

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 32 (1954)

Heft: 9

Artikel: Untersuchungen an Feinlötstellen

Autor: Künzler, H. / Bohren, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874489>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE



BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telefonverwaltung. Publié par l'administration des postes, télégraphes et téléphones suisses. Pubblicato dall'amministrazione delle poste, dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

Untersuchungen an Feinlötstellen

Von H. Künzler und H. Bohren, Bern

621.791.353:621.39

Zusammenfassung. In der vorliegenden Arbeit wird über chemische und chemisch-physikalische Probleme des Weichlötens berichtet. In einem ersten Teil werden ausgedehnte Korrosionsversuche beschrieben, die zum Zwecke hatten, Lötdrähte mit aktivierten, jedoch korrosionsungefährlichen Beizmittelladern zu finden. Im zweiten Teil wird gezeigt, welchen Einfluss die Temperatur auf das Gefüge der gelöteten Metalle und auf die Qualität der Lötstellen hat. Sodann wird auf eine Möglichkeit hingewiesen, die Kupferverluste der LötKolbenstifte herabzusetzen. Im letzten Abschnitt werden die Gesamtergebnisse zusammengefasst.

Résumé. Le présent article examine les problèmes d'ordre chimique et physico-chimique que pose la soudure à l'étain. Dans la première partie, les auteurs décrivent des essais de corrosion étendus ayant pour but la recherche de fils de soudure contenant des produits de décapage actifs mais inoffensifs au point de vue corrosion. Dans la deuxième partie ils montrent l'influence de la température sur la structure des métaux soudés et sur la qualité des soudures. Ils attirent ensuite l'attention sur une possibilité d'abaisser les pertes en cuivre des tiges de fers à souder. Ils donnent enfin un résumé des résultats obtenus.

I. Einführung

Eine grosse Rolle spielen in der Nachrichtentechnik die Lötverbindungen. Es ist leicht verständlich, dass die PTT-Verwaltung dem Löten grosse Aufmerksamkeit schenken muss, denn es kommt für die Qualität eines Telefongesprächs sehr darauf an, dass die Lötverbindungen in den Zentralen und in den Kabeln einwandfrei sind. Auf Grund gemachter ungünstiger Erfahrungen wurden vor Jahren schon Lötdrähte mit aktivierten Kolophoniumadern zur Herstellung von Feinlötstellen im Bereiche der PTT-Verwaltung verboten. Es zeigte sich nämlich, dass die Aktivierungsmittel Korrosionsschäden an den Lötstellen und deren Umgebung verursachten. Zugelassen war nur Reinkolophonium als Beizmittel, das als korrosionsungefährlich gilt. Von den Praktikern wird der Reinkolophoniumlötdraht jedoch nicht besonders geschätzt, weil das Kolophonium ein schwaches Dekapierungsmittel ist. Es lässt sich, wie es heisst, «nur schlecht» mit diesem Reinkolophoniumdraht löten, und die Lötzeiten werden dadurch verhältnismässig gross. Der Wunsch nach einem besser zu verarbeitenden Lötdraht war aus diesen Gründen bei den Praktikern stets wach. Ferner wäre es erwünscht, wenn man den Stiftenverbrauch beim Löten wesentlich herabsetzen könnte. Es war deshalb angezeigt, das Lötproblem einmal von der wissenschaftlichen Seite her auf breiter Basis zu untersuchen; dies um so mehr, als in

der Zwischenzeit Lötdrähte im Handel erschienen sind, die unschädliche, aktivierte Beizmittel enthalten und zudem die gewünschten guten Löteigenschaften besitzen.

Rein technisch betrachtet, sind beim Löten folgende Vorgänge zu unterscheiden:

1. die zu lötenden Teile sind auf die Löttemperatur zu erwärmen;
2. das Lötzinn muss geschmolzen werden;
3. das zu lötende Metall muss von störenden Oxydschichten befreit werden, was durch geeignete Dekapierungsmittel geschieht, damit sich
4. das flüssige Lot mit dem gereinigten Metalle legieren kann;
5. das Beizmittel muss vollständig aus dem flüssigen Lot ausgeschwitzt werden, weil sonst die Lötstelle unerwünschte Harzeinschlüsse enthält;
6. danach muss das Lot zur fertigen Lötstelle erstarren.

Für die Praxis ist es wichtig, dass diese Vorgänge möglichst rasch ablaufen. Man kann die Lötzeit verkürzen, indem man bei erhöhter Temperatur arbeitet und rasch wirkende Dekapierungsmittel verwendet. Ferner ist sie abhängig von der Art des zu lötenden Metalles und der Zusammensetzung des Lotes. Die Lötzeit darf aber nicht beliebig kurz gewählt werden, weil die Ablösung der Oxydhaut vom Metall durch das Beizmittel und die Diffusionsvorgänge, die sich bei der Anlegierung des flüssigen Lotes auf dem Metall

abspielen, eine gewisse Zeit dauern müssen, wenn eine gute Lötstelle zustande kommen soll. Ferner darf auch die Löttemperatur nicht zu hoch gewählt werden, weil sonst Gefahr besteht, dass das Lot oxydiert wird, was wiederum die Qualität der Lötverbindung beeinträchtigt. Die sogenannten verbrannten Lötstellen sind demnach in der Praxis sehr gefürchtet.

Die angestellten Überlegungen drängen die folgenden, für die Praxis sehr bedeutsamen Fragen auf:

1. Kann die Lötzeit durch aktive Zusätze zum Kollophonium verkürzt werden, ohne dass man nachträglich mit Korrosionsangriffen auf die Lötstelle oder benachbarte Metallteile rechnen muss?
2. Welches ist die günstigste Löttemperatur?
3. Welche Lotzusammensetzung eignet sich am besten zur Herstellung von Feinlötstellen? Diese Frage stellt sich im besondern, weil seit einiger Zeit lebhaft darüber diskutiert wird, ob man dem Lot 60 Sn/40 Pb oder 50 Sn/50 Pb den Vorzug geben soll.
4. Wie kann man den Kupferverlust bzw. die Abnutzung der LötKolbenstifte vermindern?

Diese Fragen wiesen uns klar die Richtung, in der wir mit unseren Versuchen vorzustossen hatten. Zunächst galt es also, das Korrosionsproblem zu untersuchen. In einem zweiten Teil führten wir eine ganze Reihe von physikalisch-chemischen Untersuchungen durch, um die übrigen Fragen beantworten zu können.

II. Korrosionsuntersuchungen

1. Versuche mit verschiedenen Beizmitteln und Loten

1. 1. Durchgeführte Versuche

Um die korrodierende Wirkung verschiedener Beizmittel und die Korrosionsneigung einiger Lote und

Metalle erkennen zu können, wurden auf 0,1 mm dicken Blechstreifen von der Grösse 80×25 mm je 3 Lötstellen hergestellt. Diese so vorbereiteten Plättchen wurden hernach verschiedenen Korrosionsatmosphären ausgesetzt und nach bestimmten Zeitintervallen unter dem Mikroskop untersucht. Die erste Probenahme erfolgte nach 3, die zweite nach 6 und die letzte nach 9 Wochen, wodurch wir einige Hinweise auf die Korrosionsgeschwindigkeit erhielten. Diese Methode stammt von G. Laubmeyer¹⁾, Kassel, wurde von uns aber ausgebaut und wesentlich verschärft. Vor allem wurden die gelöteten Bleche nicht nur der Luft im Freien ausgesetzt; wir wählten für die Versuche drei Korrosionsatmosphären verschiedener Aggressivität, nämlich: Zentralenluft (etwa 20° C und 50...60 % relative Feuchtigkeit), Aussenluft, unter einem Dache im Schatten, und mit Wasserdampf gesättigte Luft (100 % rel. F., 18...20° C) in einer Korrosionskammer. Die letztgenannte Atmosphäre ist selbstverständlich die gefährlichste, die erste, mit ihren gleichmässigen Verhältnissen, die mildeste.

Ferner wurde nicht nur auf reinem Kupferblech gelötet, sondern auch auf Messing (63 Cu/37 Zn) und auf Eisenblech. Eisen wurde dazugenommen, weil es in den meisten Fällen gegen Korrosionsangriffe am empfindlichsten ist. Um den Korrosionsangriff zu fördern, wurden vor der Lötung Rillen mit feinem Schmirgelpapier in die Metalloberfläche gekratzt. Nach Evans²⁾ sind nämlich Kanten besonders gefährdet. Auf

¹⁾ Im Rahmen unserer Versuche überprüften wir auch einige Angaben, die G. Laubmeyer in einem Vortrage über das Weichlöten machte. Dabei wurden, wenn auch nach andern Gesichtspunkten und Methoden, übereinstimmende Auffassungen über die aufgeworfenen Probleme gewonnen.

²⁾ U. R. Evans. Korrosion, Passivität und Oberflächenschutz von Metallen. Berlin 1939.

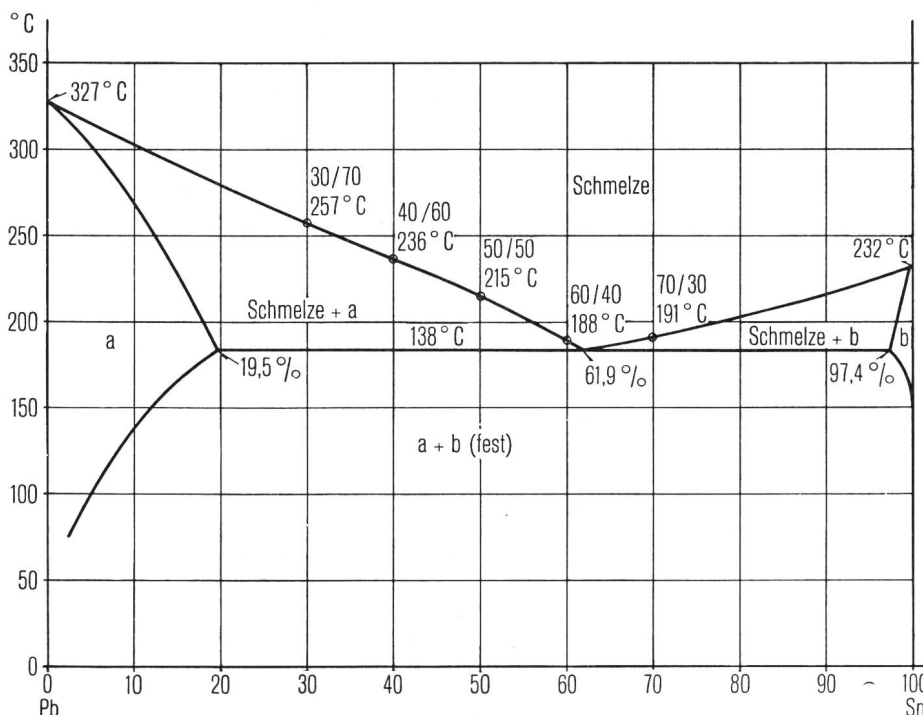


Fig. 1.
Zustandsdiagramm des Systems
Zinn-Blei

diese Weise gelang es, die Versuchsdauer auf neun Wochen herabzudrücken.

Um bei allen Lötstellen mit der gleichen Menge Lot zu arbeiten, wurden die 1 mm dicken Volldrähte mit einer Zerhackmaschine in kleine, gleich grosse Stückchen von einem Gewicht zwischen 120 und 140 mg geschnitten.

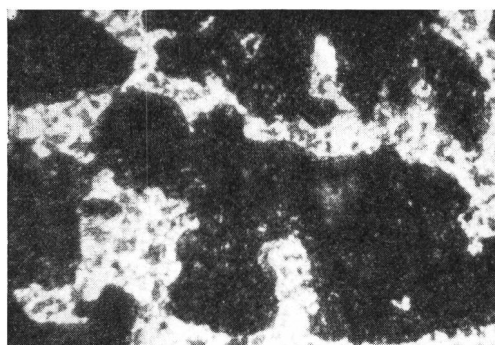
Als Beizmittel verwendeten wir Reinkolophonium oder ein Gemisch von diesem mit einem Aktivator. Für jede Lötung wurden 8...10 mg Beizmittel verwendet. Die verwendeten Dekapierungsmittel sind in der *Tabelle I* zusammengestellt. In die Versuche wurden einige handelsübliche Lötdrähte, in denen das Dekapierungsmittel in Aderform enthalten ist, miteinbezogen. Ihre Aktivatoren wurden aber aus mannigfaltigen Gründen nicht analytisch gekennzeichnet.

Endlich sei noch erwähnt, dass wir Versuchsreihen mit verschieden zusammengesetzten Loten durchführten. Die näheren Angaben können der *Tabelle II* entnommen werden. In der letzten Kolonne sind die Schmelzpunkte der Lote angegeben. Es handelt sich dabei um die Temperaturen, die man an der Liquiduskurve des Sn-Pb-Zustandsdiagrammes (Fig. 1) für die entsprechenden Legierungen ablesen kann. Die Zahlen bedeuten also diejenige Temperatur, bei welcher das Lot vollständig flüssig ist. In Fig. 2 sind die Schliffbilder der Versuchslote wiedergegeben. Die dunkleren Stellen darin entsprechen dem bleireichen Anteil.

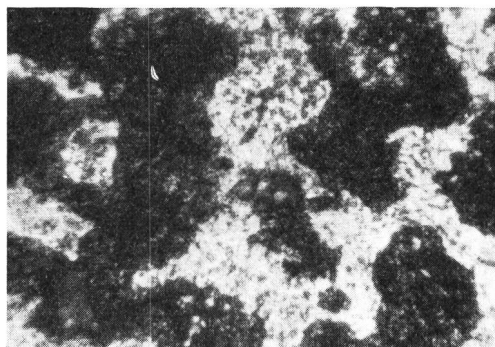
Die Versuchslötstellen wurden in der folgenden Weise hergestellt: Ein LötKolben, Marke Zeva, mit einer Leistung von 240 Watt und einer Kupferspitze von grosser Wärmekapazität wurde mittels eines Reglers auf einer mittleren Temperatur von 320° C gehalten. Die Temperaturschwankungen betrugen während der Arbeit im Maximum $\pm 5^\circ \text{C}$. Der betriebsbereite Kolben war an einem Stativ befestigt, wobei er im Schwerpunkte senkrecht zu seiner Längsachse gedreht werden konnte. Dadurch war es möglich, rasch und unter stets gleichen Bedingungen zu löten. Die auf das vorbereitete Metallplättchen gebrachte Kupferspitze berührte dieses während des Lötvorganges mit einer Fläche von etwa $\frac{1}{2} \text{ cm}^2$. Die Lötzeit wurde für alle Versuche auf zwei Sekunden festgesetzt. In der Fig. 3 ist eine fertige Lötstelle abgebildet. Das Lot ist umgeben von einer dünnen, spröden Kolophoniumschiicht, die am Aussenrande von einem ringförmigen Kolophoniumwulst umgeben ist.

Auf jedem Metallplättchen wurden jeweils 3 solche Lötstellen hergestellt, so dass auf den 12 Versuchsplättchen jedes Metalles insgesamt 36 Lötstellen vom gleichen Lot und Beizmittel für die Untersuchungen bereitstanden. Von den so präparierten Blechen wurden je 4 in die drei voranstehend erwähnten Versuchsatmosphären gebracht und nach 3, 6 und 9 Wochen mit dem Mikroskop untersucht. Dabei wurde festgestellt, ob und in welchem Masse sich Korrosions-

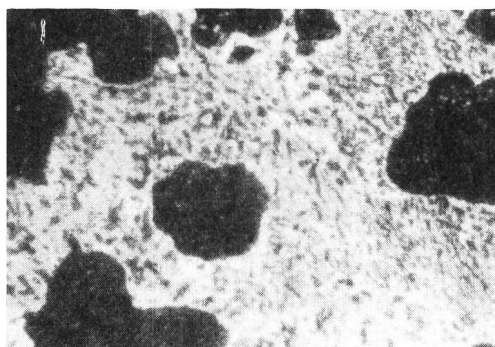
30/70



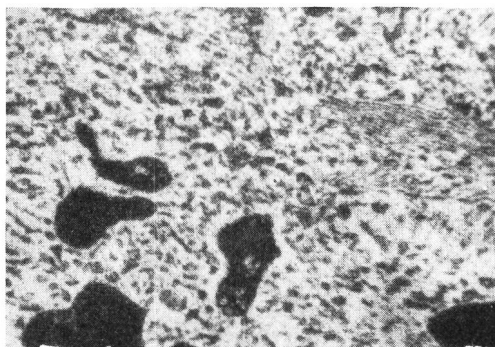
40/60



50/50



60/40



70/30

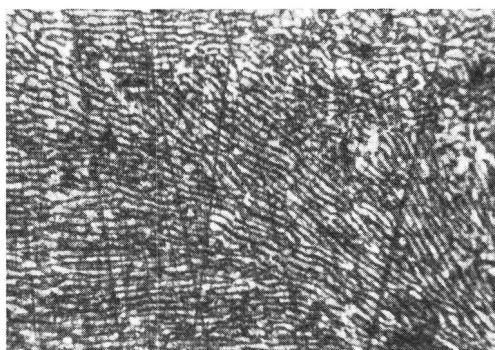


Fig. 2. Gefüge der Versuchslote (Vergrösserung 540 \times). Neben jedem Bild ist die Zusammensetzung des Lots angegeben. Die erste Zahl bedeutet % Zinn, die zweite % Blei

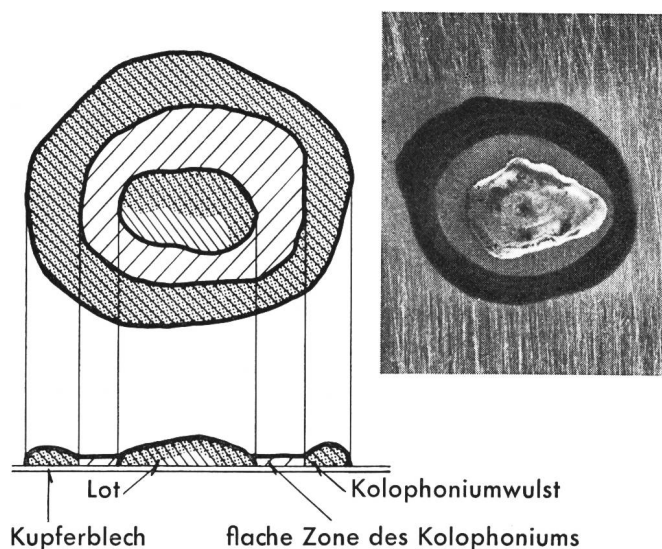


Fig. 3. Photographische Wiedergabe und schematische Darstellung der Versuchslötstellen

produkte *unter* dem Kolophonium auf dem Metallblech gebildet haben.

