektrikum, Präzisionskondensatoren, Kapazitätsnormale, Grundplatten, Leisten, Röhrenfassungen, Wellenschalter, Achsen, Durchführungen, Tüllen, Nippel, Büchsen, Isolierperlen, Spulen-Trägerkörper und Spulen sowie sonstige Bauteile mit aufgebraunten leitenden Edelmetall-Belägen als Austausch für Drahtwicklungen und Leitungen.
Komplette Spulensätze für Einkreisempfänger, Superspulensätze mit und ohne Kurzwellenbanddehnung, für Lang-, Mittel- und Kurzwellenbereich, mit eingebautem Wellenschalter.
Gewindekerne, Zylinderkerne und sonstige Formen aus dem hochpermeablen Werkstoff MANIFER, Heißleiter für Rundfunk-Allstrom-Empfänger als Schutzwiderstände.
Spezialmodelle auf Anfrage.

Für den Senderbau

Hochleistungskondensatoren, Platten-, Topf- u. Wulstrohrkondensatoren, Röhrensockel, Wicklungsträger und Spulen, Ringspulen, Flach- und Zylinderspulen, Stützer, Durchführungen, Abspannisolatoren, geschliffene Achsen verschiedener Längen und Stärken mit und ohne Profil, Mastfüße für Sendetürme, Antennen-Durchführungen, keramische Kühlschlangen usw.

Für den Bau von Hochfrequenz-Generatoren für die Elektro-medizin und Anheizzwecke

Hochleistungskondensatoren, Elektroden-isolierteile, plangeschliffene Grundplatten, Montageleisten und -platten usw.



**KERAMISCHES WERK HESCHO-KAHLA
HERMSDORF/THÜRINGEN**
Fernruf 411 / Bahnstation: Hermsdorf-Klosterlausnitz

Unsere Beratung steht Ihnen jederzeit zur Verfügung

Unsere Erzeugnisse

für Hoch- und Niederspannung

Hochspannung

Freileitungs-Stützen-Isolatoren

verstärkte und durchschlagsichere Stützen-Isolatoren für Reihenspannungen bis 30 kV, Mastschalter-Isolatoren usw.

Freileitungs-Hänge- und Abspann-Isolatoren

Vollkern-Isolatoren, Langstab-Isolatoren für Höchstspannungen, Knüppel-Isolatoren, Isolatoren für elektrische Bahnen usw.

Stützer und Durchführungen sowie Apparate-Porzellan

zur Verwendung in Freiluft-Stationen und für Transformatoren, Hochspannungs-Schaltapparate, Strom- und Spannungswandler usw. Freiluft- und Innenraum-Stützer und Durchführungen für hohe und höchste Spannungen. Hochspannungs-Durchführungen mit Ölfüllung, Hochspannungseinrohr- sowie Mehrrohr-Durchführungen ohne organische Isolierstoffe.

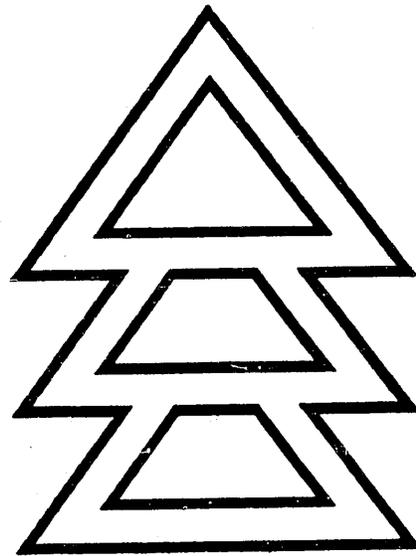
Niederspannung

Isolatoren für den Freileitungsbau, Isolierteile für Geräte und Apparate, Preß- und Drehteile für Hausinstallation usw.

Schäkel-Abspann-Eier, Fernmelde-Isolatoren, Motoren-Klemmbretter, Buchsen, Isolierperlen sowie alle Modelle nach Kundenzeichnung.



**KERAMISCHES WERK HESCHO-KAHLA
HERMSDORF/THÜRINGEN**
Fernruf 411 / Bahnstation: Hermsdorf-Klosterlausnitz



KERAMISCHE HÄNGE-ISOLATOREN FÜR HÖCHSTSPANNUNGS-FREILEITUNGEN

Dipl.-Ing. O. H. Schmidt, Versuchsfeldleiter

VEB Keramische Werke Hermsdorf

Hermsdorf/Thüringen

Dieser Artikel erschien in der Zeitschrift
„Deutscher Export“, Fachausgabe Glas und Keramik
für Industrie, Ausgabe März 1952, unter dem Titel
„Elektrokeramik von Hescho-Kahla“

STAT

VEB KERAMISCHE WERKE HERMSDORF/
HERMSDORF/THÜRINGEN



Keramische Isolatoren für Höchstspannung-Freileitungen

In einer Zeit, in der man dazu übergeht, die bisher höchste Übertragungsspannung auf Freileitungen von 220 kV auf 400 kV zu erhöhen, richtet sich das Augenmerk der Leitungsbauer mit besonderer Aufmerksamkeit auf eins der wichtigsten Bauelemente, den Hänge-Isolator. Es muß entschieden werden, welcher Isolatorentyp die größte Betriebssicherheit in elektrischer und mechanischer Hinsicht zu gewährleisten verspricht. Sicht man von der ältesten Hänge-Isolator-Type, dem Hewlet- oder Schlingen-Isolator, der immer mehr aus den Hochspannungsnetzen verschwindet, ab, so stehen heute zwei in ihrer Bauart grundsätzlich verschiedene Typen im Wettbewerb, die je nach der Einstellung des Verbrauchers bevorzugt werden:

1. der durchschlagbare Kappen-Isolatoren-Typ (Abb. 1 a),
2. der nicht durchschlagbare Vollkern-Isolatoren-Typ mit seiner modernsten Form, dem Langstab-Isolator (Abb. 1 b).

Welcher Type einmal der Vorzug gegeben wird, ist z. Z. noch nicht entschieden. Die widersprechenden, jahrzehntelangen Erfahrungen mit Kappen-Isolatoren einerseits,

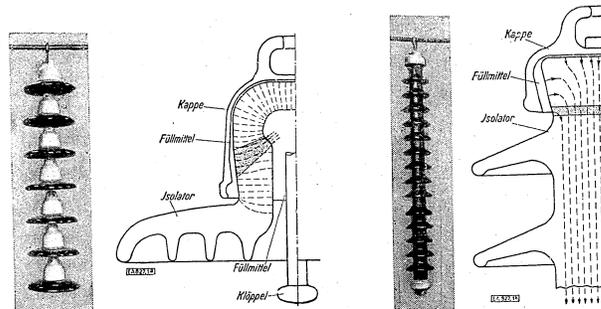


Abbildung 1a:
Durchschlagbarer Kappen-Isolatoren-Typ

Abbildung 1b: Langstab-Isolator,
die modernste Form des nicht durchschlagbaren Vollkern-Isolatoren-Typs

und die günstigen Betriebserfahrungen mit Vollkern-Isolatoren während der letzten 30 Jahre und mit Langstab-Isolatoren während der letzten 12 Jahre andererseits, lassen die Waage nach der Seite des letzteren sich neigen.

Kappen-Isolatoren

Bei der Entwicklung des Kappen-Isolators ließ man sich in erster Linie von dem Gedanken leiten, daß entsprechend den Werkstoffeigenschaften des Porzellans — hohe Drückfestigkeit und wesentlich niedrigere Zugfestigkeit — eine Zugbeanspruchung des Porzellans tunlichst zu vermeiden sei. Auf Grund der damals vorliegenden fabrikatorischen Erfahrungen strebte man gleichzeitig eine Form des Isolator-

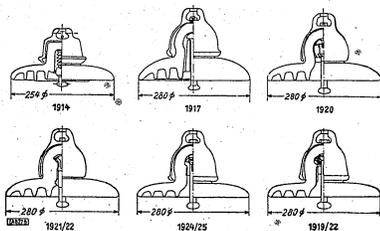


Abbildung 2: Entwicklung der Klöppelbefestigungen

Körpers an, die eine möglichst gleichmäßige Wandstärke aufwies. Durch zweckmäßige Formgebung des Isolatorenkopfes und der Klöppelbefestigung im Innern wurde eine Umwandlung der auf den Isolator wirkenden Zugkräfte in eine Druck- oder mindestens in eine Scherbeanspruchung angestrebt.

Bei den Typen mit zylindrischem Klöppelloch werden an die Festigkeit des Füllstoffes (Kitt) hohe mechanische Anforderungen gestellt, während bei den vor allem in Deutschland bevorzugten Typen mit hinterdrehtem Klöppelloch im wesentlichen das Porzellan die wirkenden Kräfte aufnehmen muß. Die Vielzahl der im Laufe der Jahre entwickelten Arten von Klöppelbefestigungen (Abb. 2) läßt darauf schließen, daß die Konstruktionen nicht vollauf befriedigten, und daß man der Schwierigkeiten durch Variationen der Klöppelkonstruktionen Herr zu werden suchte. Erst später erkannte man die Hauptschwäche des Kappen-Isolators daran, daß die mechanisch am höchsten beanspruchte Stelle, nämlich die Seitenwand des Isolatorkopfes, gleichzeitig auch die stärkste elektrische Beanspruchung auszuhalten hat. Der nach dem „Durchführungsprinzip“ aufgebaute Kappen-Isolator ist durchschlagbar, da der Durchschlagsweg bedeutend kürzer ist als der Überschlagsweg. Geringfügige Herstellungsfehler, mechanische Überbeanspruchung bei der Klöppelmontage und bei der mechanischen Stückprüfung, Treibkräfte bei der Erwärmung und damit Ausdehnung des Klöppels oder bei etwaigem Wachsen des Kitts zwischen Klöppel und Porzellan können zu feiner Haarrißbildung und damit zum Eintreten elektrischer Durchschläge nach kürzerer oder längerer Betriebszeit führen.