Es war im Rahmen der vorliegenden Arbeit leider nicht möglich, die Korrosionsursachen im einzelnen zu erforschen und die verschiedenen Korrosionsprodukte analytisch zu kennzeichnen. Aufschluss über diese Fragen geben aber weitgehend die Arbeiten von W. Feitknecht¹⁾, an die wir uns bei der Beurteilung der Probestücke hielten. Uns ging es aber in erster Linie darum, zu erfahren, ob die aktivierten Beizmittel korrosionsfördernd wirken oder nicht. Wir mussten deshalb hauptsächlich die quantitativen Verhältnisse abschätzen.

1. 2. Ergebnisse

Zugunsten der bessern Übersicht beschränken wir uns darauf, einige typische Erscheinungen zu beschreiben, die wichtigsten Ergebnisse mit Mikroaufnahmen zu belegen und die Gesamtauswertung der Korrosionsversuche an Hand einer graphischen Darstellung zu erläutern. Bei den nachfolgenden Angaben handelt es sich stets um den Korrosionsangriff auf die gelöteten Metallbleche (Cu, Messing oder Fe). Das Lot selbst veränderte sich im allgemeinen nicht wesentlich, so dass diese Verhältnisse hier nicht beschrieben werden müssen.

Grundsätzlich konnten drei verschiedene Korrosionsarten beobachtet werden. Wir bezeichneten sie als Flächenkorrosion, punktförmige Korrosion und «Durchdringungskorrosion» (vgl. Fig. 4a–c). Bei der Flächenkorrosion (Fig. 4a) entstehen unter dem Kolophonium auf dem Metall dunkle Schichten von Zersetzungsprodukten. Es ist nicht möglich, mit dem Mikroskop einzelne Kriställchen zu unterscheiden. Ganz andere Formen bilden sich im zweiten Falle (Fig. 4b). An einzelnen Stellen, vorzugsweise an den

Kanten der eingeritzten Rillen, bilden sich punktförmige Korrosionsprodukte, die in manchen Rillen so gross werden können, dass die darüberliegende Kolophoniumschicht gesprengt wird. Die Korrosionsverbindung wächst hernach in die Risse des Dekapierungsmittels hinein und durchdringt dieses. Wir nannten deshalb diesen sehr starken Korrosionsangriff «Durchdringungskorrosion». Ein typisches Beispiel dafür ist in Fig. 4c wiedergegeben. Die hellen Stellen darin entsprechen dem Kolophonium, die dunkeln der hervorstossenden Wucherung.

Wenn unter dem Kolophonium die Korrosionsprodukte wachsen, dann drücken sie auf die darüberliegende Kolophoniumschicht. Da diese aber wegen ihrer Sprödigkeit dem Drucke nicht elastisch nachgeben kann, bricht das Harz schon in einem verhältnismässig frühen Stadium, und es entsteht ein ganzes

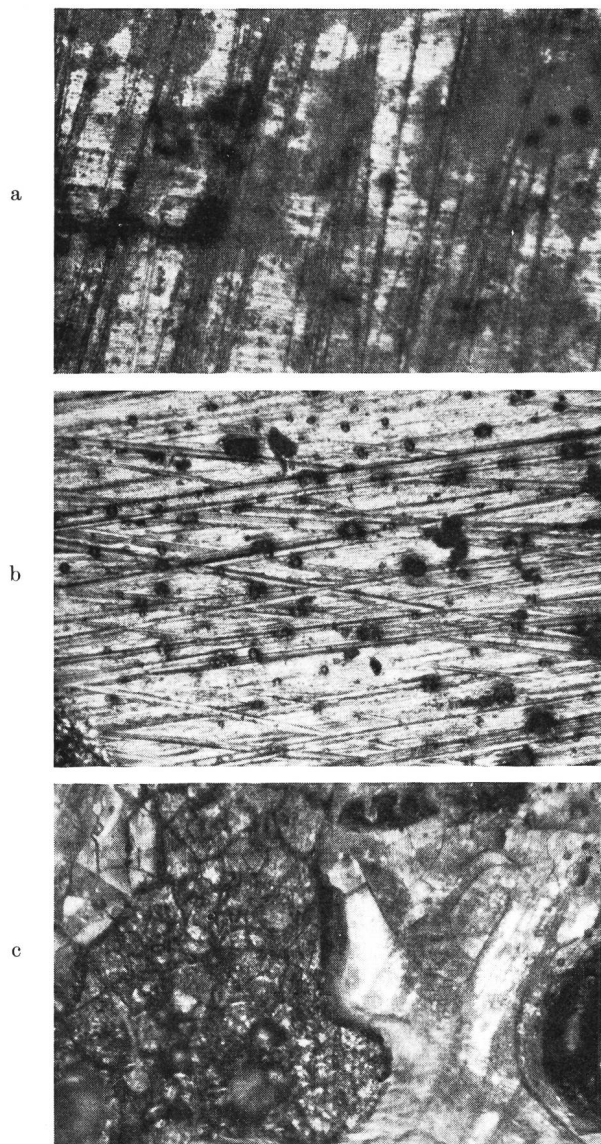
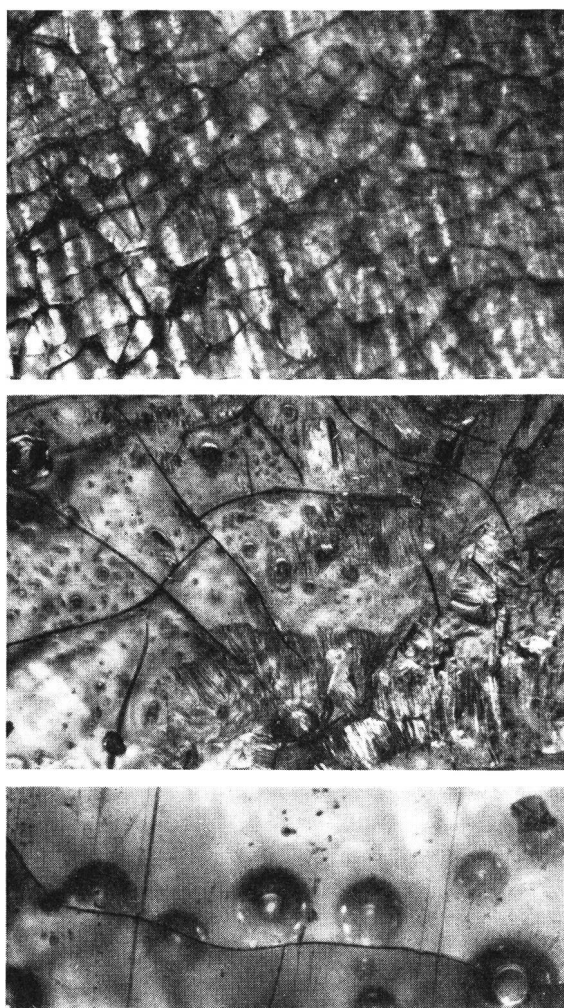


Fig. 4. Korrosionsarten: a) Flächenkorrosion, b) punktförmige Korrosion, c) Durchdringungskorrosion (Vergr. 75×)

¹⁾ W. Feitknecht, Schweizer Archiv 18 (1952), 368, und Chimia 6 (1952), 3.



a

b

c

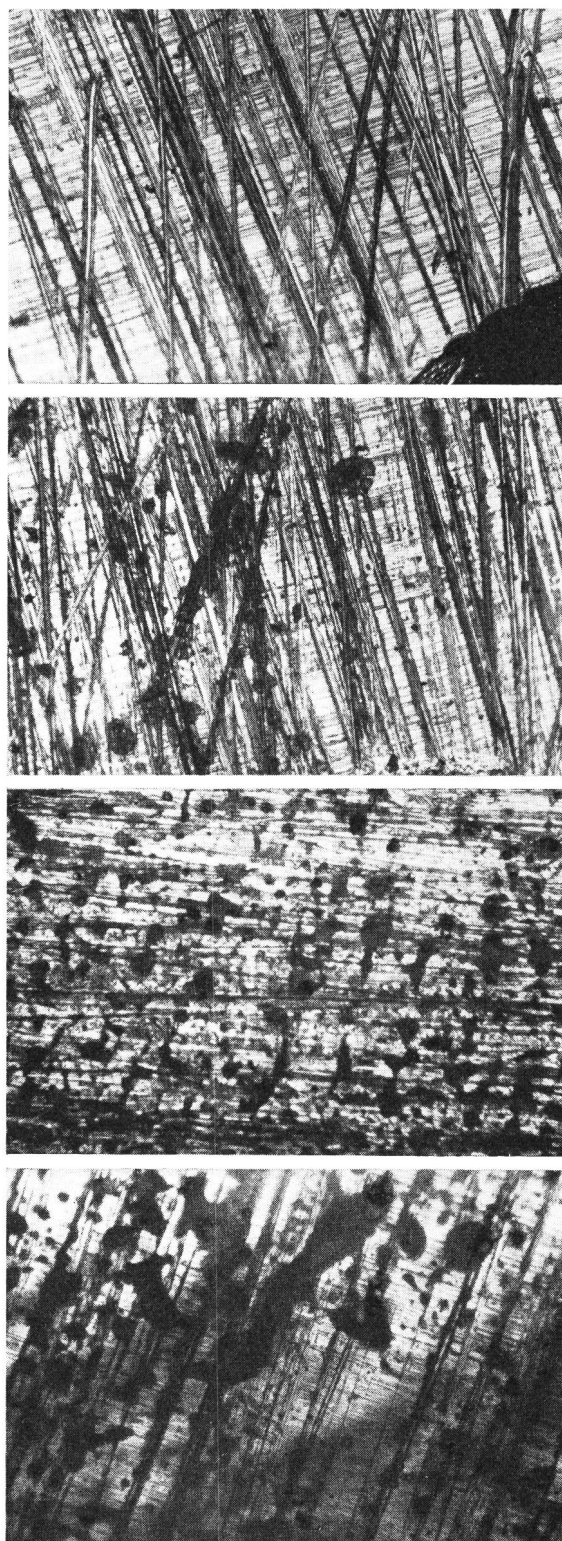
Fig. 5. Rissbildung in der Kolophoniumschiebt der Lötstelle (Vergr. 75×). Versuchsbedingungen:

- a) Kolophonium + 3% Anilinchlorhydrat (D), Messingblech, 6 Wochen in der Korrosionskammer (100% rel. F.)
- b) Kolophonium + 10% Glutaminsäure (F), Kupferblech, 3 Wochen in der Korrosionskammer (100% rel. F.)
- c) Kolophonium + 20% Harnstoff (H), Kupferblech, 3 Wochen in der Zentralenluft

Netz von Sprüngen, in das die Luftfeuchtigkeit leicht eindringen kann. Dadurch wird der schädliche Angriff auf das Metall beschleunigt, was zur Folge hat, dass die Korrosionsprodukte stark vermehrt und einzelne Harzsplitterchen ausgestossen werden. Auf diese Weise entsteht dann eben die bereits erwähnte sogenannte «Durchdringungskorrosion». In Fig. 5a und 5b erkennt man ein fein- bzw. grobmaschiges Netz von solchen Rissen. Die Aufnahmen sind auf die Harzschicht scharf eingestellt, weshalb man die darunterliegenden Korrosionsprodukte nicht gut erkennen kann. Auch gasförmige Zersetzungsprodukte drücken auf die darüberliegende Harzschicht und vermögen in dieser Sprünge zu bewirken (Fig. 5c).

Reines Kolophonium kann erfahrungsgemäss ohne Bedenken als Dekapierungsmittel für Feinlötstellen verwendet werden. Es bewirkt auch unter den schärfsten Bedingungen keine oder nur schwache Kor-

rosionserscheinungen. Dagegen sind die gebräuchlichsten Aktivierungsmittel bereits schon in geringen



a

b

c

d

Fig. 6. Korrosionsangriff in Abhängigkeit des Anilinchlorhydrat-gehaltes des Kolophoniums (Vergr. 75×)

- | | | |
|------------|-----|--------------------------------|
| Beizmittel | a = | Reinkolophonium (A) |
| | b = | » + 0,1% Anilinchlorhydrat (B) |
| | c = | » + 3% » (D) |
| | d = | » + 5% » (E) |

Die Lötstellen wurden auf Kupferblech gelötet, Lot: 60/40. Die Proben befanden sich 9 Wochen an der Aussenluft

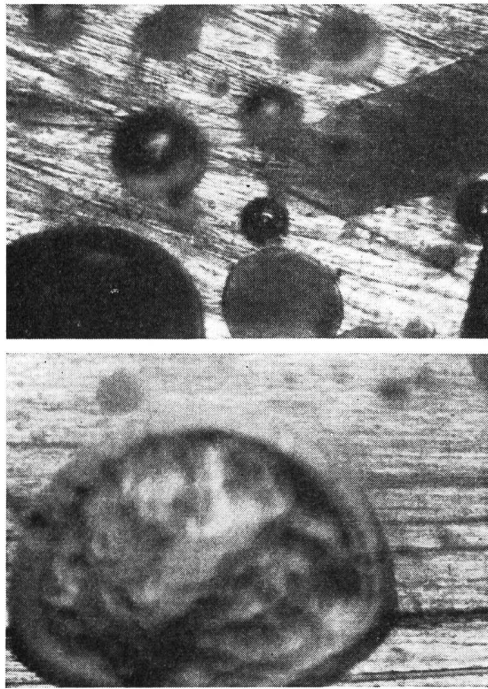


Fig. 7. Korrosionsangriffe, verursacht durch das Beizmittel H (Kolophonium + 20% Harnstoff). Lötstelle auf Eisenblech. Oben nach drei Wochen, unten nach 9 Wochen Aufenthalt in der Zentralenluft (Vergr. 75×)

Beimischungen gefährlich. In Fig. 6 sind die gefährdeten Stellen von vier Kupferblechen gezeigt, die während 9 Wochen der Aussenluft ausgesetzt waren. Für die Lötstelle a wurde reines Kolophonium, bei den Lötstellen b bis d solches mit 0,1%, 3% bzw. 5% Anilinchlorhydrat als Dekapierungsmittel verwendet. Lediglich die Lötstelle a blieb einwandfrei, bei den andern entstanden, in zunehmendem Masse mit wachsendem Anilinchlorhydratgehalt, punktförmig ausgebildete Korrosionsprodukte. Dabei waren alle

Proben den gleichen, relativ milden Bedingungen ausgesetzt. In Fig. 6d kann man zudem noch den Beginn einer Flächenkorrosion in Form von Dunkelfärbungen erkennen.

Auch Harnstoff ist als Aktivator sehr gefährlich. In Fig. 7 ist der Verlauf eines Korrosionsangriffes gezeigt. Es handelt sich um Bilder von Lötstellen, die mit dem Dekapierungsmittel H (vgl. Tabelle I) auf Eisen hergestellt wurden. Die Proben waren der

Tabelle I
Verwendete Beizmittel

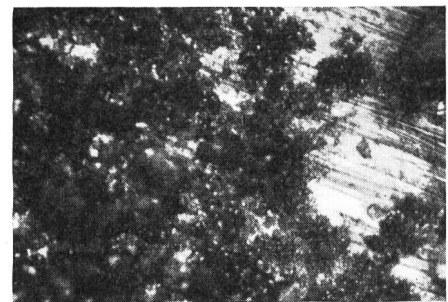
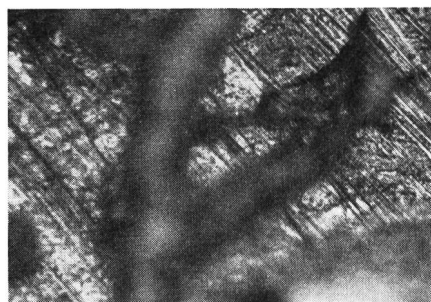
Bezeichnung des Beizmittels	Zusammensetzung
A	Reinkolophonium (ca. 80% Abietinsäure)
B	A + 0,1% Anilinchlorhydrat
C	A + 1% Anilinchlorhydrat
D	A + 3% Anilinchlorhydrat
E	A + 5% Anilinchlorhydrat
F	A + 10% Glutaminsäure
G	A + 20% Glycolsäure
H	A + 20% Harnstoff
I	A + 5% Ammoniumchlorid
K	A + Milchsäure (1:1) (pastig)
L	A + Ammoniumlactat (1:1) (pastig)

Zentralenluft ausgesetzt. Das obere Bild zeigt die Verhältnisse nach drei Wochen. Die Bläschen entstanden allerdings schon beim Lötten, wirkten jedoch als aktive Korrosionszentren. Man erkennt bereits schon den Beginn der Korrosion. Nach neun Wochen befanden sich an deren Stelle üppige Warzen von Korrosionsprodukten (Durchdringungskorrosion). Diese Feststellungen sind besonders schwerwiegend, weil sich die abgebildeten Versuchsbleche in der mildesten Atmosphäre befanden.

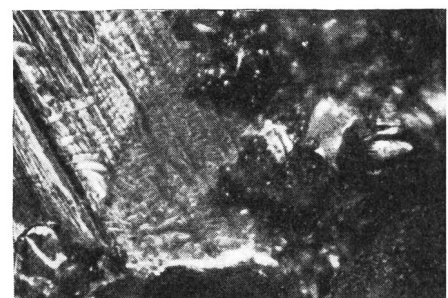
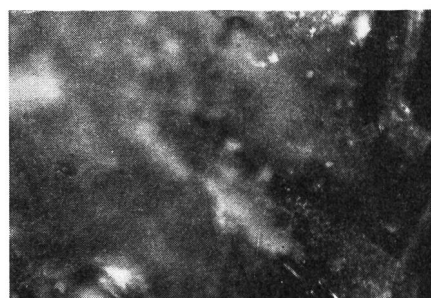
Mit allem Nachdruck muss auf die Gefährlichkeit des Ammoniumchlorids als Beizmittel für Feinlöt-

Cu

Fe



3W



6W

Fig. 8. Korrosionsangriffe, verursacht durch NH_4Cl -haltiges Beizmittel (I). Obere Reihe: Zustand nach 3 Wochen, untere Reihe: nach 6 Wochen. Exposition an der Aussenluft. Links Kupferblech, rechts Eisenblech (Vergr. 75×)

stellen hingewiesen werden. Seine verheerenden Wirkungen sind in Fig. 8 festgehalten; sowohl die Kupfer- als auch die Eisenbleche werden schon nach kurzer Zeit stark angegriffen. Die gezeigten Proben befanden sich in der Aussenluft. In Luft mit 100 % relativer Feuchtigkeit sind die Verhältnisse noch katastrophaler.

Aber auch organische Säuren, wie Glutaminsäure, Milchsäure und deren Ammoniumsalz (Beizmittel F, K und L der *Tabelle I*) müssen als Aktivatoren abgelehnt werden. In Fig. 9 sind einige durch sie hervorgerufene chemische Angriffe wiedergegeben. Dabei wurden absichtlich die Beispiele aus verschiedenen Korrosionsatmosphären gewählt. Weder Eisen noch Messing noch Kupfer widerstehen dem Angriff.

In der *Tabelle II* ist angeführt, dass wir auch mit handelsüblichen Lötdrähten, die reines oder aktiviertes Kolophonium in Form von Adern enthalten, Korrosionsversuche durchführten. Die Bilder der Fig. 10 zeigen, dass die Aktivierungsmittel der Lötdrähte Elsold A, Multicore und Superspeed Kupfer in Luft mit 100 % relativer Feuchtigkeit angreifen. Reinkolophonium rief keine Korrosionsangriffe hervor. Wie dieses, verhielten sich auch die Lötdrähte Elsold C und Actol, obwohl ihre Dekapierungsmittel aktiviert sind. Diese letzterwähnten Lötdrähte sind somit korrosionsungefährlich.

Um eine gute Übersicht zu erhalten, bewerteten wir jeden einzelnen Versuch nach einem willkürlich festgelegten Maßstab. Mit diesem war es möglich, das Versuchsmaterial in fünf Korrosionsklassen einzu-

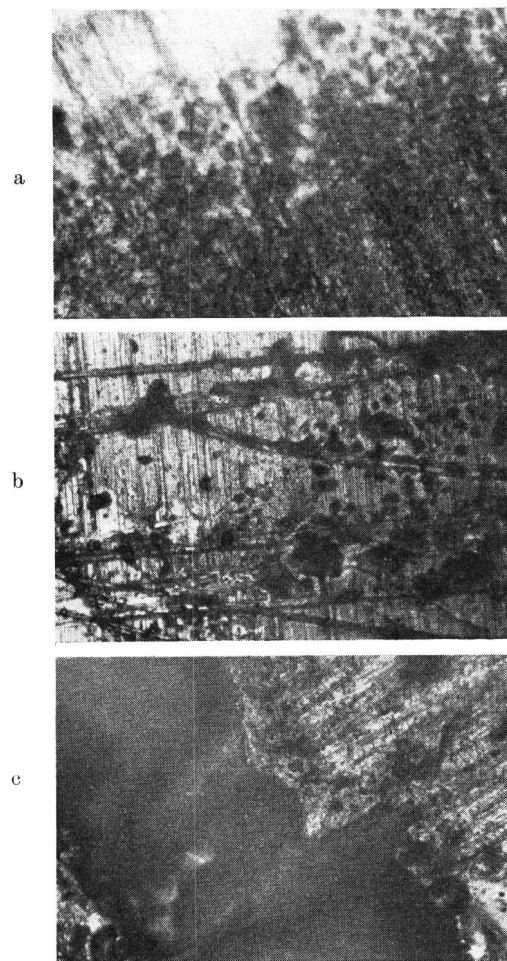


Fig. 9. Korrosionsangriffe durch organische Säuren oder deren Salze (Vergr. 75×)

- a) Beizmittel: Kolophonium + Milchsäure 1:1 (K), Eisenblech, 3 Wochen in Zentralenluft;
- b) Beizmittel: Kolophonium + Ammoniumlactat 1:1 (L), Messingblech, 3 Wochen an der Aussenluft;
- c) Beizmittel: Kolophonium + 10 % Glutaminsäure (F), Kupferblech, 3 Wochen in der Korrosionskammer (100 % rel. F.)

Tabelle II
Verwendete Lötdrähte

Lot	%Sn	%Pb	%Cu	Schmelzpunkt*)
Volldraht	30	70		257°C
Volldraht	40	60		236°C
Volldraht	50	50		215°C
Volldraht	60	40		188°C
Volldraht	70	30		191°C
<i>Handelsübliche Lötdrähte:</i>				
Reinkolophoniumlöt draht .	60	40		188°C
Reinkolophoniumlöt draht .	50	50		215°C
El sold mit				
Reinkolophoniumader .	59	39	2	185°C
El sold mit				
Reinkolophoniumader .	49,5	49	1,5	212°C
El sold A (aktiviert) . . .	59	39	2	185°C
El sold A (aktiviert) . . .	49,5	49	1,5	212°C
Multicore (aktiviert) . . .	60	40		188°C
Multicore (aktiviert) . . .	50	50		215°C
Superspeed (aktiviert) . .	60	40		188°C
Superspeed (aktiviert) . .	50	50		215°C
El sold C (aktiviert)				
korrosionssicher	59	39	2	185°C
Actol (aktiviert)				
korrosionssicher	60	40		188°C

*) abgelesen an der Liquiduskurve des Sn/Pb-Zustandsdiagramms

teilen, wie sie in Fig. 11 gekennzeichnet sind. Die auf diese Weise erhaltenen Ergebnisse sind in der graphischen Darstellung Fig. 12 zusammengefasst. Sie ist in drei übereinanderstehende Abteilungen aufgeteilt. Die mit a bezeichnete charakterisiert die Korrosionsverhältnisse auf den Kupferblechen, während b bzw. c diejenigen auf den Messing- bzw. Eisenblechen angeben. Die drei vertikalen Kolonnen bezeichnen die verschiedenen Korrosionsatmosphären, wobei jede von ihnen wiederum 3fach unterteilt ist, entsprechend der Probeentnahme nach 3, 6 und 9 Wochen. Auf der Ordinate sind jeweils die verwendeten Beizmittel A–L (vgl. *Tabelle I*) und die Handelslötdrähte angeführt. Die Ergebnisse, die mit dem Löt draht Actol erhalten wurden, sind in der Fig. 12 nicht eingezeichnet, weil diese Versuche erst nachträglich durchgeführt werden konnten. Sie entsprechen aber denjenigen des Lotes El sold C.

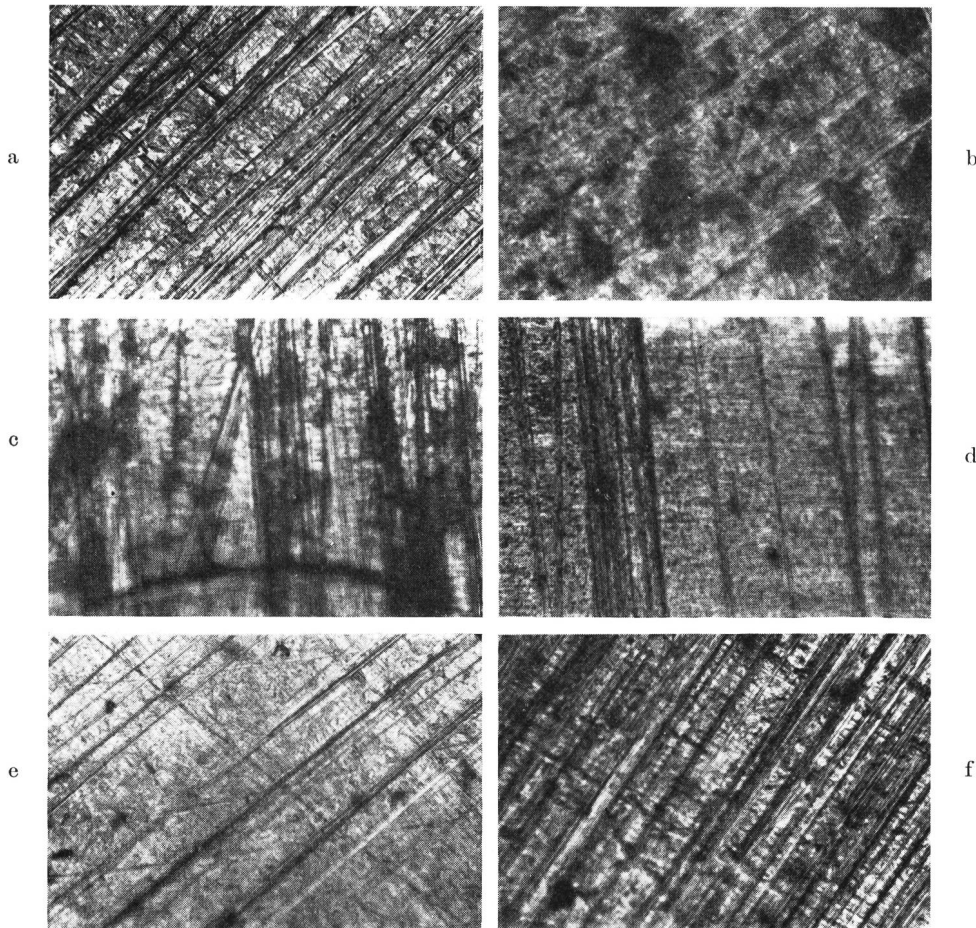


Fig. 10.

Korrosionsversuche mit handelsüblichen Lötdrähten.

- a) Reinkolophoniumdraht
- b) Elsold A
- c) Multicore
- d) Superspeed
- e) Elsold C
- f) Actol

Versuchsbedingungen: Lot: 60/40, Kupferblech, 9 Wochen in der Korrosionskammer bei 100 % rel. F. (Vergr. 75×)

Man erkennt an Hand der Fig. 12 sofort, dass Reinkolophonium (A) nicht korrosionsgefährlich ist. Kupfer und Messing werden von ihm auch unter den schwersten Bedingungen nicht angegriffen. Lediglich bei den Eisenblechen konnten unter dem Kolophonium Angriffe der Klasse 3: «schwache Korrosion», beobachtet werden. Dieser Umstand ist für die Beurteilung wertvoll, weil man dadurch die Grenze der Korrosionssicherheit des Kolophoniums erkennen kann. In der Praxis hat sich das Reinkolophonium als ungefährlich erwiesen. So darf man dasselbe auch von denjenigen Lötdrähten erwarten, die sich bei unseren Versuchen gleich verhielten. Die Fig. 12 lehrt, dass lediglich der Lötdraht Elsold C, und neben ihm noch der nachträglich geprüfte Actoldraht, dem Reinkolophonium entspricht und diese somit allein für die Praxis als korrosionsungefährlich erklärt werden dürfen. Alle übrigen Dekapierungsmittel greifen schon in relativ milden Atmosphären Kupfer, Messing und Eisen an, wenn Spuren von Feuchtigkeit zugegen sind, und dürfen deshalb für Feinlötstellen nicht zugelassen werden.

Es fällt auf, dass in der Fig. 12 die Zusammensetzung der Lötlegierung nicht berücksichtigt wurde. Bei unseren Versuchen war sie ohne Einfluss auf die Korrosionserscheinungen. Bei gleichem Beizmittel waren trotz verschiedener Komposition der Legierung die Verhältnisse gleich.

2. Die Korrosion als Funktion der Lötzeit

2. 1. Durchgeführte Versuche

Da im Betrieb nicht alle Lötstellen in der gleichen Zeit hergestellt werden – es hängt dies ab von der Geschicklichkeit des einzelnen Lötters –, untersuchten wir, ob die Korrosionsgefährlichkeit wachse, wenn das Beizmittel relativ lange auf Löttemperatur gehalten wird. Diese Versuche führten wir mit dem Volldraht 50 Sn/50 Pb durch. Als Dekapierungsmittel wurden die Beizmittel A, C, E, H und I (vgl. *Tabelle I*) herangezogen. Gelötet wurde unter den gleichen Bedingungen, wie sie unter 1. 1. beschrieben wurden, wobei jedoch die Lötzeit variiert wurde. Um uns der Praxis möglichst anzupassen, setzten wir die Lötzeiten auf 2, 4 und 6 Sekunden fest. Wir löten lediglich auf Kupfer (Löttemperatur 320°C , $\pm 5^{\circ}\text{C}$). Die Proben wurden dann während vier Wochen einer Atmosphäre von 100 % relativer Feuchtigkeit und $18\ldots 20^{\circ}\text{C}$ ausgesetzt und hernach unter dem Mikroskop untersucht, wobei die Menge der unter dem Kolophonium entstandenen Korrosionsprodukte abgeschätzt werden musste.

2. 2. Ergebnisse

Nach vierwöchigem Aufenthalt in der Korrosionskammer (100 % relative Feuchtigkeit) sahen die verschiedenen Proben jeder einzelnen Versuchsreihe gleich aus. Zwischen den in 2, 4 bzw. 6 Sekunden

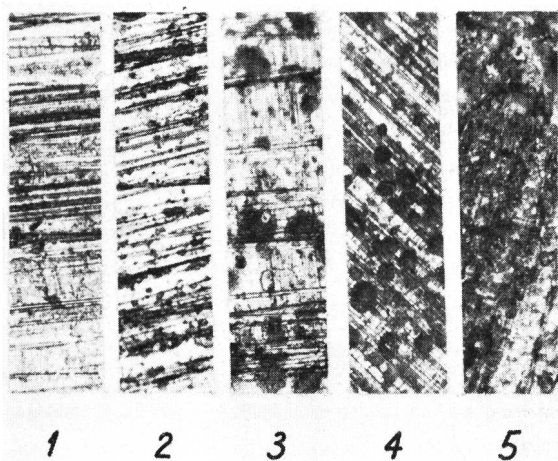


Fig. 11. Vergleichsaufnahmen zur Bestimmung der Korrosionsintensität (Vergr. 75×). Einteilung in 5 Korrosionsklassen:

- 1 keine Korrosion
- 2 Spuren einer Korrosion
- 3 schwache Korrosion
- 4 mittlere Korrosion
- 5 starke Korrosion

gelöteten Kupferblechen konnte kein Unterschied bemerkt werden. Die quantitativen Verhältnisse der gesamten Korrosionserscheinungen an den einzelnen Lötstellen waren stets die nämlichen. Die Lötzeit ist somit innerhalb des festgesetzten Bereiches ohne Einfluss auf die Korrosionsintensität.