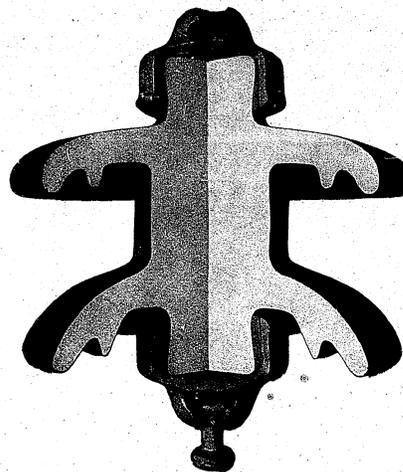


Abbildung 3:
Der dicke Porzellanscherben
des Vollkern-Isolators ist völlig
dicht und frei von inneren
Spannungen

Vollkern-Isolatoren

Bei den Vollkern-Isolatoren, deren Entstehung auf die Motor-Columbus A.G. in Baden (Schweiz) zurückgeht, und die daher auch als Motor-Isolatoren bezeichnet werden, ist man zur Zugbelastung des Werkstoffes Porzellan übergegangen. Die Entwicklung von Porzellanmassen höherer Zugfestigkeit sowie die Nutzbarmachung des verfestigenden Einflusses hochwertiger Porzellanmassen haben die Richtigkeit des damals (1919) kühnen Schrittes bestätigt. Hierzu kommen die fertigungstechnischen Verbesserungen des Herstellungs- und Brennvorganges, die es ermöglichten, den dicken Porzellanscherben völlig dicht und trotz seiner ungleichen Massenverteilung frei von inneren Spannungen durchzubrennen (Abb. 3). Elektrisch ist die Vollkern-Type, die nach dem „Stützer-Prinzip“ aufgebaut ist, dem Kappen-Isolator unbedingt überlegen. Sie ist nicht durchschlagbar, da Durchschlagsweg und Überschlagsweg nahezu gleich groß sind. Die elektrische Feldstärke in dem dicken, auf Durchschlag beanspruchten Porzellanscherben ist gering und stellt keine Gefährdung desselben mehr dar. Die Bruchflächen liegen nicht in, sondern praktisch senkrecht zu den elektrischen Feldlinien (Abb. 1b), so daß sich beim Vollkern-Isolator mechanische und elektrische Belastung nicht in ihrer Wirkung addieren. Die Einspannung des Porzellanstrunkes in die Armaturen (Kappen) erfolgt an den konisch

ausgebildeten Enden (Abb. 4) und gestattet eine kraftschlüssige Verbindung von Porzellan und Metall über ein Füllmittel, für das heute Zement oder Schmelzzement bevorzugt wird. Das Aufbleiben der Kappen hat man verlassen, da man durch das Eingießen des etwa 300° heißen Bleis Beschädigungen der Glasoberfläche an dem

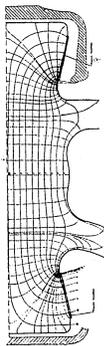
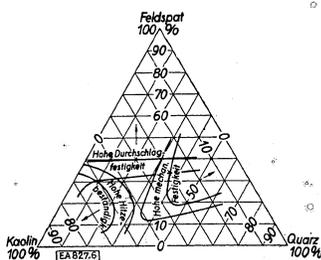


Abbildung 4: Die Einspannung des Porzellanstrunks in die Armaturen erfolgt an den honisch ausgebildeten Enden

gefährlichen Einspann-Querschnitt befürchtet. Hierauf führt man auch die gelegentlich aufgetretenen sogenannten Kältebrüche zurück und nimmt an, daß nach der Abkühlung unzulässig hohe Schrumpfspannungen im keramischen Einspannende entstanden sind, die bei niedriger Temperatur zum Bruch führen. Als Nachteil des Vollkern-Isolators gegenüber dem Kappen-Isolator wird meist der Umstand angesehen, daß bei dem ersteren die Gefahr des Vollbruches größer ist als bei den Kappen-Isolatoren mit hinterdrehtem Klöppelloch, bei denen es nur dann zum Vollbruch der Kette kommt, wenn der Klöppel reißt oder der Isolator beim Durchschlag mit nachfolgendem Lichtbogen auseinanderschmilzt. Diese Befürchtung hat sich als übertrieben erwiesen, wie die praktischen Betriebserfahrungen, über die noch zu sprechen ist, bewiesen haben.

Abbildung 5: Das Dreieck-Diagramm zeigt die Abhängigkeit der Materialeigenschaften von der Zusammensetzung des Porzellans



Langstab-Isolatoren

Auf Grund der günstigen Betriebserfahrungen mit Vollkern-Isolatoren und Stab-Isolatoren, wie sie in Bahnanlagen bevorzugt Verwendung gefunden haben, sowie der inzwischen erreichten fertigungs- und brenntechnischen Fortschritte, wurden als modernste Isolatorentart um 1938 die Langstab-Isolatoren geschaffen mit dem Ziele, mehrgliedrige Ketten durch einen einzigen starren Isolator zu ersetzen.

Wie aus dem bekannten Dreieck-Diagramm über die Abhängigkeit der Materialeigenschaften von der Zusammensetzung des Porzellans (Abb. 5) hervorgeht, wird hohe mechanische Festigkeit durch den Quarzanteil, hohe elektrische Festigkeit durch den Feldspatanteil bestimmt. Bei ein und derselben Massenzusammensetzung können Höchstwerte für beide Eigenschaften, wie sie der durchschlagbare Kappen-Isolator gleichzeitig erfordert, nicht erreicht werden. Da die elektrische Beanspruchung des Porzellans im Vollkern- und Langstab-Isolator von untergeordneter Bedeutung ist, konnte man darauf gehen, die für die Langstab-Herstellung verwendeten Porzellanmassen auf hohe mechanische Festigkeit zu züchten.

Die infolge der geringeren Schirmausladung gegenüber dem Vollkern-Isolator wesentlich schlankere Form des Langstabes läßt bei gleichem Strunkdurchmesser geringere innere Wärmespannungen beim Brennen erwarten. Die einwandfreie Fertigung von Langstab-Isolatoren setzt allerdings eine sorgfältig abgestimmte Brandführung voraus, die einerseits zu hohes Ausbrennen, welches einen glasigen, mechanisch weniger festen Scherben bewirkt, und andererseits aber auch zu schwaches Brennen vermeidet, welches Porosität und damit mindere elektrische Qualität zur Folge haben würde. Da das Brennintervall also relativ klein ist, müssen durch eine strenge Prüfung auf Porosität — sei es durch die Fuchsin-Druckprobe an den Bomsen oder in Zukunft nach dem kürzlich bekanntgewordenen Ultraschall-Verfahren, das in der Heschow entwickelt wurde — poröse Stücke ausgeschieden werden, während eine sorgfältige mechanische Stückprüfung die zu scharf gebrannten Stücke ausscheiden wird.

Ein wesentlicher Unterschied des Langstab-Isolators gegenüber allen anderen Hänge-Isolatoren ist seine große Baulänge. Er wird infolgedessen bei auftretenden Biegekräften stärker auf Biegung beansprucht, als die kurzen Einzelglieder von Isolatorenketten. Wie die Betriebserfahrungen zeigen, sind die auf der Leitung auftretenden Biegekräfte, über deren Größe noch Unklarheit zu bestehen scheint, im allgemeinen überschätzt worden. Eine Gefährdung durch sie tritt nicht ein, zumal die in Versuchen festgestellten Biegebruch-Festigkeiten mit 600 bis über 800 kg pro cm² sehr hoch liegen. Trotzdem wird es zweckmäßig sein, darauf zu achten, daß die Aufhängung nach allen Seiten beweglich ist, eine Forderung, die bisher bei Isolatorenketten beliebiger Isolatorentart auch immer gestellt worden ist. Beim Einhängen an die Mast-Traversen aufgetretene Brüche von Langstab-Isolatoren fanden stets ihre Ursache in Montagefehlern oder in Fehlern der verwendeten Vorrichtungen.

Beachtlich sind auch die durch den Langstab-Isolator erzielbaren Gewichtseinsparungen an Porzellan und insbesondere an Metall (Temperguß, Stahl). In der Tabelle 1 sind die entsprechenden Zahlen für eine 110-kV-Kette aus Kappen-, Vollkern- und Langstab-Isolatoren einander gegenübergestellt. Der Langstab wiegt nur etwa halb soviel wie eine elektrisch gleichwertige Kappen-Isolatorenkette und bringt eine nahezu 80 prozentige Einsparung an Metall mit sich.

Tabelle 1: 110-kV-Isolatorenkette aus Kappen-, Vollkern- und Langstab-Isolatoren

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Isolatortyp	Stückzahl der Kette	Gewicht der Kette	Gewicht der Kappen- und Köpfe (7)	Porzellangewicht	Gewicht in % vom Gewicht der K 3-Kette	Metallverbr. in % vom Metallverbr. der K 3-Kette	Mindestbruchlast nach DIN	Dauerlast 1 Jahr nach DIN	Mindest Regenüberschlagsspannung
		kg	kg	kg	%	%	kg	kg	kV
Kappen-Isolator K 3	7	45	16	26	100	100	7000	3600	265
Vollkern-Isolator VK 75	4	50	2,2	38	III	76,5	6200	4600	320
Langstab-Isolator L 75/14	1	23	3,3	19	51	20,6	6200	4000	315

*) Ohne Auhängeöse, Stülklemme oder Schutzarmaturen

Die elektrische Bemessung der Hängeketten

In den VDE-Vorschriften ist für die Bemessung der Freileitungs-Isolatorenketten der Mindestwert der Regenüberschlagsspannung festgelegt. Dabei wird freigestellt die Mindestregenüberschlagsspannung nach der

strengen VDE-Formel: $U_{\bar{a}} = 1,1 (2 U_B + 20) \text{ kV}$ oder nach der

milden VDE-Formel: $U_{\bar{a}} = 1,1 (2 U_B + 10) \text{ kV}$

zu ermitteln. Im Ausland gilt, wenn die Vorschriften der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (JEC) zugrunde gelegt werden, die

JEC-Formel: $U_{\bar{a}} = 1,05 (2 U_B + 10) \text{ kV}$.

Eine Mindestschlagweite, wie sie für Hochspannungsgeräte in den VDE-Vorschriften verankert ist, oder ein Mindestwert der Überschlagsspannung ist bis jetzt nicht vorgeschrieben. Praktische Erfahrungen zeigen, daß bei Anwendung von

Lichtbogenschutzarmaturen ein Sinken des Stoßpegels des Netzes auftreten kann, vor allem, wenn bei der Isolationsbemessung an die untere Grenze der Regenüberschlagsspannung herangegangen wird. Es ist daher angeregt worden, auch für die Freileitungsisolatoren Mindestschlagweiten festzulegen. Bei den Langstab-Isolatoren ist dies im Zuge der Typenbeschränkung (1943) in gewissem Sinne bereits erfolgt, als man bestimmten Betriebsspannungen bestimmte Schirmzahlen und damit Baulängen der Langstab-Isolatoren zuordnete. Tabelle 2 bringt eine Zusammen-

Tabelle 2: Genormte Langstab-Isolatoren nach DIN 48 012

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kennzeichen	Schirmzahl	Strukturdurchmesser	Baulänge	Mindestbruchlast	Stück-Prüflast	Dauerlast 1 Jahr	Mindest Regenüberschlagsspannung	Stoßspannung	Höchstzulässige Nennspannung gemäß strenger VDE-Formel
		mm	mm	kg	kg	kg	kV	kV	kV
L 60/7	7	60	525	4200	3600	2300	100	200	50
L 75/9	9	75	695	6200	5000	4600	200	400	60
L 75/14	14	75	1270	6200	5000	4600	315	680	110
L 85/14	14	85	1305	8000	6800	6000	315	680	110

stellung der in Deutschland genormten Langstab-Isolatoren und ihrer wichtigsten Kennwerte. Zu den in Spalte 7 eingetragenen Dauerlastwerten ist zu bemerken, daß diese für Vollkern- und Langstab-Isolatoren neuerdings auf Grund der günstigen Betriebserfahrungen heraufgesetzt wurden.

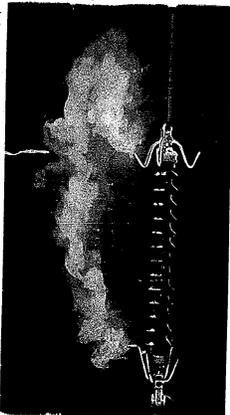


Abbildung 6: Die Schutzhornkreuz-Armatur ist im praktischen Betrieb gut bewährt

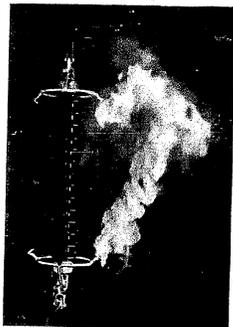


Abbildung 7: Eine vorzuleistende Weiterentwicklung sind die Ösenringe

Lichtbogenschutzarmaturen

Kappen- und Vollkernisolatorenketten neigen stark zu Kaskadenüberschlägen, da die zwischen den einzelnen Gliedern vorhandenen Metallarmaturen den Vorentladungen sowie den Überschlagslichtbögen Ansatzpunkte bieten. Die Lichtbögen verlaufen daher nahe der Porzellanoberfläche und gefährden die Isolatoren durch ihre starke thermische Wirkung. Bei Auftreten von Überschlagslichtbögen ist die Gefahr des Vollbruches bei Vollkern-Isolatoren größer als bei Kappen-Isolatoren. Der Langstab-Isolator stellt aber einen wesentlichen Fortschritt dar, da Zwischenarmaturen in der eigentlichen Isolierstrecke, wie sie bei Vollkern- und Kappenisolatorenketten vorhanden sind, vollkommen vermieden werden und damit die Gefahr des Kettenbruches durch die Wirkung des Kaskadenlichtbogens stark vermindert wurde. Durch den Wegfall der Zwischenarmaturen in der Isolierstrecke bietet der Langstab-Isolator überhaupt erst die Möglichkeit, einen wirksamen Lichtbogenschutz zu entwickeln. Die in Gemeinschaftsarbeit führender deutscher Isolatorenfabriken entwickelten Lichtbogenschutzarmaturen für Langstab-Isolatoren besitzen eine elektro-magnetische Richtwirkung auf den Lichtbogen, die um so wirk-

samer ist, je größer der Lichtbogenstrom wird. Eine sinnvolle Ausbildung der Armaturenform sorgt dafür, daß der Lichtbogen möglichst schnell vom Isolator und vom Leitungsseil ferngehalten wird.

Bei Verwendung von einzelnen Langstäben, z. B. für 110 kV Betriebsspannung haben sich die sog. Schutzhornkreuz-Armaturen (Abb. 6) im praktischen Betrieb gut bewährt. Die noch nicht zu größerem Einsatz gekommenen Ösenringe (Abb. 7) stellen eine Weiterentwicklung dar und bieten weitere Vorteile. Der Ösenring umschließt mit seinem ringförmigen Teil den Isolator lückenlos und nimmt an der Oberfläche des Isolators entstehende Lichtbögen mit Sicherheit ab. Die Ausbildung der Endbremsstellen für den Lichtbogen als Ösen verhindert einen zu starken Abbrand, wie er bei Schutzhornkreuzen verschiedentlich beobachtet wurde.

Praktische Betriebserfahrungen mit Langstab-Isolatoren

Langstab-Isolatoren sind seit etwa 12 Jahren in Freileitungen bis 110 kV Betriebsspannung in größter Stückzahl verwendet worden (Abb. 8). Nach den bisher erfolgten Lieferungen der Isolatorenfabriken wird sich die Zahl schätzungsweise zwischen 150 000 und 200 000 Stück bewegen. Allein im Netz des Bayernverkes waren Ende 1950 auf etwa 1200 km Leitungslänge über 30 000 Stück, am Österreichischen Verbundnetz nahezu 18 000 Stück eingebaut. Sie wurden sowohl als Trag- wie als Abspann-Isolatoren mit bestem Erfolg verwendet und haben auch unter schwierigen Betriebsbedingungen, z. B. in 2000—2500 m Seehöhe, ihre Bewährungsprobe bestanden. Die bisher bekannt gewordenen Betriebsergebnisse haben die an sie geknüpften Erwartungen vollauf bestätigt. Die Ausfallziffern sind außerordentlich gering und die Ausfälle fast ausschließlich auf äußere Ursachen zurückzuführen.

Nach Ansicht maßgebender Fachleute sind sie trotz höheren Preises wirtschaftlicher als mehrgliedrige Kappen- oder Vollkern-Isolatorenketten und werden sich daher in Zukunft immer mehr durchsetzen.

Langstab-Isolatorenketten für Höchstspannungen

Der Langstab-Isolator ist in einem Glied nur für Betriebsspannungen bis 110 kV, höchstens bis 150 kV ausreichend. Nach seiner guten Bewährung als Einzelstab in 110-kV-Freileitungen dürfte seine Verwendung für höhere Spannungen in zwei- oder

mehrgliedrigen Ketten kein besonderes Risiko mehr bedeuten. Unter Zugrundelegung der genormten 14-schirmigen Typen L 75/14 bzw. 85/14 ergeben sich für eine Betriebsspannung von

- 220 kV: zweigliedrige Langstabsketten (Abb. 9),
- 400 kV: dreigliedrige Langstabsketten (Abb. 9).

Wie die Tabelle 3 ausweist, erreichen die 220-kV-Langstabsketten eine Regenüberschlagsspannung, die den Mindestwert nach der strengen VDE-Formel übersteigt, während für die 400-kV-Ketten eine Mindestregenüberschlagsspannung von 885 kV,

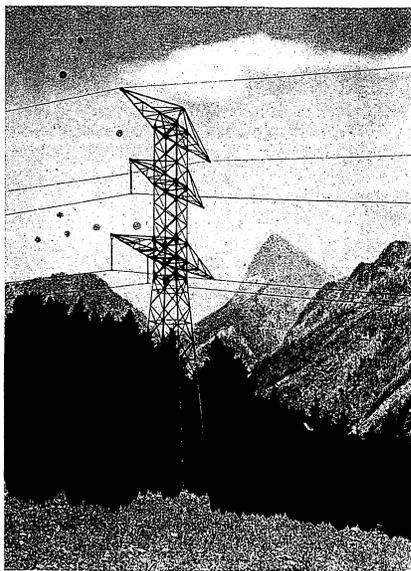


Abbildung 8: 110-kV-Leitung mit Hängeketten aus Langstab-Isolatoren L 75/12

d. h. ungefähr dem Mindestwert nach der milden VDE-Formel entsprechend, ermittelt wurde. Da man bei den 400-kV-Systemen, die wahrscheinlich mit starrer Sternpunktterdung betrieben werden, die strenge VDE-Formel kaum anwenden