3. Die Korrosion als Funktion der Löttemperatur

3. 1. Durchgeführte Versuche

Die Löttemperatur spielt in der Praxis eine wichtige Rolle. Je höher sie liegt, desto leichter kann im allgemeinen gelötet werden. Geht man indessen mit der Temperatur zu hoch, so stellen sich bekanntlich sehr unerwünschte Effekte, wie zum Beispiel die Oxydation des Lotes, ein, die die Qualität der Lötstelle verschlechtern. Unbekannt war indessen noch, ob und in welchem Masse der Korrosionsangriff des Beizmittels auf das gelötete Metall von der Löttemperatur abhängt. Um dies abzuklären, wurden mit den Dekapierungsmitteln A, C, E, H und I der Tabelle I und dem Volldraht 50 Sn/50 Pb auf Kupfer- und Eisenblechen in der voranstehend beschriebenen Weise (vgl. 1. 1.) gelötet. Die Lötzeit wurde konstant gehalten; sie betrug 2 Sekunden. Dagegen wurde die Löttemperatur variiert. Mit jedem Beizmittel arbeiteten wir bei 260, 300, 340, 380, 420 und 460° C. Die fertigen Versuchsbleche wurden in der Korrosionskammer (100% relative Feuchtigkeit) während vier Wochen gelagert und hernach untersucht.

3. 2. Ergebnisse

Auf den Kupferblechen waren die Lötstellen schon bei 260 und 300° C einwandfrei. Eisen liess sich bei diesen Temperaturen nur mit etwas mehr Mühe löten. Bei 420 und 460° C begann das Dekapierungsmittel rasch zu verdampfen, was bewirkte, dass das Lot

nicht mehr so weit ausfliessen konnte. Die Lötstelle war also kleiner; das Lot haftete jedoch immer noch gut auf dem Blech.

Die Korrosionsversuche brachten überraschende Ergebnisse. Der Angriff war bei den Beizmitteln A, C, E und H sowohl auf Kupfer als auch auf Eisen bei 380° C am stärksten. Bei den übrigen Temperaturen korrodierten die Bleche unter dem Kolophonium weniger heftig. Quantitative Unterschiede von Bedeutung gab es hier nicht. Die Verhältnisse sind in der Fig. 13 graphisch dargestellt. Man erkennt darin

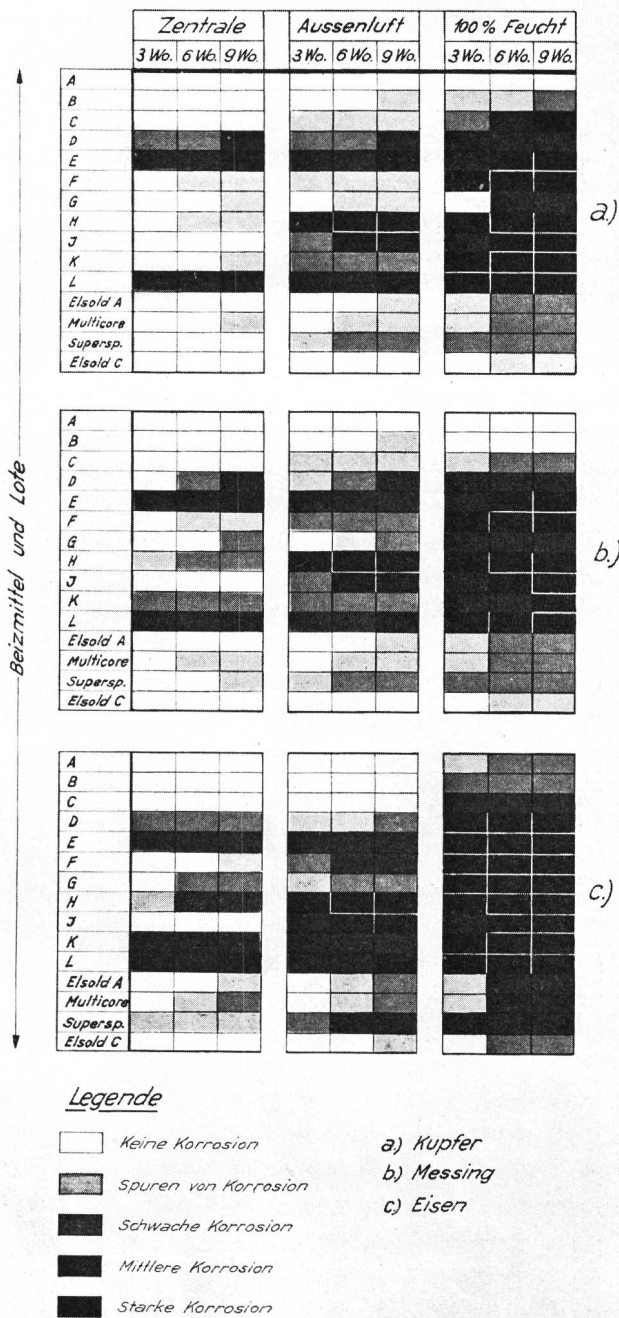


Fig. 12. Zusammenfassung und graphische Darstellung der Ergebnisse aller Korrosionsversuche. A-L bedeuten verschiedene Beizmittel (vgl. Tabelle I)

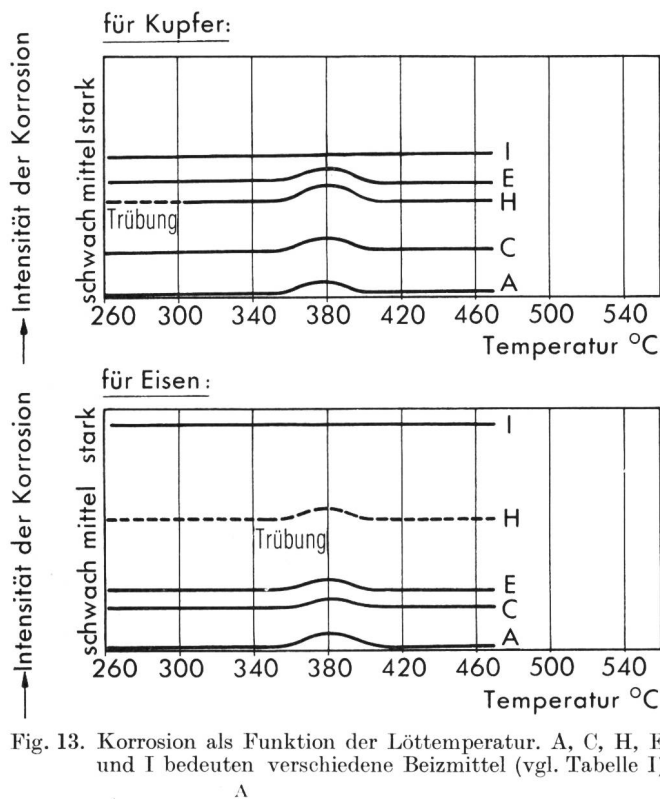


Fig. 13. Korrosion als Funktion der Löttemperatur. A, C, H, E und I bedeuten verschiedene Beizmittel (vgl. Tabelle I)

leicht das Korrosionsmaximum bei 380° auf beiden Metallen. Lediglich bei den Versuchen mit dem Beizmittel I (Kolophonium + 5% NH_4Cl) fehlt die erwähnte Erscheinung. Der Angriff war aber hier so stark, dass es unmöglich war, Unterschiede zwischen den einzelnen Proben der Versuchsreihe festzustellen.

An Hand der Mikrobilder der Fig. 14 kann die erwähnte Erscheinung bei drei Versuchsreihen überprüft werden. Aus Platzrückichten beschränken wir uns darauf, nur je drei Aufnahmen wiederzugeben. Im Bilde oben links bedeuten die dunkeln Linien keine Korrosionsprodukte, sondern Risse im darüberliegenden Kolophonium. Bei den Korrosionen der Kolonne A handelt es sich um Spuren punktförmiger Ausbildung auf Eisen. Immerhin springt das Maximum bei 380° C sofort in die Augen. Die Bläschen auf den Bildern der Kolonne H entsprechen gasförmigen Zersetzungsprodukten. Die massgebenden Korrosionsprodukte erkennt man indessen an den Grautönungen (Flächenkorrosionen), die wiederum bei 380° C ein Maximum erreichen. Im obersten und untersten Bild wirken die Kolophoniumsprünge etwas störend.

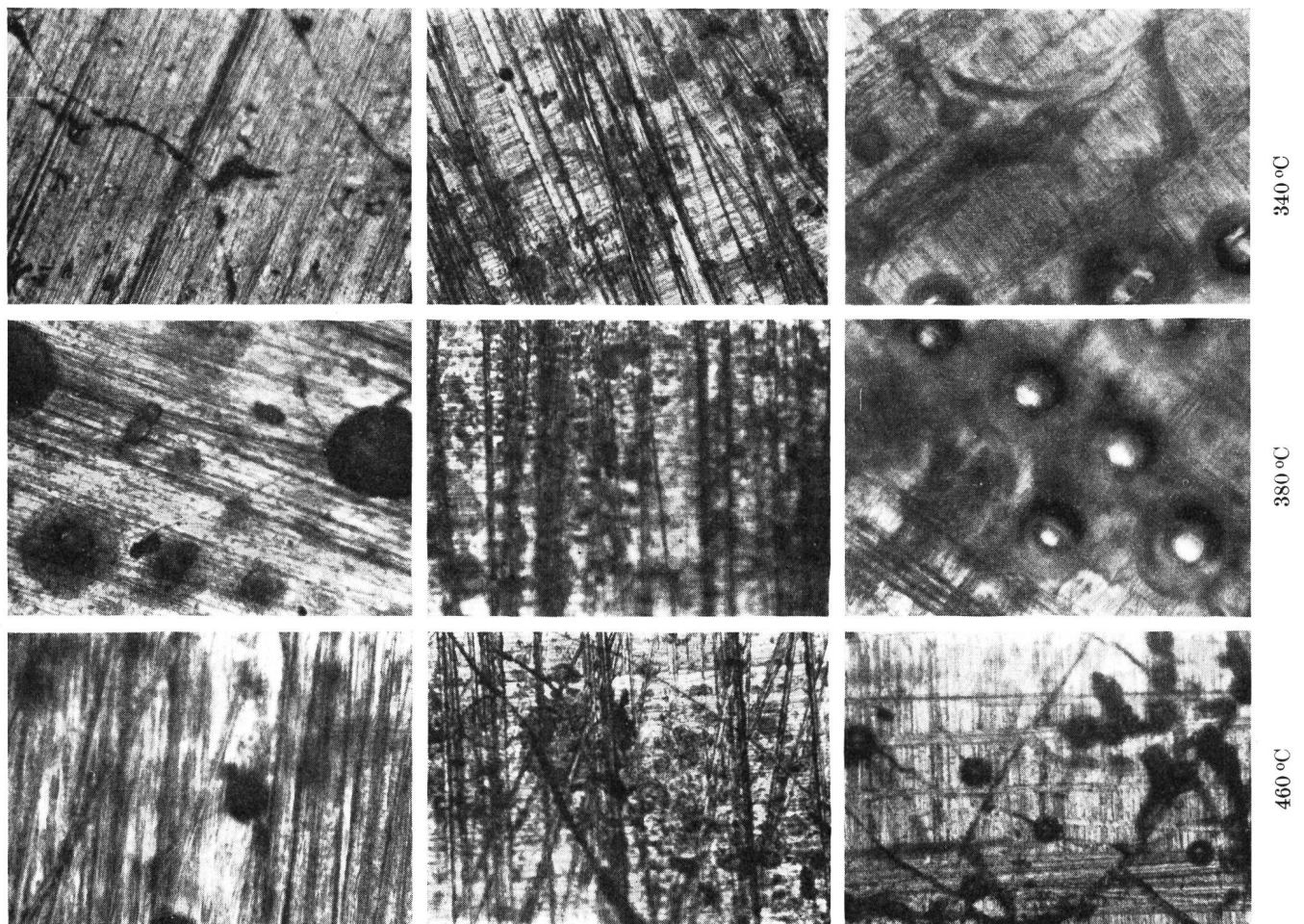


Fig. 14. Korrosionsangriffe in Abhängigkeit der Löttemperatur. Kolonne A: Beizmittel: Reinkolophonium, Eisenblech
Kolonne C: Beizmittel: Reinkolophonium + 1% Anilinchlorhydrat, Kupferblech

Kolonne H: Beizmittel: Kolophonium + 20% Harnstoff, Kupferblech
Alle Proben befanden sich 4 Wochen in der Korrosionskammer (100% rel. F.)

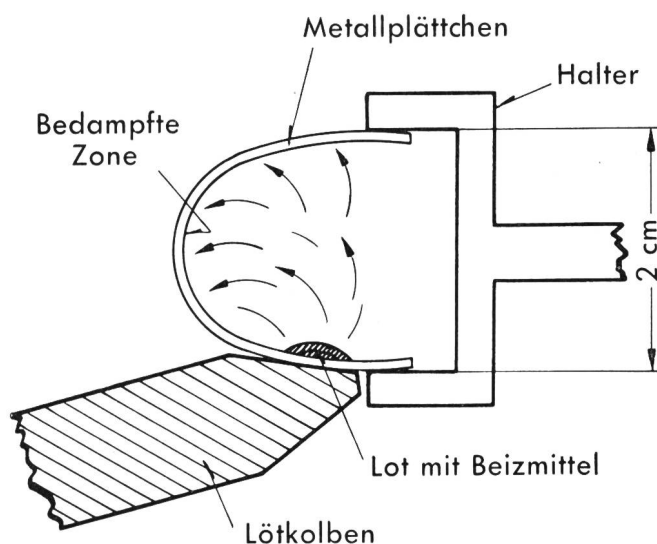


Fig. 15. Versuchsanordnung zur Bestimmung der Korrosion verursacht durch Beizmitteldämpfe

Für die erwähnte Erscheinung sind verschiedene Erklärungen möglich. Die chemischen und physikalischen Verhältnisse sind indessen von Beizmittel zu Beizmittel so verschieden und auch kompliziert, dass es schwierig ist, die ursächlichen Zusammenhänge eindeutig klarzulegen. Wir beschränkten uns deshalb hier darauf, lediglich die beobachteten Phänomene zu beschreiben.

Für die Praxis ergibt sich daraus ein wichtiger Hinweis: Es ist dringend erforderlich, die Löttemperatur so tief als möglich zu halten. Am günstigsten ist es, wenn man unter 340°C arbeitet.

4. Die korrosive Wirkung der Beizmitteldämpfe

4. 1. Durchgeführte Versuche

Während man lötet, verdunsten flüchtige Anteile des geschmolzenen Kolophoniums und der beigefügten aggressiven Aktivatoren. Die mit steigender Kolbentemperatur mengenmässig zunehmenden Beizmitteldämpfe schlagen sich in Form von Sublimaten wieder auf benachbarten Metallteilchen nieder. Solche Niederschläge sind sehr gefürchtet, weil sie meistens an Stellen, an denen man es gar nicht erwartet, Korrosionsangriffe auslösen und damit perfide Schäden verursachen. So kommt es vor, dass beispielsweise der Wicklungsdraht von Relaispulen durch derart kondensierte Beizmitteldämpfe durchgefressen wird. Da es sich in der Regel dabei um sehr dünne Drähte handelt, werden sie schon in verhältnismässig kurzer Zeit unterbrochen, was zu unliebsamen Betriebsstörungen führt.

Es war deshalb angezeigt, die korrosive Wirkung der Beizmitteldämpfe besonders aufmerksam zu untersuchen. Um den Verhältnissen der Praxis einigermaßen gerecht zu werden, stellten wir die Versuchsplättchen mit einer Einrichtung her, die in Fig. 15 im Aufriss schematisch dargestellt ist. Das gebogene Kupfer- oder Eisenblech war in einen Halter einge-

spannt. Lot und Beizmittel wurden immer auf den unteren waagrechten Teil des Bleches gebracht. Der 400°C warme Kolben schmolz von aussen her Lot und Dekapierungsmittel. Die Lötzeit betrug 20 Sekunden. Ein Teil der Beizmitteldämpfe kondensierte auf dem Versuchsblech, wie dies in der Fig. 15 mit Pfeilen angedeutet ist. Für diese Versuche zogen wir den Voll- draht 60 Sn/40 Pb und die Beizmittel C, E, G, H, I und K (Tabelle I) heran. Ausserdem führten wir diese Bedampfungsproben auch mit den handelsüblichen Lötdrähten: Reinkolophoniumdraht 60/40, Elsold A (59/39/2), Multicore 60/40, Superspeed 60/40, Elsold C (59/39/2) und Actol (60/40) (vgl. Tabelle II), durch.