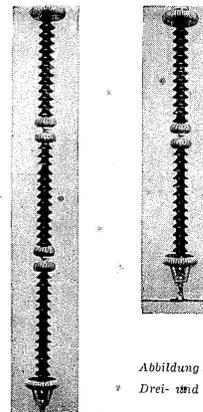


Abbildung 9: Drei- und zweigliedrige Langstabsketten

Tabelle 3: Regenüberschlagsspannungen von 220-kV- und 400-kV-Langstabsketten

Betriebsspannung kV	Gliedzahl	Type	Mindestregenüberschlagsspannung			
			nach VDE streng kV	nach VDE mild kV	nach IEC kV	nach Messung kV
220	2	L 75/14 oder L 85/14	554	495	473	595
400	3	L 75/14 oder L 85/14	990	891	851	885

wird, sind die mit der dreigliedrigen Langstabskette erreichbaren Regenüberschlagswerte als durchaus ausreichend anzusehen. Bei Anwendung genügend abgerundeter Armaturen, vor allem am spannungsführenden Ende der Kette, werden Glimmfrei-

heit und Rundfunkstörfreiheit gewährleistet, wie eingehende Laboratoriumsversuche erwiesen haben. Eine Durchschlagsgefährdung einzelner Glieder, wie sie bei zu großem Spannungsanteil der Einzelglieder bei Kappen-Isolatorenketten u. U. möglich ist, besteht überhaupt nicht. Dauerentladungsbilder zeigen, daß die mit abgerundeten Armaturen versehenen Zwischenkappen keine sichtbaren Entladungen aufweisen, selbst bei Spannungen, die nahe der Überschlagsspannung liegen. Die Langstab-Isolatorenketten weisen also diesen Nachteil der Vollkern- und Kappen-Isolatorenketten nicht auf. Die 220-kV-Langstabskette besitzt nur eine, die 400-kV-Kette nur noch zwei Metallzwischenarmaturen innerhalb der Isolierstrecke (Abb. 9). Die im Versuchsfeld der Hescho entwickelten Kammwulstarmaturen oder Schutz-

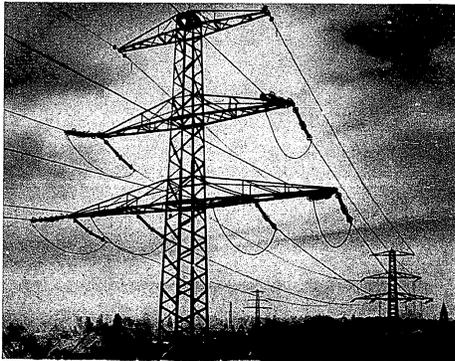


Abbildung 10: Mit zweigliedrigen Langstabketten ausgerüstete 220-kV-Leitung

körbe stellen für die mehrgliedrigen Langstabketten einen wirksamen Lichtbogenschutz dar, der etwa entstehende Kaskadenlichtbögen sehr schnell von den Isolatorenoberflächen abnimmt und schließlich zu einem zwischen den beiden Endarmaturen brennenden Lichtbogen vereinigt, der die Zwischenarmaturen nicht mehr berührt.

Die Entwicklung einer Spezialtype mit doppelter Schirmzahl bei gleicher Baulänge als Nebel- und Schmutz-Langstab gestattet auch die Verwendung der Langstab-Isolatoren in Schmutzgebieten. Dadurch sind die Langstabketten auch den Vollkernketten überlegen, deren Überschlagsspannung bei Verschmutzung relativ niedrig liegt.

Eine Anzahl von 220-kV-Leitungen in Deutschland und Österreich sind bereits mit zweigliedrigen Ketten aus Langstäben L 85/14 ausgerüstet und mit bestem Erfolg in Betrieb (Abb. 10). Die Voraussetzungen für die Anwendung von Langstab-Isolatorenketten auf Freileitungen für 400 kV sind geschaffen und die Inbetriebnahme von Versuchsstrecken bereits in Vorbereitung.

LITERATURVERZEICHNIS

Dr.-Ing. Fritz Obenaus

Durchschlagbare oder nichtdurchschlagbare Freileitungs-Isolatoren für Hoch- und Höchstspannungen (Hescho-Mitteilungen Heft 86/1944).

Dr.-Ing. Fritz Obenaus

Der Lichtbogen-Vollschutz von Langstabisolatoren. Gemeinschaftsarbeit der Firmen Brown, Boveri u. Ci. AG, Hescho, Rosenthal-Isolatoren G. m. b. H., Steatit-Magnesia (Sonderdruck der Hescho).

Dr.-Ing. Fritz Obenaus

Grundlegende elektrische und mechanische Versuche an Langstabisolatoren aus Porzellan (Hescho-Mitteilungen Heft 78/79/1938).

Hans Meyer

Die Isolation von Höchstspannungsfreileitungen (ETZ Heft 9, 69. Jahrgang, September 1948).

Exportinformation erteilt Deutscher Innen- und Außenhandel - Keramik -
Berlin - N 113, Stolpische Straße 37, Fernruf 44 01 91, Telegr.: Diakeramik

Genehmigt durch das Ministerium für Außenhandel und Innerdeutschen Handel
der Regierung der Deutschen Demokratischen Republik unter TRPT.-Nr. 11422/52

Satz und Druck: Tribüne Druckerei III Leipzig III/18/36 ZL 1-15-757 7.52 1500



VEB KERAMISCHE WERKE HERMSDORF · HERMSDORF (THÜRINGEN)

Keramik als Bauelement des Maschinenbaus

Von Dipl.-Ing. O. H. Schmidt
VEB Keramische Werke Hermsdorf
Hermsdorf (Thüringen)

STAT



Sonderdruck aus der Zeitschrift „Die Technik“, 8. Jg., Heft 10, Oktober 1953

STAT

Keramik als Bauelement des Maschinenbaus

DK 666,3/7

Von Dipl.-Ing. O. H. SCHMIDT/ VEB Keramische Werke Hermsdorf, Hermsdorf (Thüringen)¹⁾

Dem Maschinenbau sind die vorwiegend auf heimischer Rohstoffbasis beruhenden keramischen Werkstoffe im wesentlichen noch fremd, obwohl sie mannigfaltige Möglichkeiten zur Einsparung von Engpaßmaterialien bieten. Der Beitrag behandelt die charakteristischen Eigenschaften dieser Werkstoffe, die aus ihnen resultierenden Konstruktionsprinzipien sowie die Möglichkeiten der Bearbeitung und Veredlung von keramischen Bauteilen. An Hand von Anwendungsbeispielen werden Anregungen für eine umfangreichere Verwendung keramischer Werkstoffe im Maschinenbau gegeben.

Der Verbrauch von Schwarz- und Buntmetallen ist in der ganzen Welt von Jahrzehnt zu Jahrzehnt im rapiden Steigen begriffen. Die deutsche Rohstoffdecke ist sehr knapp, so daß der Metall- bzw. Erzbedarf zu einem wesentlichen Teil aus Einfuhren gedeckt werden muß, also einen hohen Devisenaufwand erfordert; es muß daher immer wieder der Einsparung von Eisen und Buntmetallen größte Beachtung geschenkt werden. Einmal muß durch konsequente Anwendung des Leichtbaus jedes gedankenlose Zuviel an Werkstoff vermieden werden, da dieses Zuviel an einer untergeordneten Stelle ihn einer wichtigeren Verwendungsmöglichkeit entzieht. Zum anderen müssen insbesondere Engpaßmaterialien durch Austauschwerkstoffe auf heimischer Rohstoffbasis ersetzt werden. Zu diesen nicht metallischen Werkstoffen auf heimischer Basis gehören die keramischen Werkstoffe, deren Verwendungsmöglichkeit speziell im Maschinenbau einer grundsätzlichen Erörterung bedarf, nachdem die Elektrotechnik und die chemische Verfahrenstechnik sich schon seit Jahrzehnten der keramischen Werkstoffe mit bestem Erfolg bedienen. Es gibt bereits so kühne Anwendungsbeispiele keramischer Werkstoffe auf verschiedenen technischen Gebieten, daß die Zurückhaltung des Maschinenbaus in dieser Frage eigentlich verwunderlich ist.

Grundsätzliche Fragen des Werkstoffaustausches

Grundsätzlich ist zum Problem des Werkstoffaustausches zu sagen, daß es in der Technik Werkstoffumstellungen zu

jeder Zeit gegeben hat und auch immer geben wird. Sie können entweder durch die Entwicklung neuer, geeigneterer Werkstoffe oder auch durch den Zwang, aus Rohstoffmangel auf andere Werkstoffe auszuweichen, hervorgerufen sein. Der letztere Fall hat die zur Anwendung kommenden Austauschwerkstoffe durch die Kennzeichnung als „Ersatzwerkstoffe“ vielfach in den Verdacht der Minderwertigkeit gegenüber den bisher gebräuchlichen Werkstoffen kommen lassen. Zu dieser weitverbreiteten Ansicht haben zweifellos Mißerfolge beigetragen, die aus Versuchen an untauglichen Objekten oder noch mehr aus einer dem Austauschwerkstoff nicht gerecht werdenden Ausbildung herrührten. Diesen falschen Anwendungen von Austauschwerkstoffen liegt meistens als Ursache zugrunde, daß man sich nicht entschließen konnte, mit neuen Werkstoffen entsprechend neue konstruktive Wege zu gehen. Man kann die bisherige Gestaltung des im Werkstoff umzustellenden Teiles fast nie ohne Änderung übernehmen, man muß vielmehr eine neue Gestaltung, die werkstoff- und fertigungsgerecht ist, suchen und entwickeln, selbst wenn dabei auch noch andere Teile, die sich in einem funktionellen Zusammenhang mit den umzustellenden Teilen befinden, den neuen Gegebenheiten anzupassen sind. Man muß also, um zum Erfolg zu kommen, den Eigentümlichkeiten des Austauschwerkstoffes Rechnung tragen und neu denken und handeln.

Dies setzt eine genaue Kenntnis der spezifischen Eigenschaften des Austauschwerkstoffes und der ihm eigentümlichen Fertigungsarten und Bearbeitungsmöglichkeiten voraus. In dieser Beziehung sind bisher die keramischen Werkstoffe sehr stiefmütterlich behandelt worden. Denn welcher

¹⁾ Für die Veröffentlichung bearbeitet nach einem Vortrag des Verfassers vor der Kammer der Technik, Groß-Berlin, Fachverband Maschinenbau am 5. Februar 1953. S. a. O. Naumann: Porzellan und Keramische Sondermassen als Technische Werkstoffe. Die Technik 2 Jg. (1947) H. 9, S. 385 bis 392.