Die bedampften Kupfer- und Eisenbleche wurden während sechs Wochen in der Korrosionskammer bei $18\ldots 20^{\circ}\text{C}$ gelassen. Um jedoch zu verhüten, dass allfälliges Kondensationswasser die niedergeschlagenen Beizmitteldämpfe vom Bleche wegschüle, wurde die relative Luftfeuchtigkeit lediglich auf 90 % eingestellt.

4. 2. Ergebnisse

Die erhaltenen Ergebnisse bestätigen durchwegs, dass es berechtigt ist, den Beizmitteldämpfen beson-

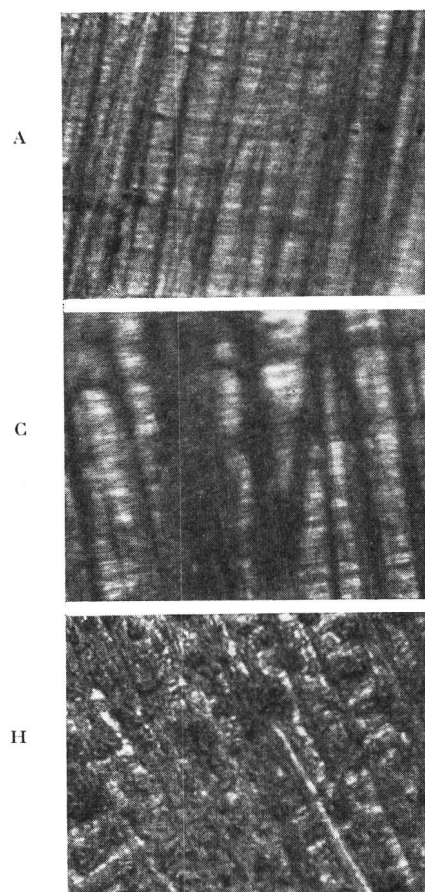


Fig. 16. Korrosionsangriff auf Kupferbleche durch Beizmitteldämpfe (Vergr. $75\times$)

Beizmittel	{	A: Reinkolophonium	
		C: »	+ 1 % Anilinchlorhydrat
		H: »	+ 20 % Harnstoff

Exposition der Proben während 6 Wochen in der Korrosionskammer bei 90 % rel. F.

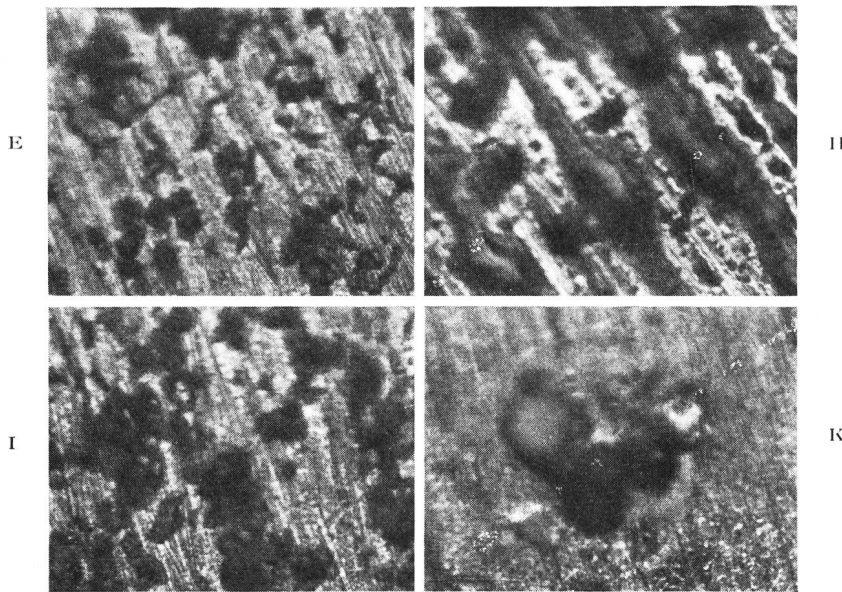


Fig. 17.

Korrosionsangriff auf Eisenbleche durch Beizmitteldämpfe (Vergr. 75×)

Beizmittel

E = Kolophonium + 5% Anilinchlorhydrat
 H = » + 20% Harnstoff
 I = » + 5% Ammoniumchlorid
 K = » + Milchsäure (1:1)

Exposition: 6 Wochen in der Korrosionskammer bei 90 % rel. F.

dere Aufmerksamkeit zu schenken. Die angeführten Beispiele sprechen eine deutliche Sprache. In Fig. 16 sind die Mikroaufnahmen von drei Kupferblechen abgebildet. Die Dämpfe des Reinkolophoniums sind ungefährlich (Fig. 16 A). Dagegen greifen starke Aktivatoren, wie zum Beispiel Anilinchlorhydrat (Fig. 16 C) und Harnstoff (Fig. 16 H), Kupfer stark an. Aber auch die übrigen aktivierten Beizmittel der *Tabelle I* geben stark angreifende Dämpfe ab.

In Fig. 17 sind vier Korrosionsangriffe auf Eisenbleche festgehalten. Die Bilder bedürfen wohl keines Kommentars.

Von besonderer Bedeutung sind die Versuche mit den handelsüblichen Lötdrähten. Fig. 18 gibt die Verhältnisse auf den Eisenblechen wieder. Reinkolophoniumdämpfe verursachen praktisch keine Korrosionen auf Eisen (Fig. 18a). Dagegen greifen die Sublimare der Beizmittel, die den aktivierten

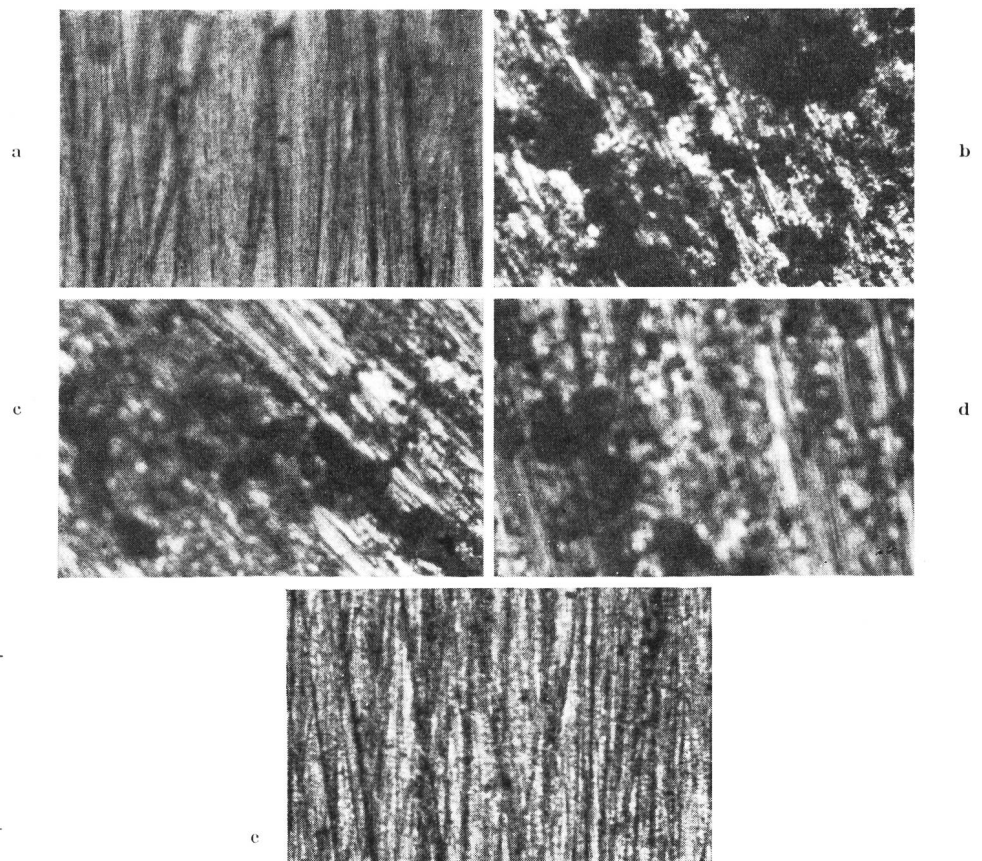


Fig. 18.

Korrosionsangriff auf Eisenblech durch die Beizmitteldämpfe handelsüblicher Lötdrähte (Vergr. 75×)

- a) Reinkolophoniumdraht
- b) Elsold A
- c) Multicore
- d) Superspeed
- e) Elsold C und Actol

Exposition: 6 Wochen in der Korrosionskammer bei 90% rel. F.

Kolophoniumadern der Drähte Elsold A, Multicore und Superspeed entstammen, das Eisenblech an (Fig. 18 b-d). Das nach neuen Gesichtspunkten aktivierte Elsold C erwies sich wiederum als unschädlich, gleich dem Reinkolophonium (Fig. 18e). Nachträgliche Versuche zeigten, dass auch Actol als ungefährlich bezeichnet werden kann. Auf den Kupferblechen fielen die Ergebnisse ähnlich, jedoch mit geringeren quantitativen Unterschieden aus.

Auch diese Versuche lassen es zweckmässig erscheinen, in der Praxis die Löttemperatur möglichst tief zu halten. Unter 320° C verflüchtigen sich bedeutend weniger Anteile des Beizmittels als bei höheren Temperaturen. Im Sinne der Vorbeugung ist es ganz allgemein, ja sogar bei den unschädlichen Lötungen wie Reinkolophoniumdraht, Elsold C und Actol richtig, wenn man die Verdampfung des Dekapierungsmittels auf ein Minimum herabdrückt. Zudem wird das Harz an der zu lötenden Stelle benötigt. Verdampft zu viel davon, so wird die Metalloberfläche nicht genügend vom Metalloxyd befreit. Es kann dann keine einwandfreie Lötstelle entstehen. Auch aus diesem Grunde muss die Löttemperatur möglichst tief gehalten werden.

III. Physikalisch-chemische Untersuchungen

1. Allgemeines

Neben dem Korrosionsverhalten, für das vorwiegend topo- und elektrochemische Reaktionen an der Oberfläche des Metalles und des Lotes massgebend sind, interessieren den Praktiker auch die mechanischen Eigenschaften der Lötstellen. Diese sind in erster Linie bedingt durch Gefüge und Zusammensetzung der Lote und der gelöteten Metalle. Wärmeinflüsse beim Lötvorgang können indessen die beteiligten Metalle strukturell verändern und dadurch die Eigenschaften der Lötstelle wesentlich wandeln. Ferner treten bei hohen Löttemperaturen Oxydationsreaktionen in den Vordergrund, welche die Festigkeit der Lötstellen unangenehm beeinflussen. Von Bedeutung sind hier auch die Diffusionsvorgänge vom Grundmetall ins Lot und umgekehrt, wobei sich an den Grenzflächen besondere Zwischenschichten ausbilden können.

Es ist für den Praktiker notwendig, den Einfluss all dieser Faktoren zu kennen, damit er die Lötarbeiten unter optimalen Bedingungen ausführen lassen kann. Wir entschlossen uns deshalb, ausgedehnte Versuche in den erwähnten Richtungen durchzuführen. Die Ergebnisse sind in den folgenden Abschnitten zusammengestellt.

2. Der Temperatureinfluss auf das Gefüge des Kupfers

2. 1. Durchgeführte Versuche

Metalle, die zu Drähten gezogen oder zu Blechen gewalzt werden, verändern bei dieser maschinellen Bearbeitung ihr Kristallitgefüge. Es treten dabei die sogenannten Zieh- bzw. Walztexturen auf, was durch veränderte mechanische Eigenschaften zum Ausdruck

kommt. Es handelt sich dabei allerdings um sogenannte metastabile Zustände, die durch Wärmebehandlung rückgängig gemacht werden können, das heisst, das Metall rekristallisiert in der Wärme. Beim Löten und vor allem beim Schweiessen treten örtlich ziemlich hohe Temperaturen auf, so dass lokale Rekristallisationszonen entstehen, die sich als mechanisch schwache Stellen gefährlich auswirken. Unsere Versuche hatten zum Ziele, die Rekristallisationserscheinungen an Kupferdrähten und dünnen Kupferblechen durch kurzzeitige Wärme einwirkung festzustellen. Wir arbeiteten aber lediglich bei Temperaturen, die in der Praxis beim Löten durchaus vorkommen.

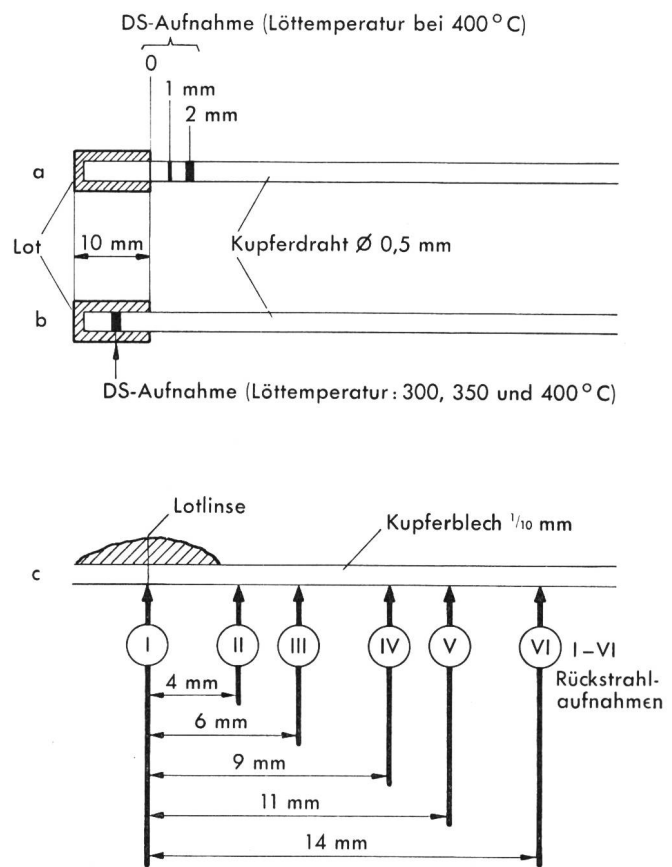


Fig. 19. Programm für die Röntgenaufnahmen, die an gelöteten Drähten und Blechen gemacht werden sollten

a) In einer ersten Versuchsreihe dehnten wir die Wärmebehandlung des Kupfers allerdings auf 10 Minuten aus, weil wir zunächst einmal die Gleichgewichtsverhältnisse für verschiedene Temperaturen feststellen wollten. Deshalb wurden hartgezogene Kupferdrähte ($\varnothing 0,5$ mm) in einem Aluminiumblock während der oben angegebenen Zeit auf folgenden Temperaturen gehalten: 200, 240, 270, 300, 400, 500° C. Die so behandelten Drähte wurden senkrecht zur Längsachse angeschliffen, poliert und nach den üblichen Methoden geätzt. Daneben wurden von den gleichen Drähten Röntgenaufnahmen nach der Methode von *Debye-Scherrer* hergestellt.

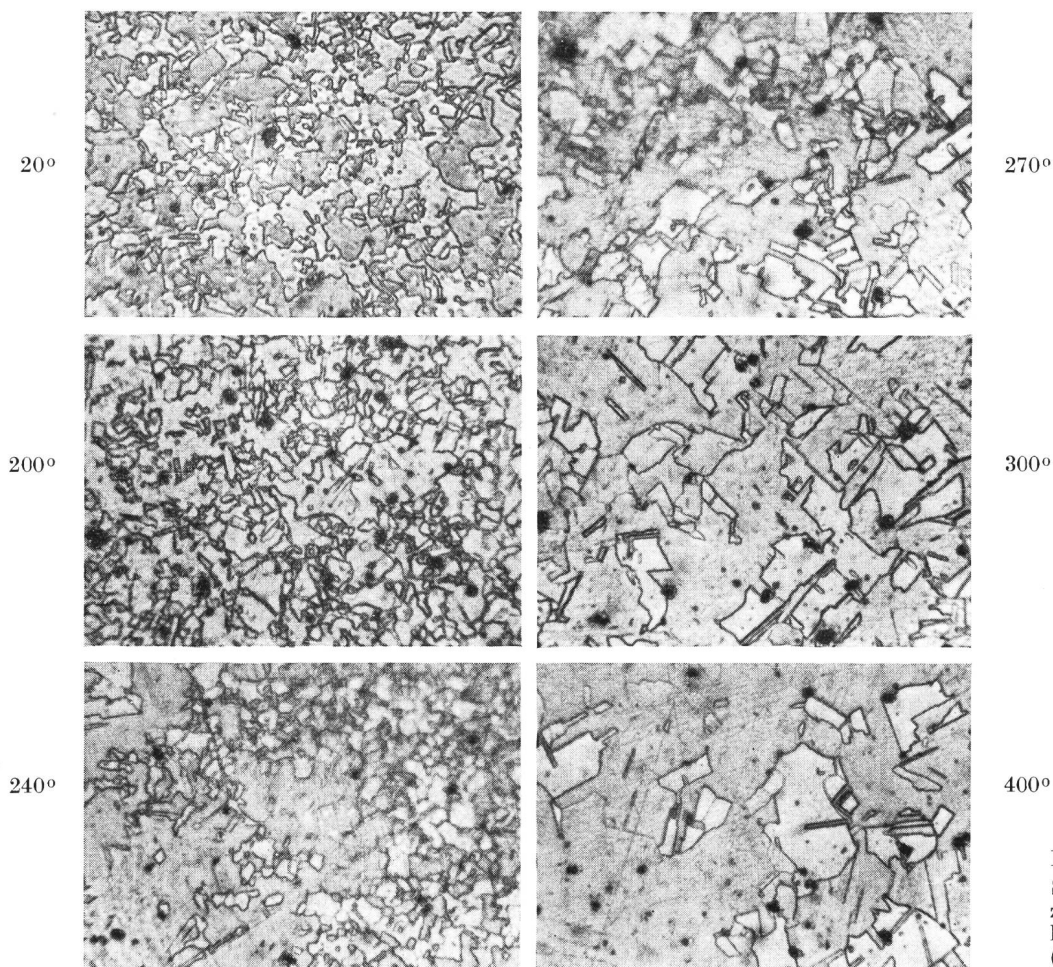


Fig. 20.
Strukturänderung von hartgezogenen Kupferdrähten in Abhängigkeit der Temperatur (Vergr. 540 \times)

b) Die zweite Versuchsreihe bestand darin, dass das Ende eines hartgezogenen Kupferdrahtes (\varnothing 0,5 mm) auf einer Länge von 1 cm mit dem LötKolben während 5 Sekunden verzinkt wurde. Die Löttemperatur lag bei 400° C. Hernach wurde das noch flüssige Lot abgeschleudert und der Rest mit HCl 1:1 abgelöst. Vom Drahte fertigten wir nun, ausgehend von der Lotgrenze, im Abstände von je 1 mm Röntgenaufnahmen nach Debye-Scherrer an. Die Versuchsbedingungen sind in der Fig. 19a schematisch dargestellt.

c) Bei einer weiteren Versuchsreihe wurden die hartgezogenen Kupferdrähte bei 300, 350 und 400° C während 5 Sekunden gelötet und im übrigen gleich wie die voranstehend beschriebenen behandelt. Die Röntgenaufnahmen stammen aber diesmal von der Mitte der gelöteten Zone (vgl. Fig. 19b).

d) Endlich sollte noch über die Verhältnisse auf einem 0,1-mm-Kupferblech Klarheit geschaffen werden. Es wurde auf der Oberseite des Bleches eine Lötstelle hergestellt (Lötzeit: 5 Sekunden, Temperatur: 400° C). Von der Unterseite wurden, entsprechend der Fig. 19c, Röntgenrückstrahlufnahmen gemacht, um die Rekristallisationsverhältnisse zu ermitteln.

2. 2. Ergebnisse

a) In Fig. 20 ist das Gefüge von Kupferdrähten nach einer Wärmebehandlung von 10 Minuten Dauer abgebildet. Die Bilder stammen von Flächen senkrecht zur Längsachse des Drahtes. Bei 20° C haben wir es mit einer sogenannten Ziehstruktur zu tun. Die langgezogenen Kristallite sind längs der Drahtachse orientiert und im wiedergegebenen Bilde quer angeschliffen. Sie erscheinen daher als kleine, stark deformierte Flächen. Die Korngrenzen sind als schwarze Linien erkennbar. Vereinzelt Cu_2O -Einschlüsse sind als dunkle Punkte erkennbar. Aus der Fig. 20 kann man ersehen, dass bei so lange dauernder Erwärmung die Rekristallisation bei 240° C einsetzt und mit steigender Temperatur immer stärker in den Vordergrund tritt. Bei 300° ist der Draht bereits vollständig umkristallisiert und die Ziehstruktur gänzlich verschwunden, was an den grossen Kristalliten des Gefügebildes erkannt werden kann.

Von den gleichen Drähten stammen auch die Röntgenbilder der Fig. 21. Erscheinen die Interferenzlinien eines Diagrammes durchgezogen, so liegt ein feinkristallines Material vor; sind sie aber in einzelne Punkte aufgeteilt, so setzt sich die untersuchte Probe aus größeren Kristalliten zusammen.

Nach E. Brandenberger¹⁾ liegt die mittlere lineare Kristallgrösse im ersten Falle unter, im zweiten über 10^{-4} cm. In unserem Falle kann somit an Hand der Röntgendiagramme festgestellt werden, ob und inwieweit der Kupferdraht rekristallisiert ist. Durch die Wärmebehandlung bei 200° C wurde der feinkristalline Zustand des gezogenen Kupferdrahtes noch nicht verändert (Fig. 21a). Dass die Ziehstruktur erhalten geblieben ist, erkennt man im besonderen auch an der ungleichmässigen Schwärzung der einzelnen Linien. Die dunkleren Segmente, die im Diagramm nach einer bestimmten Ordnung auftreten, entsprechen einer bevorzugten Stellung der interferierenden Netzebenen und damit der Kristallite. Bei gezogenen Drähten liegt die bevorzugte Richtung parallel zur Drahtachse. Im Bild b der Fig. 21 kann man bereits einzelne schwarze Punkte auf den Interferenzlinien erkennen, das heisst, bei 240° C fanden gerade die ersten Rekristallisationsvorgänge statt. Bei 270° C ist die Ziehstruktur schon weitgehend, bei 300° C vollständig verschwunden. Die Interferenzlinien der beiden untersten Bilder der Fig. 21 sind fast vollständig in einzelne Punkte aufgelöst. Die Röntgendiagramme bestätigen somit vollständig die Schlüsse, die aus den Schliffbildern (Fig. 20) gezogen wurden.

¹⁾ E. Brandenberger. Röntgengraphisch-analytische Chemie. Basel 1945. S. 93 ff.

Die untersuchten Drähte sind durch die Wärmebehandlung bei Temperaturen über 240° C vollständig weich geworden und besitzen ganz andere mechanische Eigenschaften als im früheren Zustande.

b) Wenn ein Draht an einem Ende erhitzt wird, so tritt mit zunehmendem Abstand von der erwärmten Stelle ein Temperaturabfall ein. Wählt man die Löttemperatur hoch genug, so rekristallisiert der Draht nicht nur unter dem Lot, sondern auch noch in einiger Entfernung von der Lötstelle. Diese Verhältnisse sollten nun unter den Bedingungen, wie sie in Fig. 19a angegeben sind, abgeklärt werden. Direkt am Rande der Lötstelle war der Draht weitgehend rekristallisiert (Fig. 22a), im Abstände von 1 mm reichte die von der Lötstelle abgeflossene Wärme nur noch zur Rekristallisation einzelner Kristallite. Im dazugehörigen Bilde (Fig. 22b) sind die Interferenzlinien von einzelnen Punkten durchsetzt. Von 2 mm an blieb die *Ziehstruktur* erhalten, obwohl mit einem 400° C heissen Kolben gelötet wurde (Fig. 22c).

Diese Verhältnisse sind sehr gefährlich, weil bei regelmässigen Erschütterungen gerade die rekristallisierte Zone Gefahr läuft, Ermüdungsbrüche zu erleiden.

c) Unter dem Lot blieb die Ziehstruktur des Drahtes bei einer Löttemperatur von 300° C erhalten, bei 350° C begann die Rekristallisation, und bei 400° C

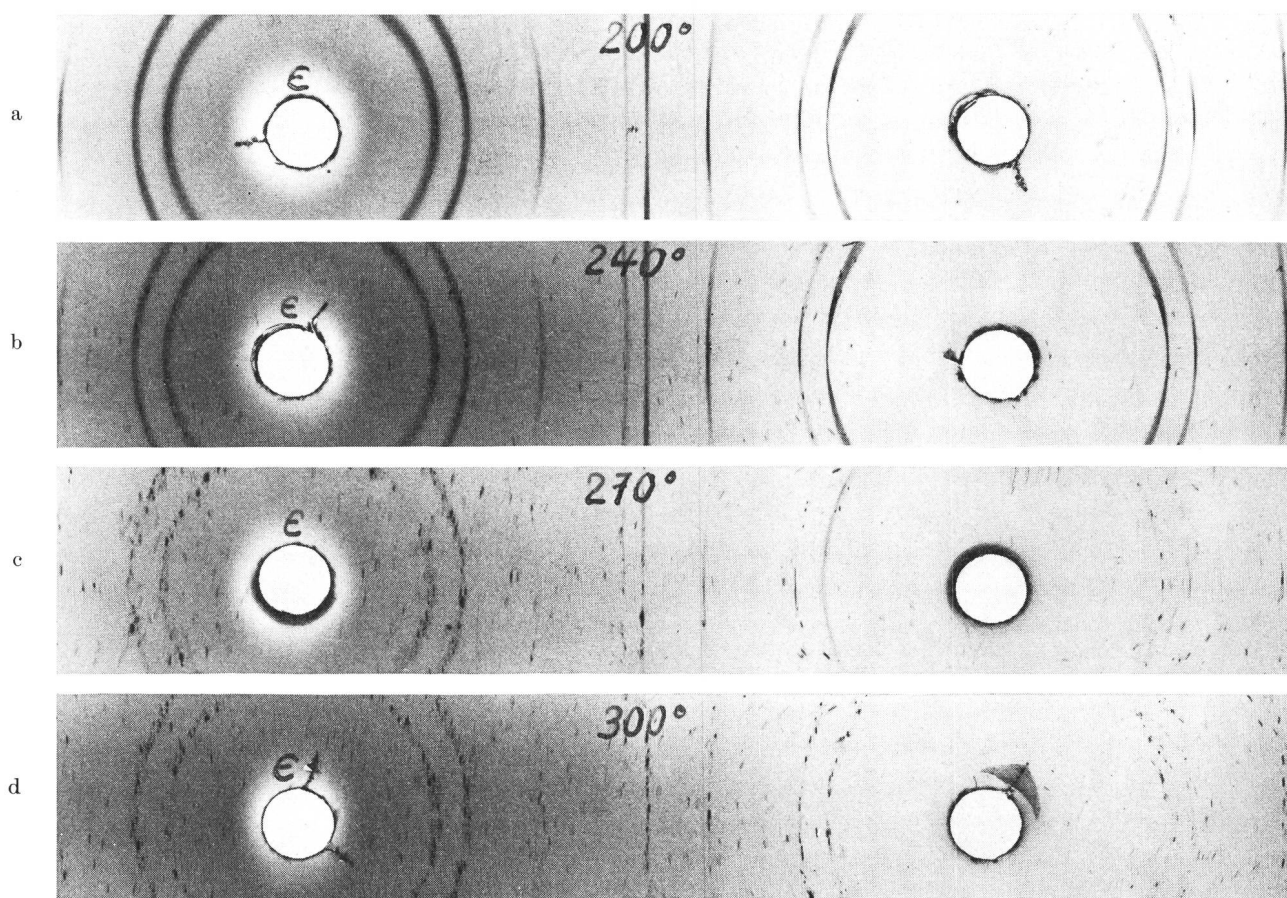


Fig. 21. Rekristallisation von hartgezogenen Kupferdrähten in Abhängigkeit der Temperatur (Röntgendiagramme nach Debye-Scherrer)

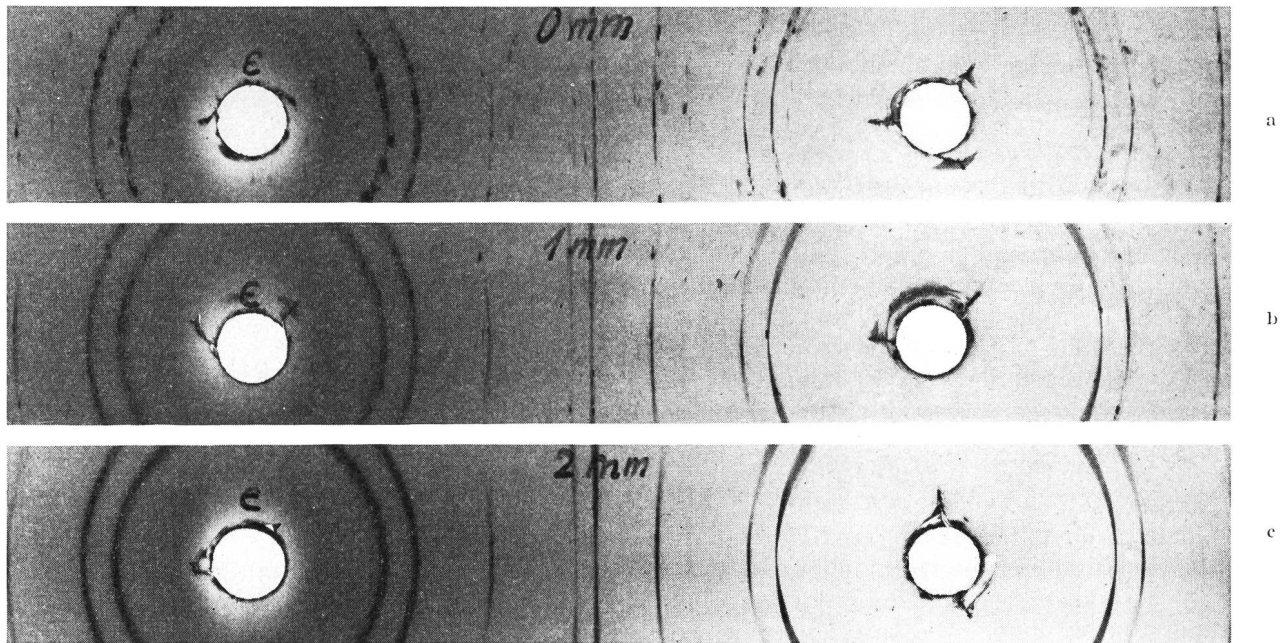


Fig. 22. Rekristallisation eines hartgezogenen Kupferdrahtes ausserhalb einer Lötstelle in verschiedener Entfernung. Die Debye-Scherrer-Aufnahmen wurden entsprechend der Fig. 19a gemacht

war sie praktisch vollständig (vgl. Fig. 23). Die Versuchsbedingungen sind in Fig. 19b festgehalten.