Tafel 1. Eigenschaftswerte keramischer Werkstoffe

Werkstoff	Gruppe nach DIN 40685	Spez. Gewicht kg/dm ³	Zug-	Druck-	Biege-	Schlag-	Elastizitäts-	Mohs-	Lineare	Wärme-
			festigkeit kg/cm ²	festigkeit kg/cm ²	festigkeit kg/cm ²					
									dehnzahl m/m °C in 10 ⁻⁶	keit kcal/h m °C
Hartporzellan gls. ungl.	100	2,3 ... 2,5	300 ... 500 250 ... 350	4500 ... 5000 4000 ... 4500	600 ... 1000 400 ... 700	1,8 ... 2,2	≈ 0,7 · 10 ⁶	7 ... 8	3,5...4,5	1,0...1,4
Steatit gls. ungl.	200	2,6 ... 2,8	600 ... 950 450 ... 600	8500 ... 9500 8500 ... 9500	1200 ... 1400 1200 ... 1400	3 ... 5	≈ 1,1 · 10 ⁶	7 ... 8	7...9	2,0...2,4
Sondersteatit gls. (Kalit, Elit usw.) ungl.	200	2,6 ... 2,8	600 ... 950 450 ... 600	9000 ... 10000 9000 ... 10000	1400 ... 1600 1490 ... 1600	4 ... 5	≈ 1,1 · 10 ⁶	7 ... 8	6...8	2,0...2,4
Steinzeug		2,1 ... 2,5	100 ... 180	1500 ... 4000	250 ... 600	1,5 ... 1,9	0,16...0,65 · 10 ⁶	7	3,8...5,8	1,1...1,4
Ardesten	400	2,1 ... 2,2	250 ... 350	3000 ... 5000	500 ... 850	1,8 ... 2,2		7 ... 8	1,1...1,5	1,7...2,0
Massen mit hohem Al ₂ O ₃ -Gehalt (z. B. Pyrolan)	600	2,6 ... 3,3		≧ 7000	1200 ... 1500	3 ... 5		8 ... 9	2,5...4	2...10
Oxydkeramik (z. B. Sinterkorund)	700	3,6 ... 3,9	≈ 350	≧ 10000	2000 ... 3000	3 ... 5	≈ 2,3 · 10 ⁶	9	4,6...6,0	16...20

Die Zahlenwerte sind an Prüfkörpern und nach VDE 0335 ermittelt worden. Sie können nicht ohne weiteres auf Prüfkörper und Stücke anderer Form und Größe übertragen werden.
gls. = glasiert, ungl. = unglasiert

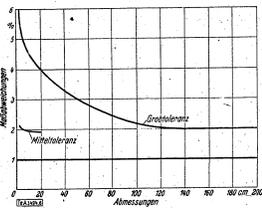


Bild 6. Toleranzen für Keramiktelle nach DIN 49 680

Form und Größe sowie die physikalischen und chemischen Eigenschaften der keramischen Teile bestimmen.

Der Brennprozess stellt an die Gestaltung der Teile bestimmte Forderungen, da bei der Sintertemperatur die Masse in einen teigartigen Zustand übergeht, so daß Verformungen erheblichen Umfangs auftreten können, wenn diesem Faktor nicht konstruktiv Rechnung getragen wird oder besondere Maßnahmen getroffen werden. Je nach der Form und Art der Stücke werden diese im Ofen stehend oder hängend gebrannt. Ausladende Teile bedürfen einer besonderen Unterstützung oder Führung. Diese „Bomse“ müssen die gleiche Schwindung besitzen wie das Stück selbst, also aus der gleichen Masse sein. Allgemein ist festzustellen, daß gewölbte Flächen sich im Brand besser verhalten und daß ebene Flächen zum Einfallen neigen. Daher bevorzugt die Keramik gewölbte Flächen, d. h. allgemein solche Formen, die im Brand die notwendige Steifigkeit behalten. Wenn auch die Brennmethoden heute ermöglichen, große Wanddicken und massive Teile einwandfrei zu brennen, so soll man sich doch davor hüten, stark unterschiedliche Wanddicken aneinandersetzen zu lassen, da an den Stoßstellen leicht Ribbildung beim Trocknen und Brennen eintritt. Außerdem können unterschiedliche Wanddicken auch zu starken inneren Spannungen führen, die sich dann bei mechanischer oder thermischer Belastung ungünstig auswirken. Bild 3 bis 5 zeigt nach der Methode „Falsch-Richtig“ einige Beispiele. Bei der Vielfalt der Formen lassen sich keine allgemein gültigen Regeln angeben. Zur Erzielung einer technologischen Beilegung gehört neben großer Erfahrung in der keramischen Fertigung auch oft noch die Durchführbarkeit eingehender Versuche.

Keramische Teile werden sowohl glasiert als auch unglasiert ausgeführt. Für Hartporzellan (und teilweise auch für Steatit) verwendet man Schafferglasuren, die bei etwa 1400°C ausbleichen und die nahezu die gleichen chemischen Grundstoffe wie der Werkstoff Hartporzellan selbst besitzen. Bei Steatiten verwendet man in erster Linie sog. Schmelzglasuren mit einer Ausschmelztemperatur von 800 bis 900°C, die in einem besonderen Schmelzbrand aufgebracht werden. Die Glasuren werden durch Tauchen oder Spritzen auf den getrockneten oder geglihten Keramikkörper aufgetragen. Bei sämtlichen Formkörpern ist es notwendig, die Auflage- oder Brennkapseln oder in den Bomsen festbrennen. Mit Hilfe der Schmelzglasuren kann man auch Körper verwickelter Formgebung durch Zusammenglasieren aus einzeln hergestellten Teilen fest miteinander verbinden, wobei derartige Teile vor dem Zusammenglasieren auch eine Schleifbearbeitung erhalten können. Hierdurch ist es möglich, komplizierte Teile großer Maßgenauigkeit herzustellen. Allerdings haben zusammengesetzte Verbindungsstellen keine so große Festigkeit wie ein homogener Keramikkörper.

Die Schafferglasuren stehen unter Druckspannung auf dem Porzellanflächen und erhöhen die mechanische Festigkeit wie auch die Temperaturwechselbeständigkeit, da die in ihnen herrschenden Druckspannungen von den auftretenden

Beanspruchungen erst abgebaut werden müssen, wodurch ein Teil der wirksamen Spannungen bereits verzehrt wird. Glasierte Keramiktelle haben also eine größere mechanische Festigkeit.

Die Glasuren verleihen dem keramischen Werkstück eine glatte glänzende Oberfläche, die für viele Anwendungsgebiete besondere Vorzüge mit sich bringt. An diesen glatten Oberflächen können sich Schmutz und Verunreinigungen nur schwer festsetzen. Es ist also eine leichte Sauberhaltung möglich, so daß die Verwendung glasierter Teile vor allem in der chemischen Industrie, in der Nahrungsmittelindustrie und vom hygienischen Standpunkt auch in der medizinischen Apparate-Technik gegeben ist. Innen glasierte Rohrleitungen besitzen kleine Reibungswiderstände.

Unglasierte Teile haben eine schwach raue Oberfläche. Wenn man auf die Ausnutzung der Vorräte glasierter Oberflächen verzichten kann oder aus irgendwelchen Gründen glaubt verzichten zu müssen, kann man die Keramiktelle in unglasierter Ausführung durch Spachteln und Lackieren in gleicher Weise behandeln, wie man es z. B. von Gußeisenteilen her gewohnt ist. Die Haftfestigkeit der Lackstriche auf den unglasierten Oberflächen ist sehr gut.

Das aus der Schwindung resultierende Toleranzproblem

Mit der im Brand vor sich gehenden chemischen Umwandlung ist eine Erhöhung des spezifischen Gewichtes bzw. ein Schwindungsvorgang verbunden. Diese Schwindung tritt als Trocken- und Brennwindung auf und ist von verschied-

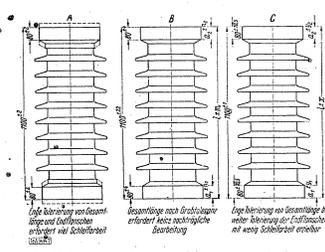


Bild 7. Tolerierung von Längemaßen an einem Beispiel eines Hochspannungsisolators

den Faktoren abhängig: Massezusammensetzung, Korngröße, Brenntemperatur, Wassergehalt der Masse bei der Verarbeitung und damit also auch vom Rohfertigungsverfahren. Sie beträgt bei Porzellan 16 bis 20% und unterliegt gewissen Schwankungen, die sich in einer mehr oder minder großen Toleranz der Abmessungen des fertig gebrannten Stückes ausdrücken. Dieses Schwindungsproblem ist vom konstruktiven Standpunkt aus von großer Bedeutung.

Auf Grund von Erfahrungswerten sind die Toleranzen für keramische Teile in DIN 40680 festgelegt. Sie erscheinen dem vornehmlich in metallischen Werkstoffen denkenden Konstrukteur beachtlich hoch und bereiten ihm viel Schwierigkeiten. Man darf aber nicht vergessen, daß bei Metallgüß nur Gesamtschwindungen von 1 bis 2% auftreten gegenüber 20% bei keramischen Werkstoffen, und daß daher Schwindungsschwankungen sich bei letzteren viel stärker auswirken müssen. Sie können in vielen Fällen ohne weiteres in Kauf genommen werden, können aber überall da Schwierigkeiten bereiten, wo keramische Teile miteinander oder mit Teilen aus anderen Werkstoffen in funktionalen Zusammenhang treten. Es ist daher Aufgabe des Konstrukteurs, die Toleranzbedingungen genau zu prüfen und nötigenfalls durch geeignete Maßnahmen konstruktiver Art einen Ausgleich der keramisch bedingten Toleranzen herbeizuführen.

Nach DIN 40680 unterscheidet man Grob- und Mitteltoleranzen (Bild 6). Die Grobtoleranz gilt für die Rohfertigungsverfahren: Drehen, Gießen, Strangpressen, Trockenpressen sowie Trocken- und Verflüßbearbeitung. Auf diese Zuordnung der Grob- und Mitteltoleranzen zu bestimmten Rohfertigungsverfahren sei ausdrücklich hingewiesen; die Toleranz der Abmessungen eines Keramiktells kann nicht losgelöst vom Herstellungsverfahren festgelegt werden.

Das durch die große Schwindung keramischer Werkstoffe hervorgerufene Toleranzproblem tritt bei metallischen Werkstoffen nicht in gleicher Schärfe auf. Falsche Tolerierung bestimmter Abmessungen eines Keramikkbauteils kann große Fertigungsschwierigkeiten, hohe Ausschulzahlen oder stark verteuerte Bearbeitungen (nach dem Brand) zur Folge haben. Dies sei an einigen Beispielen, die der Elektrokeramik entnommen sind, sich aber auf andere Keramiktelle sinngemäß übertragen lassen, erläutert.

Hochspannungsisolatoren aller Art werden häufig an ihren Enden mit Metallarmaturen versehen, z. B. durch Kittung unter Zuhilfenahme von Riffelung. Bild 7 zeigt drei markante Fälle. Im Fall A wird neben einer engen Toleranz der Gesamtlänge auch eine enge Toleranz der Endflanschhöhen verlangt. Bei einer keramisch bedingten Toleranz der Gesamtlänge in Höhe von ± 2% müssen zur Einhaltung dieser Forderung auf beiden Seiten jedes Endflansches Bearbeitungszugaben gemacht werden. Durch Abschneiden auf die geforderte Gesamt-

Tafel 2. Abmaße und Durchbiegung bei Schlift

Formstück	Schliffart				Durchbiegung
	< 50 mm Dmr.	Rundschliff 50-100 mm Dmr.	> 100 mm Dmr.	Flächenschliff	
Achsen	± 0,02	± 0,05	± 0,1	± 0,1	0,03/100 mm ab 700 mm lang 0,04/100 mm ab 700 mm lang
Rohre	Dmr. außen ± 0,02 Dmr. innen ± 0,05	± 0,05 ± 0,1	± 0,1 ± 0,2	± 0,1	0,03/100 mm ab 700 mm lang 0,04/100 mm ab 700 mm lang
Platten	—	—	—	± 0,1	0,03/100 mm

Bei Riffelung der Endflansche kann dies bedeuten, daß für den Minimalausfall der Gesamtlänge die Riffelung auf der Armatur heraussieht und für den Maximalausfall der Gesamtlänge die Riffelungshöhe so klein wird, daß die Festigkeit der Kittung in Frage gestellt wird. Man muß dabei die Höhe der Endflanschen so bemessen, daß auch bei Maximalausfall eine gewisse Mindesthöhe der Riffelung eingekittet werden kann. Wenn also Gesamtmaße und Teilmaße in ein gegenseitiges Verhältnis gesetzt werden sollen, ist mit Rücksicht auf die Schliffkosten die Tolerierung der einzelnen Maße sorgfältig abzuwägen.

Die Längentoleranzen lassen sich im allgemeinen noch ganz gut durch konstruktive oder bearbeitungstechnische Maßnahmen beherrschen. Schwieriger liegen die Verhältnisse bei der Tolerierung der Durchmesser, wenn zu hohe Schliffkosten vermieden werden sollen. Bei abgitterten Armaturen ergeben sich durch die Durchmesser-toleranz der Keramiktelle und die Durchmesser-toleranz der metallischen Armaturen oft recht unterschiedliche Dicken der Kittschicht. Bei Maximalausfall der Keramik (und gegebenenfalls gleichzeitigen Minimalausfall der Armatur) wird die Kittschicht sehr schwach, im umgekehrten Falle sehr groß, wenn nicht zu groß. Bei kleinen Stückzahlen wird es wirtschaftlicher sein, die leichter zu bearbeitende Metallarmatur anzupassen, wobei allerdings auf generelle Austauschbarkeit verzichtet werden muß. Man kann aber auch durch Sortierung der Keramiktelle nach Gruppentoleranzen unter Verwendung von einigen im Durchmesser abgestuften Armaturen diesen Mangel beheben.

Bei Bohrungen und deren Mittensabständen ist die Toleranzfrage besonders dann zu überprüfen, wenn teilweise Bohrungen mit entsprechenden Bohrungen anderer Werkstücke (Keramik oder Metall) zur Deckung gebracht werden sollen, um z. B. Bolzen hindurchzusetzen (Bild 8). Der Durchmesser D des Durchgangsloches muß so bemessen sein, daß in ihm nicht nur seine eigene Toleranz n_1 , sondern auch die Toleranz des Mittensabstandes (m) und die der durchgesteckten Bolzen enthalten ist, also:

$$D = d + (m + n_1 + n_2)$$

Bei Stiftschrauben mit fixiertem Mittensabstand, die durch die Löcher hindurchgehen sollen, ist auch noch die Toleranz des Mittensabstandes p dieser Stiftschrauben zu berücksichtigen:

$$D = d + (m + n_1 + n_2 + p)$$

Es ist daher günstiger, Durchgangslöcher an beiden Teilen zu verwenden und einzelne Bolzen hindurchzusetzen. In vielen Fällen kann man auch entsprechende Langlöcher in einem der Teile anordnen. Abschließend sei allerdings noch auf folgende mildernde Tatsache hingewiesen. Die Forderung nach einer Toleranz von beispielsweise ± 3% bedeutet nicht, daß dieser Toleranzbereich von 6% innerhalb einer Lieferung stets voll in Anspruch genommen wird. Der tatsächliche Toleranzbereich innerhalb einer Lieferung ist meist enger, z. B. 2 bis 3%, nur die Lage dieses engeren Toleranzfeldes kann sich bei verschiedenen, z. B. zeitlich weiter auseinanderliegenden Lieferungen innerhalb der geforderten Spanne von 6% verschieben.

Bearbeitung und Veredlung keramischer Erzeugnisse nach dem Brand

Während früher die Fertigung einer Porzellanfabrik ungefähr da aufhörte, wo die keramischen Körper nach dem

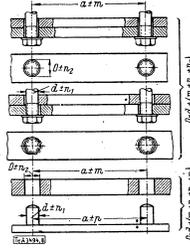


Bild 8. Tolerierung von Durchgangsöffnungen

länge und Abschleifen der Endflanschen muß zur Erzielung der eng tolerierten Endflanschhöhen viel Schleifarbeit aufgewandt werden. Wenn man entweder nur die Gesamtlänge oder nur die Längen der Endflansche eng toleriert, liegen die Verhältnisse wesentlich preisgünstiger. Im Fall B bei Verzicht auf eine enge Tolerierung der Gesamtlänge wird die keramisch bedingte Toleranz der Gesamtlänge für diese voll zugelassen; dabei unterliegen die Endflanschhöhen der für sie gültigen Toleranz. Verzieht man auf eine enge Tolerierung der Endflanschhöhen (Fall C), so muß folgende Regel für ihre Tolerierung eingehalten werden:

Beträgt die keramisch bedingte Toleranz die Gesamtlänge m und die geforderte kleinere Toleranz der Gesamtlänge x , (also $x < m$), so muß gelten $m - x = y_1 + y_2$, wobei y_1 und y_2 größer sind als die für die dazu gehörigen Längen a_1 und a_2 keramisch bedingten Toleranzen n_1 und n_2 .

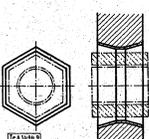


Bild 9. Metallisierung zum Einlöten von Metalldübeln

Brand durch die Sortierung gegangen waren, beginnt in modernen keramischen Werken nach dem Brand erst der zweite Teil der Fertigung.

Auf die Rohfertigung folgt die Endfertigung d. h. die Weiterverarbeitung und die Veredelung des keramischen Erzeugnisses. Diese Endfertigungsabteilungen nehmen von Jahr zu Jahr zu und nähern sich in ihrem Umfang bald den Rohfertigungsabteilungen. Den größten Umfang nehmen die Schleifereien ein, die mit entsprechenden Werkzeugmaschinen hoher Präzision ausgerüstet sein müssen.

Reichen die durch die Rohfertigung bedingten Toleranzen nicht aus, so muß eine nachträgliche Bearbeitung nach dem Brand, die mit Rücksicht auf die große Härte keramischer Rohstoffe nur durch Schleifen möglich ist, vorgenommen werden. Die dabei erzielbaren Genauigkeiten sind bei keramischen Werkstoffen die gleichen wie bei den metallischen Werkstoffen und sind nur eine Frage der Genauigkeit der verwendeten Werkzeugmaschinen (Tafel 2). Es können Bauteile höchster Präzision hergestellt werden, wie sie von der keramischen Industrie, insbesondere den Keramischen Werken Hermsdorf (Thüringen) bereits laufend hergestellt und auch auf den verschiedensten Massen gezeigt worden sind. So werden z. B. für die Elektrotechnik Kondensatorbauteile (Trimmerkondensatoren) mit einem hochwertigen Läppschliff versehen und für die Chemotechnik Vakuumkolonnen hergestellt, bei denen Porzellan auf Porzellan ohne Dichtungsmittel einen Restdruck von 10 bis 20 mm Hg zu halten vermag. Bei den allgemein hohen Kosten der Schleifarbeit wird man sie nur da einsetzen, wo sie funktionstechnisch unbedingt notwendig ist und sich stets auf das wirtschaftlich vertretbare Maß beschränken müssen. Es verdient noch darauf hingewiesen zu werden, daß das Schleifen enger langer Bohrungen nicht möglich ist, ebenso von Innengewinden unter 25 mm Dnr. Überhaupt sollte man von der Verwendung keramischer Gewinde möglichst absehen, da diese mit Rücksicht auf die durch sie ausgelösten Kerbwirkungen mechanisch ungünstig und wenig fest sind. In der Rohfertigung eingeschnittene Gewinde, also nicht nach dem Brand eingeschlossene Gewinde, unterliegen den entsprechenden Toleranzen der Keramik und weisen oft große Steigungsfehler auf.