Die Drähte, die in den Telephonzentralen oder im Apparatebau gelötet werden, sind zwar nicht so hart gezogen wie die verwendeten Versuchsdrähte. Dennoch muss darauf geachtet werden, dass es beim Lötten nicht zu Rekristallisationen und damit zu mechanischen Schwächungen des Drahtes kommt. Es ist deshalb *notwendig*, die Löttemperatur niedrig zu halten.

d) Lötet man auf Blechen, so kommt der Kolben mit einer grösseren Fläche des Metalles in Berührung. Dadurch wird der Wärmeübergang besser und der Rekristallisationsbereich grösser. In der Fig. 24 sind die entsprechend der Fig. 19c hergestellten Röntgenrückstrahltaufnahmen zusammengestellt. Bis zum Abstand von 6 mm von der Lotlinsenmitte (Aufnahme III) wurde das Blech vollständig, bis 11 mm teilweise rekristallisiert (Aufnahmen IV und V). Im Bild V kann man nur noch einzelne Punkte auf den

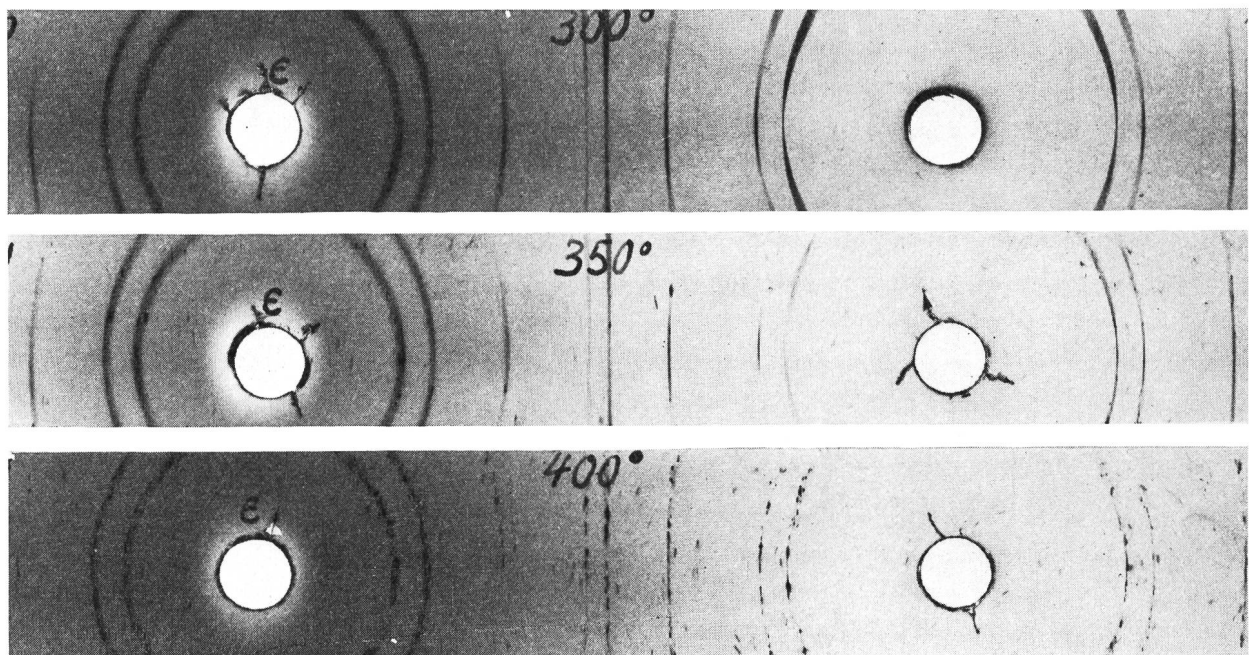


Fig. 23. Rekristallisation eines hartgezogenen Kupferdrahtes unter der Lötstelle als Funktion der Löttemperatur. Debye-Scherrer-Aufnahmen entsprechend Fig. 19b

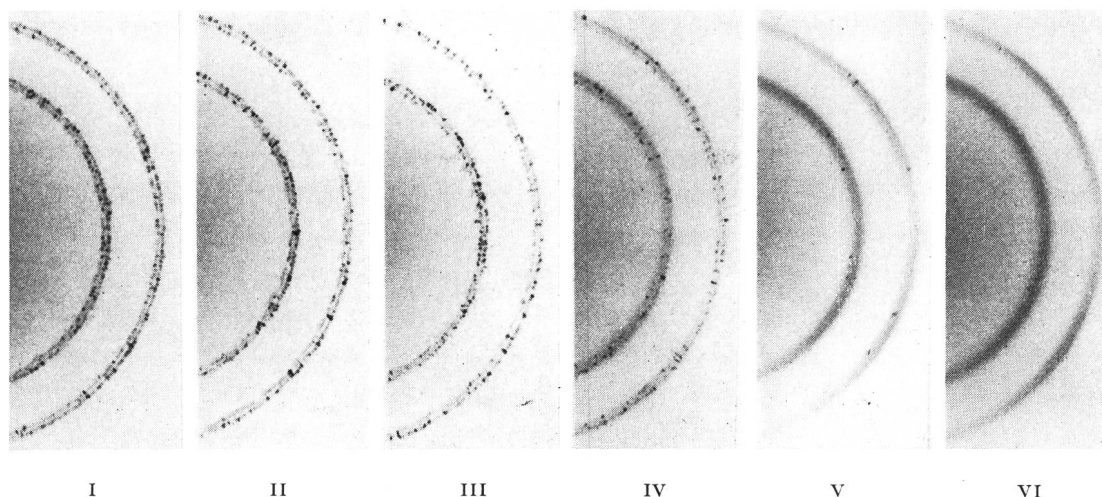


Fig. 24. Rekristallisation eines Kupferbleches unter und in der Umgebung einer Lötstelle. Röntgenrückstrahlauflagen gemäss Fig. 19c

Interferenzlinien erkennen. In der Aufnahme VI kommt die noch vollständig erhaltene feinkristalline Walztextur des Bleches zum Ausdruck (Abstand 14 mm). Es ergibt sich daraus, dass auch Bleche nicht zu heiss gelötet werden sollten.

3. Zerreiissfestigkeit und elektrischer Übergangswiderstand von Lötstellen

3. 1. Durchgeführte Versuche

Nach dem Vorangegangenen ist zu erwarten, dass die Löttemperatur auch einen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften der Lötstelle ausübt. Wir suchten diesen mit Hilfe der Zerreiissfestigkeit zu ermitteln. Dabei gingen wir so vor, dass wir zwei 1,5 mm dicke und 10 cm lange, hartgezogene Kupferdrähte zusammenlöteten. Um vergleichbare Werte zu erhalten, arbeiteten wir mit einer automatischen Lötvorrichtung, bei der die Lötzeit auf zwei Sekunden festgelegt und auf eine Millisekunde genau eingehalten werden konnte. Die Löttemperatur wurde mit einem elektrischen Stromstoss durch die zu verbindenden Drähte erzeugt und konnte durch Regulierung der Stromstärke mit einem Variac genau eingestellt werden. Sie wurde mit einem Thermoelement gemessen und mehrfach nachkontrolliert. Ein Gegengewicht sorgte dafür, dass die Drähte beim Löten gespannt und trotz der Wärmeausdehnung eng aneinander liegen blieben. Die automatische Lötteinrichtung (Konstruktion nach F. Sandmeier) ist in der Fig. 25 abgebildet. Die gesamte Versuchseinrichtung ist in der Fig. 26 wiedergegeben. Von jedem Lötendraht wurden mit der Hackmaschine 2 mm lange Stückchen abgeschnitten. In der Mitte der eingespannten Drähte war die Erwärmung am grössten. An diese Stelle wurde das zu schmelzende Lotstückchen gebracht. In der Fig. 27 wird die Ober- und die Unterseite der fertigen Lötstelle gezeigt.

Von der Lötstelle wurde zunächst die Länge des zerflossenen Lotes gemessen, in der Meinung, Anhaltspunkte über das Dekapierungsvermögen der verschie-

denen Beizmittel zu erhalten. Daneben bestimmten wir den elektrischen Übergangswiderstand der Lötstelle, der ja für die Nachrichtentechnik von grösster Bedeutung ist. Wir benützten dazu ein nach dem Prinzip der Thomsonbrücke gebautes $m\Omega$ -Meter. Zum Schlusse stellten wir mit der «Drage»-Zerreiissmaschine der Firma Dr. Epprecht AG, Zürich, die Zerreiiss- oder genauer die Scherfestigkeit der hergestellten Proben fest.

Die Prüflinge wurden bei verschiedenen Temperaturen, nämlich bei 280°, 340°, 380°, 450° und 550° C gelötet. Um gute Durchschnittswerte zu erhalten, wurden jeweils 15 gleiche Lötstellen hergestellt, für die Auswertung jedoch lediglich die errechneten Mittelwerte herangezogen. Für die hier beschriebenen Versuche wurden, mit Ausnahme des Actols, die handelsüblichen Lote gemäss Tabelle II verwendet.

3. 2. Ergebnisse

Der besseren Übersichtlichkeit wegen wurden die Versuchsergebnisse graphisch aufgezeichnet und in der Fig. 28a—c zusammengefasst.

Ganz allgemein kann man feststellen, dass die Länge der Lötstelle mit steigender Temperatur wächst. Das hängt zunächst einmal mit der abnehmenden Viskosität des heisser werdenden Lotes zusammen. Die Legierung wird flüssiger und breitet sich, weniger gehemmt durch eine grosse innere Reibung, weiter auf der Unterlage aus. Das Beizmittel scheint hier auch eine gewisse, wenn auch untergeordnete Rolle zu spielen, denn die aktivierten Lote benetzen bei den tieferen Temperaturen etwas besser als die Reinkolophoniumdrähte. Eine Ausnahme bildet das aktivierte Elsold C, bei dem die mittlere Länge der Lötstelle bei 280° unter 20 mm liegt (vgl. Fig. 28c).

Für den Übergangswiderstand ist die Länge der Lötstelle bzw. die Grösse der Kontaktfläche zwischen den beiden Kupferdrähten massgebend. Je grösser sie ist, desto kleiner wird jener. Es ist deshalb ganz selbstverständlich, dass die Kurven der Fig. 28b

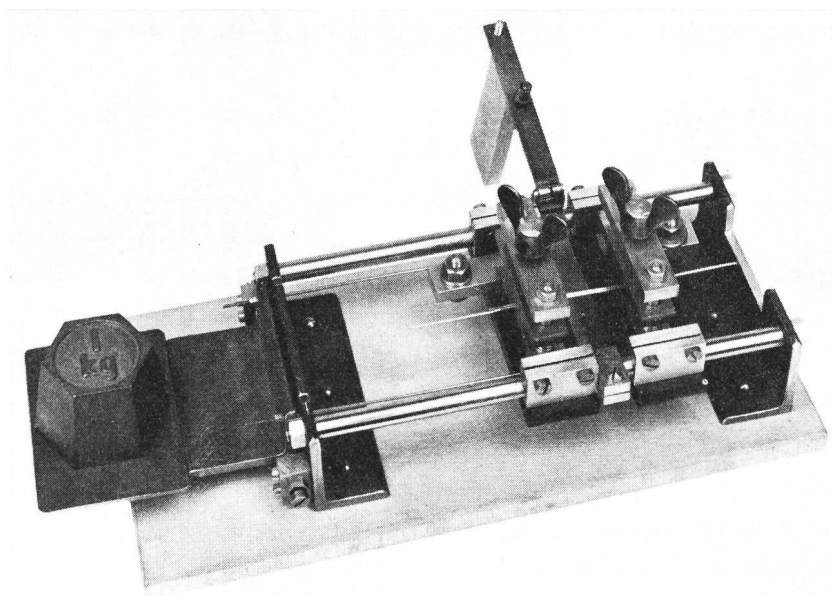


Fig. 25.

Lötapparat nach Angaben von F. Sandmeier
(Detailaufnahme)

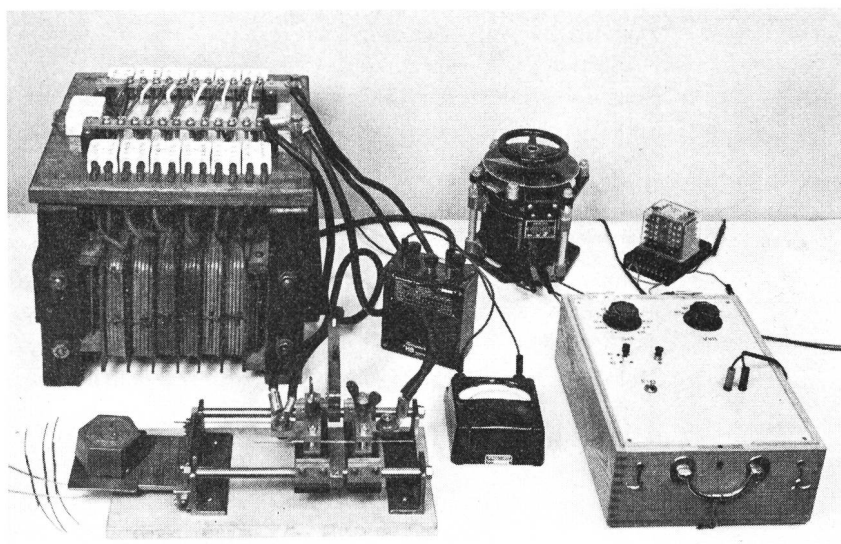


Fig. 26.

Zusammengestellte Versuchseinrichtung zur
serienmässigen Herstellung von gleichwertigen
Lötstellen

gegenläufig zu denen der Fig. 28c ausgefallen sind. Wiederum zeichnen sich die aktivierten Lote aus. Der Übergangswiderstand liegt bei ihnen zwischen 0,8... 0,9 m Ω und ist weniger temperaturabhängig als bei den Reinkolophoniumloten.

Die Zerreiissfestigkeit der Lötstelle nimmt mit steigender Temperatur ab (vgl. Fig. 28a). Dies dürfte wohl der zunehmenden Oxydation des Lotes bei höheren Temperaturen zuzuschreiben sein. Die Oxydeinschlüsse setzen die Festigkeit mit steigender Konzentration in zunehmendem Masse herab. Wiederum liegen die Werte bei den aktivierten Loten im kälteren Gebiete höher als bei den Reinkolophoniumdrähten. Ganz besonders trifft dies, abgesehen vom Werte bei 280°, für Elsold C zu. Der Festigkeitswert ist im allgemeinen bei der Löttemperatur 280° am grössten. Lediglich bei den Loten Normal (= Reinkolophonium-

draht) 60/40 und 50/50 sowie bei Elsold C kommt das Dekapierungsmittel bei dieser Temperatur noch nicht zur vollen Auswirkung.

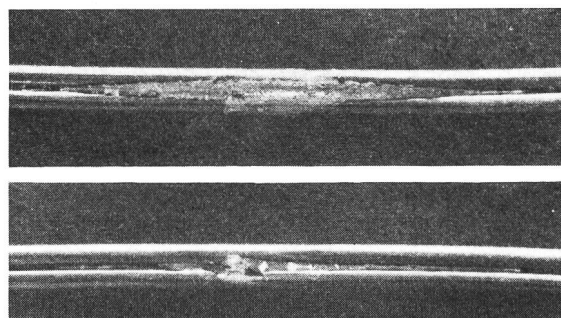


Fig. 27. Fertige Versuchslötstellen (Vergr. 2 \times)
oben: Oberseite unten: Unterseite

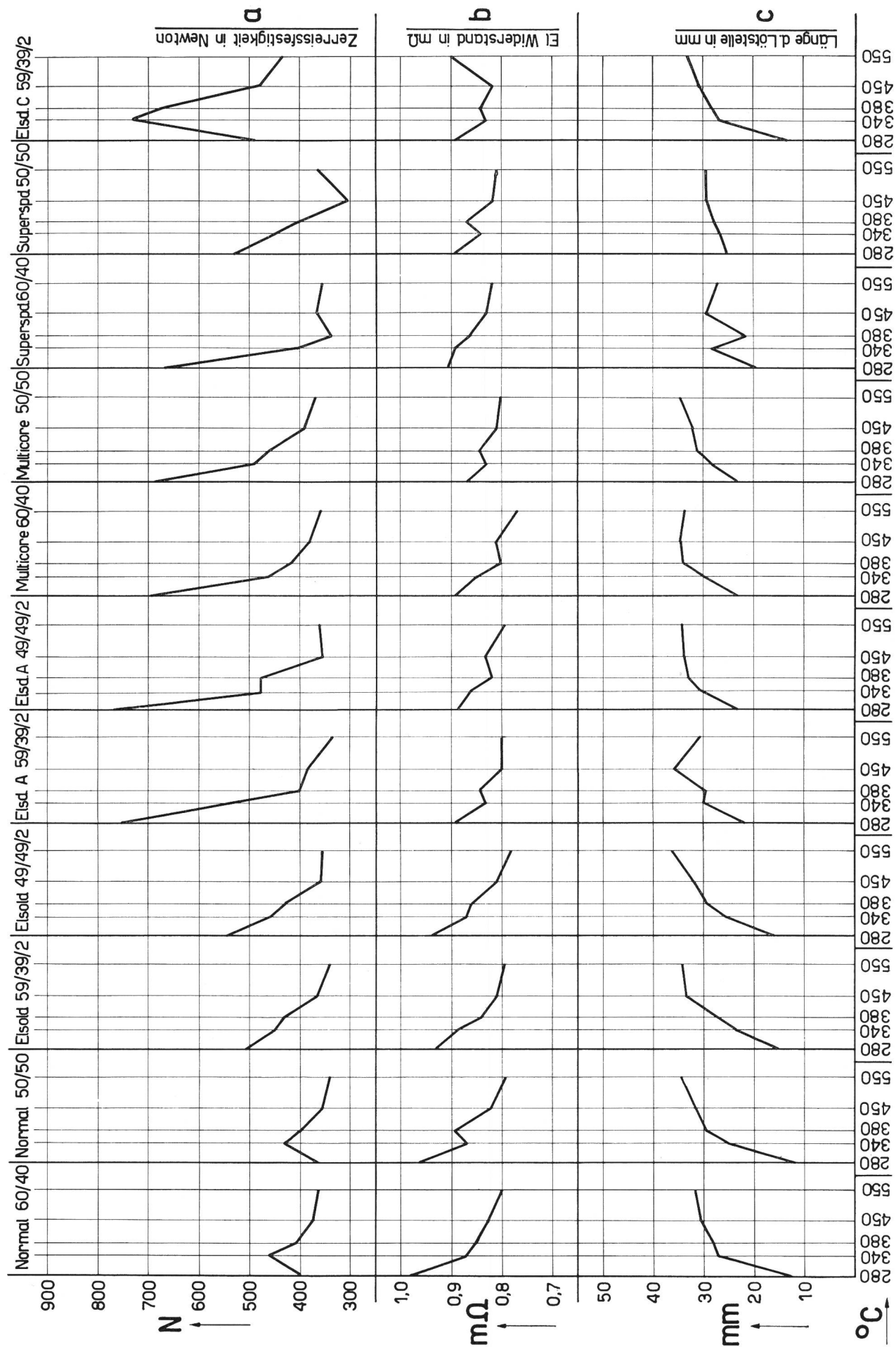


Fig. 28. Physikalische Eigenschaften von Lötstellen als Funktion der Temperatur
 a) Zerreißfestigkeit in Newton (1 N = 0,102 kg*) b) Elektrischer Übergangswiderstand in mΩ c) Länge der Lötstelle in mm
 Für die Versuche wurden die handelsüblichen Lötdrähte der Tabelle II mit Ausnahme von Actol herangezogen

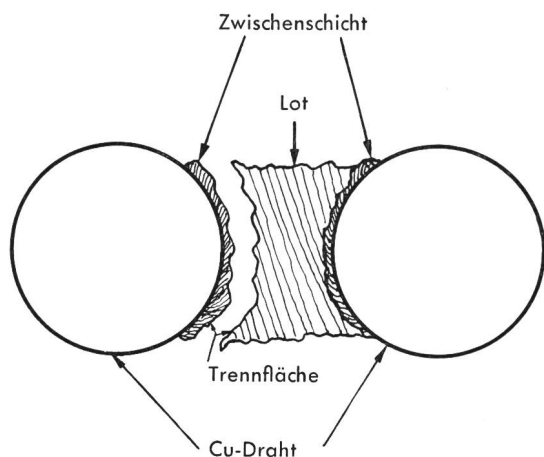


Fig. 29. Querschnitt durch eine zerrissene Lötstelle (schematisch)

Bei den zerrissenen Lötstellen stellten wir fest, dass die Trennung stets an einer ganz bestimmten Stelle stattfand. Die Verhältnisse sind in der Fig. 29 zeichnerisch festgehalten. Die dort angeführten Zwischenschichten kann man auch in den Schliffbildern von Lötstellen, die auf Kupfer und Messing hergestellt wurden, erkennen (vgl. Fig. 30). Die Lötstelle riss bei unseren Versuchen stets in der Grenzfläche zwischen dieser Zwischenschicht und dem eigentlichen Lot.