Auf keramische Werkstoffe lassen sich gut haftende Beläge aus Silber, Eisen, Molybdän usw. aufbringen oder aufsitzen. Diese Beläge, deren Dicke sehr gering ist, besitzen z. B. bei Silber eine Haftfestigkeit von 100 kg/cm² und lassen sich auf galvanischem Wege verstärken. Bei Silbergrundlage ist Weichlötlung, bei Eisen- und Molybdängrundlage auch Hartlötlungen möglich (Bild 9). Von diesem Verfahren wird in der Elektrotechnik bereits vielseitiger Gebrauch gemacht; es kann aber auch im Maschinen- und Apparatebau nutzbringend verwendet werden. Für den Bau keramischer Maschinenteile wird das Schöpfische Metallspritzverfahren in erster Linie in Frage kommen. Die Haftfestigkeit ist gut, vor allem bei in sich geschlossenen Ringflächen, jedoch nicht so hoch wie die der eingebrannten Beläge. Diese aufgespritzten Metallbeläge können so dick aufgetragen werden, daß z. B. das Einschneiden von Gewinden durchaus möglich ist (Bild 10). Gerade mit dieser Art der Verbindungslage kann noch manches konstruktive Problem glücklich gelöst werden. Weitere Möglichkeiten zu Verbindungen aus Metall und Keramik bietet das elektrothermische Stauchverfahren, das bisher in der Hochfrequenz- und Niederspannungstechnik

verwendet wurde. Metallteile wie Dübel, Buchsen, Stecker usw. werden auf elektrischem Wege bis zum Erreichen einer erhöhten und unter schwachem Druck gegen die umgebende keramische Wandung gepreßt (Bild 11 und 12). In der so bewirkten formschlüssigen Verbindung tritt beim Erkalten infolge Schrumpfung eine kraftschlüssige Verbindung in axialer Richtung. Ein Einhalten von besonderen Passungen im keramischen Werkstück ist nicht erforderlich, da auch bei größerem Spiel die metallische Armatur formschlüssig an die keramische Wandung gequetscht wird. Infolgedessen können auch Drehungskräfte durch Nasen oder Riffelungen im keramischen Körper aufgenommen werden (Bild 13). Auch Stauchlötlungen sind möglich, wenn auf die Berührungsfächen zwischen keramischem Werkstück und einzustauchender Armatur ein Metallbelag eingebracht und mit einer Lötchicht überzogen wird. In derartig eingetauchte Metalldübel lassen sich Lächer und Gewinde mit eng tolerierten Mittenabständen einbohren. Auch hierdurch ergeben sich für den Maschinenbau in Keramik neue Lösungen, die die Schwierigkeiten des Toleranzproblems teilweise beheben können.

Die am häufigsten angewandte Verbindungsart von Keramik und Porzellanteilen ist die Kittung, wobei vorzugsweise Portlandzement mit Porzellangründ oder -mehl gemagert verwendet wird. Es lassen sich bei zweckmäßiger Ansbildung und Vorbereitung der Kittstellen, z. B. durch Riffelung, Riefen und Rillen, Sandung und vor allem Splittung, Haftfestigkeiten bis rd. 50 kg/cm² erreichen. Neben Portlandzement haben in der Hochspannungskeramik auch Schmelzzement, der eine leichte Verarbeitungsweise hat, Marmorzement, Rosazement usw., im chemischen Apparatebau Säurekitt erfolgreiche Verwendung gefunden. Zu bezuggen sind

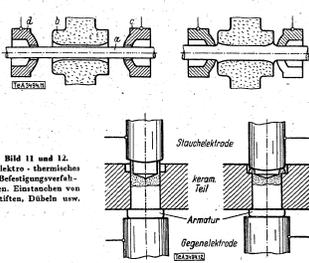


Bild 11 und 12. Elektrothermisches Befestigungsverfahren. Einstecken von Stiften, Dübeln usw. Bild 13. Elektrothermisches Einstecken in geätzte Bohrung

Außenkittungen, da dabei Kitten mit Treibwirkung das Porzellan auf Druck beanspruchen. Für Innenkittungen sind nicht treibende Kitten zu verwenden, um ein Zersprengen der Keramikteile zu verhindern. Die bisherigen erfolgreichen Anwendungen der Kittung haben jedenfalls erwiesen, daß auch Kitt ein brauchbares Konstruktionsmittel ist.

Neben der Kittung werden auch kittlose Verbindungen von Keramik- und Metallteilen verwendet, bei denen das Keramikteil zwischen Metallflanschen und Spannringen eingespannt wird oder Metallringe auf das Keramikteil aufgeschraubt werden. Die Ausbildung derartiger kittloser Verbindungen bedarf allerdings großer Sorgfalt und Erfahrung und setzt meistens eine Schleifbearbeitung voraus, da lokale Überbeanspruchungen unbedingt vermieden werden müssen. Eine ungünstig ausgebildete und schlecht ausgeführte Einspannung läßt Keramikteile schon bei kleinen Belastungen zu Bruch gehen. Es kommt darauf an, daß die Verbindung von Keramik und Metall kraft- und formschlüssig ist, wie dies besonders anschaulich die Vollkern- und Langstabisolatoren mit ihren konischen Einspannungsenden zeigen (Bild 14). Wichtig ist dabei die zylindrische Fortsetzung am dickeren Konusende. Diese verhindert das scheibenartige Abscheren der Einspannung, das unter der hohen Zuglast bei ungenügender Länge oder beim Fehlen des zylindrischen Ansatzes eintritt.

Im Apparatebau findet die schon erwähnte Verschmelzung von Keramik und Glas steigende Verwendung, insbesondere

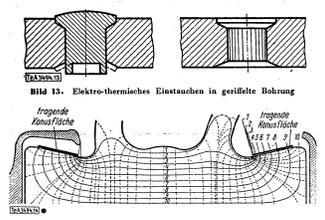


Bild 14. Der mechanische Kraftfuß im Vollkern-Isolator (konische Einspannung) Bild 15. Keramikteile für Hoch-Vakuum-Röhren (Glasverschmelzung)

in der Vakuumtechnik. Für ihre Verschmelzung ist ebenso wie bei der Verschmelzung von Metall mit Glas eine genaue Abstimmung der beiderseitigen Wärmeausdehnungskoeffizienten notwendig. Man führt auch die Verschmelzung von Keramik, Glas und Metall mit bestem Erfolg durch, wie das Beispiel der Heizdrahtverschmelzung auf Keramikträgern in Vakuumröhren zeigt (Bild 15).

Die großen Beispiele der Verwendung technischer Keramik geben die Elektrotechnik und die Chemotechnik. Gewiß



Bild 16. Übergangsteil aus Hartporzellan mit aufgespritztem Aluminiumbelag

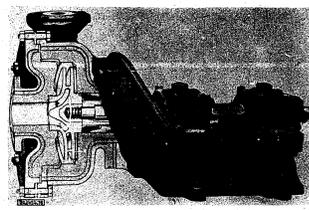


Bild 16. Keramische Kreiselpumpe

bestand für diese beiden Gebiete ein Zwang zur Ausnutzung bestimmter Eigenschaften der Keramik; das verkleinert aber nicht die Pomisleistungen, die die Elektrotechniker und Chemotechniker in Gemeinschaft mit den keramischen Herstellern vollbracht haben. Dadurch ist der Maschinenbau in der glücklichen Lage, bei Anwendung keramischer Stoffe sich auf bereits vorhandene Erfahrungen stützen zu können.

Als klassisches Beispiel eines bereits vorhandenen keramischen Maschinenbaus kann man die keramischen Kreiselpumpen (Bild 16) nennen, die zu Tausenden in der chemischen und verwandten Industrie für aggressive Flüssigkeiten mit bestem Erfolg verwendet werden. Es gibt eine sog. ungespannte und eine mit Gubeisenmantel geganzte Ausführung. Gehäuse, Deckel, Laufrad, Wellenschutz, Stopfbuchsbrille bestehen aus Hartporzellan und sind pubgenau eingeschliffen. Die keramischen Pumpen zeigen nicht nur eine hohe Korrosionsfestigkeit gegenüber chemischen Angriffen, sondern auch eine große Widerstandsfähigkeit gegen die Schleifwirkung bewegter Flüssigkeiten und darin mitgeführter fester Teilchen, weshalb sie in steigendem Maße, mit Kanalartern ausgerüstet, auch als Schlammumpen eingesetzt werden. Zur Zeit werden einstufige Pumpen bis 75 m³/h und etwa 30 m Förderhöhe serienmäßig gebaut.

Einen noch höheren Genauigkeitsgrad erfordern die keramischen Zahnradpumpen, wie sie die Keramischen Werke Hermsdorf, Hermsdorf (Thür.) auf der Leipziger Messe mit einer Leistung von 10 l/min und 4 atü bei 120 U/min zeigten^{*)}. Ähnliche Pumpen laufen bereits als Vakuumpumpen und Spinnpumpen (Bild 17). Die damit geförderten Flüssigkeiten müssen allerdings eine gewisse Mindestschmierfähigkeit besitzen. Augenblicklich wird eine Verbindung von Keramikgehäuse und Stahlzahnradern bei einer kleinen Spinnpumpe entwickelt, wodurch die Schwäche kleiner keramischer Zahnräder vermieden wird. Bei einem Jahresbedarf von 10 000 Stück solcher Pumpen wird eine Einsparung von 3500 kg besten Chromnickelstahls möglich sein.

*) s. a. Messenonderheit 1952 der Zeitschrift Die Technik, Verlag Technik, Berlin 1952, S. 33.

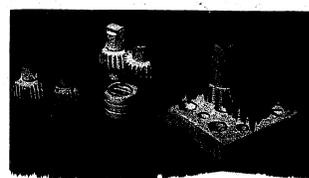


Bild 17. Keramische Zahnradpumpe (Spinnpumpe)

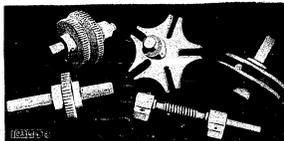


Bild 18. Einzelteile für Getriebe (Zahnräder, Malthesekreuz, Spindel)

Präzision und sorgfältige Paßarbeit erfordern auch die keramischen Schwingeschieberkolbenpumpen, die für kleinere Leistungen bereits mit Erfolg ausgeführt wurden.

Die hochentwickelte Schleiftechnik in der keramischen Industrie gestattet auch die Herstellung keramischer Rollenlager, die bisher allerdings nur in Einzelanfertigung für Sonderzwecke der chemischen Industrie ausgeführt wurden. Ihr

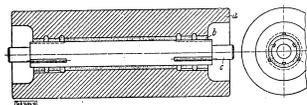


Bild 19. Hartporzellanwalze mit eingekitteter Stahlwelle

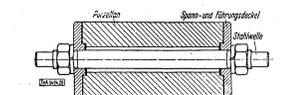


Bild 20. Hartporzellanwalze mit kittloser Wellenbefestigung

Preis ist sehr hoch; für einen allgemeinen Ersatz für Stahlkugellager kommen sie nicht in Betracht. Ebenso können Getriebeteile wie Zahnräder, Spindeln, Malthesekreuz u. a. in hoher Präzision für feinmechanische Zwecke hergestellt werden (Bild 18).

War bei den meisten bisherigen Beispielen die Korrosionsfestigkeit die treibende Kraft zu ihrer Entwicklung, so ist es bei den folgenden Beispielen die Härte und hervorragende Oberflächenbeschaffenheit der keramischen Werkstoffe. In



Bild 21. Hartporzellan für medizinische Geräte

Wagenbau haben sich genau geschliffene und geläppte Lagerpflanzen aus Ardoistan an Stelle von solchen aus Achat hervorragen bewährt. Ein sehr gutes Beispiel für einen erfolgreichen Werkstoffaustausch stellen die sog. Ziehkonen für das Ziehen von Feindrähten dar, die von den Keramischen Werken Hernaldorf und Kabelwerk Kuppenick entwickelt wurden. Der Werkstoff Kalit ersetzt hier Chromnickelstahl, sein geringerer Verschleiß bewirkt eine etwa doppelt so große Lebensdauer der Ziehkonen.

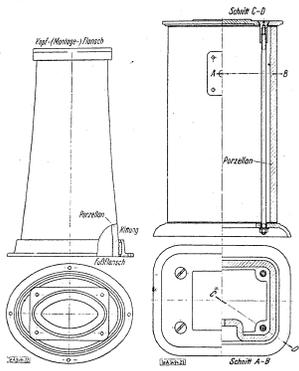


Bild 22. Maschinenständer aus Hartporzellan mit aufgekittetem Fuß- und Kopfblech

Bild 23. Maschinenständer aus Hartporzellan zwischen Fußrahmen und Deckplatte eingepasst

Ein großes Anwendungsgebiet im Maschinenbau besteht für keramische Walzen und Achsen, die geschliffen und ungeschliffen bereits Eingang in Textil-, Papier-, Druckerei- und Nahrungsmittelmaschinen gefunden haben. Es wurden bereits Walzen von 300 mm Dmr. und über 2 m Länge geliefert, die sich wegen ihrer Oberflächenhärte und Härte gleichermaßen bewährt haben. Die Verbindung dieser Walzen mit ihrer Stahlwelle kann durch Kittung oder durch seitlich angebrachte Spannringe erfolgen (Bild 19 und 20). Die Textil- und Zellwollindustrie bevorzugen weiterhin seit Jahren keramische Fadenführer und Fadenbremsen von den kleinsten bis zu den größten Abmessungen wegen ihrer hohen Oberflächengüte. Trag- und Transportrollen für Bandstraßen und Rollenbahnen sowie Seilscheiben aus Hartporzellan haben sich bereits bestens bewährt und harren einer umfangreichen Verwendung. Auch Riemen- und Stufenscheiben aus Hartporzellan können ohne weiteres im Maschinenbau verwendet werden.

In Nahrungsmittelmaschinen läßt sich ein weitgehender Gebrauch keramischer Werkstoffe denken, da eine ihrer kennzeichnenden Eigenschaften die ist, daß sie Geschmack und Geruch in keiner Weise beeinträchtigen, daß ihre glasierten Oberflächen das Ansetzen von Schmutz erschweren und die hygienisch notwendige leichte Sauberhaltung gestatten.

Eine Fülle von Beispielen für den erfolgreichen Einsatz keramischer Werkstoffe bietet der chemische Apparatebau, für den eine große Zahl von keramischen Bauteilen und von vollständig aus Hartporzellan gebauten Apparaten aller Größenordnungen entwickelt wurde. Als Anregung seien einzelne Beispiele genannt: Dienen, Siebplatten, Siebböden, Filtereinbauten, Lochplatten, Tragroste bis 1 m Dmr., Behälter, Bottiche bis 1000 l Fassungsvermögen, komplette Nutschen-

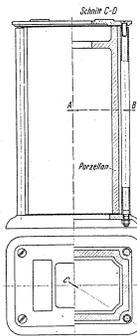


Bild 24. Maschinenständer aus Hartporzellan mit Verspannungsbüchse als Kantenschutz

fertigten neuerdings einen keramischen Dreifuß für ein Sauerstoffgerät (Bild 21).

In Bild 22 bis 24 sind einige Vorschläge für die konstruktive Ausbildung keramischer Ständer und Füße dargestellt. Bild 22 stellt einen beispielweise ovalen Maschinenfuß mit aufgekittetem Fuß- und Kopfblech dar.

In Anlehnung an die heute üblichen rechteckigen Formen der Untersätze, zeigt Bild 23 einen kittlos mit Fußblech und Montageflansch armierten viereckigen Maschineunterersatz. Einbauten, für deren Montage die Kopf- und Fußblechen als Ausgangspunkt dienen können oder die auch direkt an das Keramikteil angebracht werden, lassen sich in derartigen Ständern bei einigem konstruktiven Geschick unterbringen. Man kann auch die Spannboizen außen anordnen und damit einen guten Kantenschutz erzielen, um der Stoßempfindlichkeit der Keramik an Kanten Rechnung zu tragen (Bild 24).

filter, Wärmetauscher, Reaktionskolonnen und -türme bis 800 mm lichter Weite und bis zu 18 m Höhe in freitragender Ausführung, Vakuumkolonnen (vakuumdichter Lappschiff), Rohrleitungen bis 400 mm lichter Weite mit allen Zubehörteilen wie T-Stücke, Kreuzstücke, Krümmern usw., Ventile bis 150 mm und Höhe bis 250 mm lichter Weite.

Die bereits eingangs erwähnten Mastfuß-Isolatoren und die in der Hochspannungstechnik übliche isolierte Aufstellung von schweren Transformatoren auf Porzellanfüßen verweisen auf gleichartige Möglichkeiten im Maschinenbau. Die ersten Ausführungen von Maschinenfüßen und -untersätzen liegen bereits vor. So zeigte die VVB Medizintechnik auf der Leipziger Messe 1952 ein dentalmedizinisches Gerät mit Hartporzellanständer im Austausch für die bisher verwendeten Leichtmetallständer. Die Keramischen Werke Hernaldorf zeigten ebenfalls einen Maschinenfuß in Säulenform und

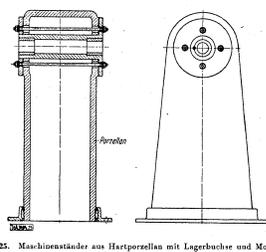


Bild 25. Maschinenständer aus Hartporzellan mit Lagerbuchse und Montageflansch

Die Anordnung einer durchgehenden Lagerbuchse mit Montageflanschen in einem Keramikständer ist aus Bild 25 zu ersehen. Die Montageflanschen sind durch Spannboizen an die geschliffenen Flanschenflächen des Keramikständers verdrängungssicher gepreßt. An ihnen kann z. B. ein Flanschmotor auf der einen Seite und der angetriebene Teil auf der anderen Seite montiert werden.

Die bereits erläuterten Armierungs- und Verellungsverfahren, wie Kittung, Metallisierung, elektrothermisches Einsteichen von Metallteilen usw. müssen zur Lösung der maschinenbaulichen Aufgabenstellungen herangezogen werden und bieten eine Vielfalt von Kombinationen und Möglichkeiten, die der Entwicklung harren.

Diese Entwicklung kann nicht von der Seite der keramischen Fabriken allein kommen. Hierzu ist eine enge Zusammenarbeit der Maschinenfachleute mit den Keramikfachleuten notwendig. Die keramische Industrie verfügt über einen Stab erfahrener Keramik-Konstrukteure, denen aber die Kenntnisse der Spezialprobleme der einzelnen Maschinenbauparten fehlt. Dem Maschinen- und Apparatebau sind die keramischen Werkstoffe noch fremd. Es ist eine der vordringlichsten Aufgaben, beide Kreise durch einen intensiven Erfahrungsaustausch zu koppeln, um die in den keramischen Werkstoffen liegenden zahlreichen Möglichkeiten des Metallausstausches zu entwickeln und zu nutzen.