An Hand der beschriebenen Zerreißversuche gelangt man wiederum zu der Ansicht, dass es für die Praxis zweckmässig ist, die Löttemperatur möglichst tief, also unter 340°C zu halten.

4. Die Löslichkeit von Kupfer in kupferfreiem und kupferhaltigem Lot

4. 1. Durchgeführte Versuche

a) Es ist bekannt, dass beim Serienlöten die Kolbenstifte verhältnismässig rasch verbraucht werden. Jede kupferfreie Lötlegierung führt beim Löten von Kupferdrähten oder mit Kupferspitzen mit grosser Geschwindigkeit zur Bildung eines Eutektikums zwischen Zinn und Kupfer, das ungefähr bei einem Mischungsverhältnis 99% Sn und 1% Cu liegt. Sobald dieser Zustand erreicht ist, lässt die Auflösungsgeschwindigkeit des Kupfers im Zinn nach. Lote, welche bereits 1...2% Kupfer enthalten, werden deshalb die Kolbenspitzen nicht so rasch auflösen als Cu-freie. Dies ist der Grundgedanke der Elsold-Lote. Um diese theoretischen Überlegungen experimentell zu erhärten, wurden 0,1 mm dicke Kupferplättchen mit einer Oberfläche von etwa 820 mm^2 mit Azeton entfettet, eingewogen und hernach mit einer dünnen Kolophoniumsicht überzogen. Alsdann wurde ein jedes in 80 g flüssiges Lot, das auf 350°C gehalten wurde, während einer bestimmten Zeit eingetaucht. Die Eintauchzeiten stiegen geometrisch an von 2 auf 32 Sekunden, wobei für jeden Tauchversuch selbstverständlich neues Lot verwendet wurde. Die herausgenommenen Plättchen wurden aufgelöst. In der Lösung wurde dann der Kupfergehalt jodometrisch

bestimmt. Für die Versuche wurden zwei Lote herangezogen, ein kupferfreies (60/40) und ein kupferhaltiges (59/39/2). Aus den gefundenen Gewichtsabnahmen konnten Anhaltspunkte über die unterschiedlichen Auflösungsgeschwindigkeiten des Kupfers in den beiden Loten gewonnen werden.

b) In gleicher Weise gingen wir vor, um die Lösungsgeschwindigkeit des Kupfers in flüssigem Zinn bei verschiedenen Temperaturen zu ermitteln. Die Oberfläche des eingetauchten Kupferbleches betrug hier 900 mm^2 . Die Eintauchzeit wurde konstantgehalten (16 Sekunden). Wir führten diese Versuche bei 250° , 300° , 350° und 400°C durch.

c) Das im Lot gelöste Kupfer bildet mit dem Zinn eine Verbindung Cu_6Sn_5 ¹⁾, die sich in Form nadel-förmiger Kristalle ausscheidet und im Schliffbild leicht erkennbar ist. Das Kupfer kann vom Kolbenstift oder vom Cu-Blech während des Lötvorganges in das Lot eindringen. Um diese Verhältnisse abzuklären, wurden mit Cu-freiem Lot folgende Varianten ausgeführt:

- Löten auf Cu-Blech mit Cu-Kolben
- Löten auf Fe-Blech mit Cu-Kolben
- Löten auf Cu-Blech mit Fe-Kolben
- Löten auf Fe-Blech mit Fe-Kolben

(Löttemperatur: 400°C , Lötzeit: 8 Sek. Lot: 60/40)

Von den erhaltenen Lötstellen wurden nach der bekannten Methode Schliffbilder hergestellt, auf denen das Lot und die Unterlage zu sehen sind.

d) Um einige Anhaltspunkte über die Zeit, die zur Ausscheidung von Cu_6Sn_5 -Kristallen im Lot benötigt wird, zu bekommen, stellten wir einige Lötstellen mit Cu-freiem Lot auf einem Kupferbleche her. Die Temperatur des Kupferkolbens betrug 400°C . Die Lötzeiten wurden auf $\frac{1}{2}$, 2, 4, 8 und 16 Sekunden

¹⁾ Equilibrium Data for Tin Alloys. Tin Research Institute, Greenford, 1949.

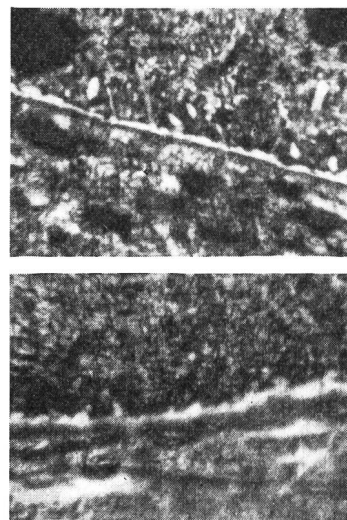


Fig. 30. Zwischenschichtsbildung zwischen Lot und Metall beim Löten (Vergr. $1000\times$)
oben: auf Kupfer; unten: auf Messing

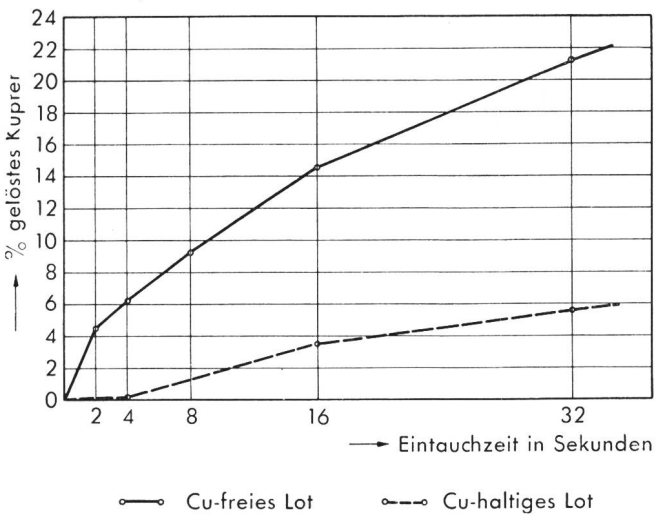


Fig. 31. Löslichkeit von Kupfer in Cu-freiem und Cu-haltigem Lot als Funktion der Eintauchzeit
Eingetauchte Cu-Oberfläche 820 mm²
Lotmenge 80 g
Temperatur des Lotes 350° C

festgelegt. Die erstarrten Lötstellen wurden wieder in der bekannten Weise angeschliffen, poliert und geätzt.

4. 2. Ergebnisse

a) Die Fig. 31 und die dazugehörige *Tabelle III* lassen eindeutig erkennen, dass der Kupferverlust des Bleches im Cu-freien Lot bedeutend grösser ausfiel als im Cu-haltigen. Die Kurven in der graphischen Darstellung werden mit zunehmender Eintauchzeit weniger steil, was auf das geringere Lösungsvermögen des mit Cu angereicherten flüssigen Lotes hindeutet. Die in Fig. 31 dargestellten Verhältnisse haben indessen nur relativen Wert, weil die Menge des Lotes und die Oberfläche des eingetauchten Kupferbleches nicht genau den Umständen beim Löten entsprechen. Das Grundsätzliche kommt aber darin deutlich zum Ausdruck. Es wird auch bestätigt durch die Praxis. In der Fig. 32 sind zwei Kolbenstifte abgebildet. Der eine kam mit Cu-freiem Lot in Berührung. Nach 1400 Lötstellen war seine Spitze stark angegriffen und in diesem Zustand für die Weiterarbeit unbrauchbar. Mit dem andern Kolbenstift wurde Cu-haltiges

Tabelle III

Löslichkeit von Kupfer in Cu-freiem und Cu-haltigem Lot als Funktion der Eintauchzeit

Eintauchzeit in Sekunden	Aufgelöste Kupfermenge in %	
	Cu-freies Lot 60/40	Cu-haltiges Lot 59/39/2
2	4,5	
4	6,3	0,2
8	9,2	
16	14,8	3,7
32	21,2	5,8

Eingetauchte Cu-Oberfläche ca. 820 mm²
Lotmenge ca. 80 g
Temperatur des Lotes ca. 350° C

Lot verarbeitet. Die Spitze ist nach 25 620 Lötstellen noch durchaus weiter verwendbar. Mit den abgebildeten Stiften wurden betriebsmässig Lötösen von STR-7A2-Wählern gelötet. Für den praktischen Betrieb sind diese Feststellungen von wirtschaftlicher Bedeutung.

b) Die Auflösungsgeschwindigkeit des Kupfers im Lot ist aber auch abhängig von der Temperatur. Beim Cu-freien Lot stieg der Kupferverlust mit zunehmender Temperatur rasch an (vgl. Fig. 33 und *Tabelle IV*), während er unter den gleichen Bedingungen beim Cu-haltigen praktisch null blieb. Man kann demnach die Kolbenstifte auch bei Verwendung von Cu-freiem Lot wenn nicht vollständig, so doch merklich schonen, wenn man bei relativ niedrigen Temperaturen lötet.

Tabelle IV

Löslichkeit von Kupfer in Cu-freiem und Cu-haltigem Lot als Funktion der Löttemperatur

Temperatur in °C	Aufgelöste Kupfermenge in %	
	Cu-freies Lot 60/40	Cu-haltiges Lot 59/39/2
250°	1,6	0
300°	5,5	0
350°	12,6	0,1
400°	32,9	0,3

Eingetauchte Cu-Oberfläche ca. 900 mm²
Lotmenge ca. 80 g
Eintauchzeit 16 Sekunden

c) Das Kupfer, das in das flüssige Lot eindringt und sich beim Erstarren in Form von Cu₆Sn₅-Nadeln ausscheidet, stammt, wie die Schliffbilder (Fig. 34a-c) zeigen, sowohl von der Kolbenspitze als auch vom gelöteten Cu-Blech. Lötet man mit einem Eisenstift auf Eisenblech, so fehlen die weissen Nadeln im Schliffbild der Lötstelle vollständig (Fig. 34d).

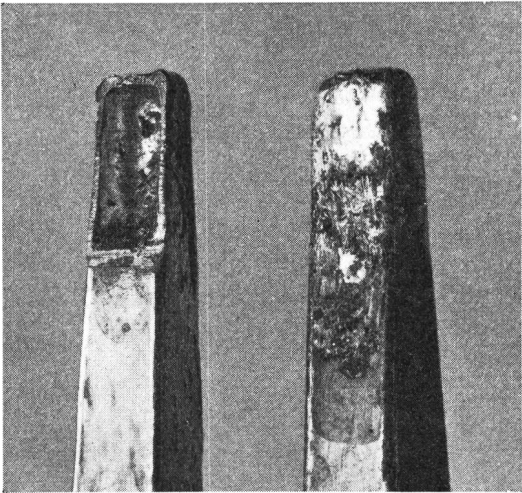


Fig. 32. LötKolbenabnutzung bei Verwendung von Cu-freiem Lot (links) und Cu-haltigem Lot (rechts). Bild links: Zustand nach 1400 Lötstellen. Bild rechts: Zustand nach 25 620 Lötstellen (Vergr. 3,5 ×)

d) Die Auflösungsgeschwindigkeit des Kupfers im Zinn ist sehr gross. Bereits schon in Lötstellen, die in $\frac{1}{2}$ Sekunde hergestellt wurden, kann man die Cu_6Sn_5 -Nadeln beobachten. Die Fig. 35 zeigt Verhältnisse bei zunehmender Lötzeit anhand entsprechender Schliffbilder.

Es ergibt sich daraus, dass jede Lötstelle, die mit Kupferstiften oder auf Kupferunterlage gelötet wird, Kupfer enthält, auch wenn die Lötzeit noch so klein ist.

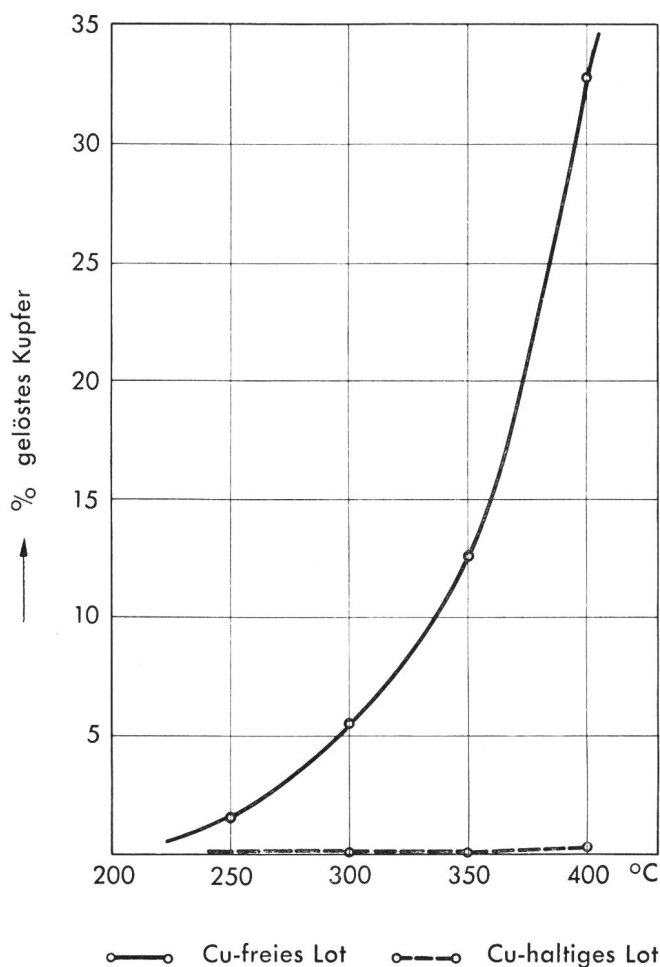


Fig. 33. Löslichkeit von Kupfer in Cu-freiem und Cu-haltigem Lot als Funktion der Temperatur
 Eingetauchte Cu-Oberfläche 900 mm²
 Lotmenge 80 g
 Eintauchzeit 16 Sekunden

IV. Schlussfolgerungen

Die voranstehend zusammengestellten Versuchsergebnisse drängen folgende Schlussfolgerungen auf:

1. Die umfangreichen Korrosionsversuche haben bewiesen, dass die aktivierten Beizmittel sehr oft schon unter den normalen Betriebsbedingungen an oder neben der Lötstelle Korrosionsangriffe auszulösen vermögen. Sie sind deshalb mit Recht gefürchtet. Es hat sich auch bestätigt, dass Beizmitteldämpfe, die beim Löten entstehen und sich an entfernteren Metallteilen niederschlagen, dort

Korrosionsschäden und damit Störungen bewirken können. Einzig zwei aktivierte Lötdrähte, nämlich Elsold C und Actol, erwiesen sich in dieser Beziehung als unschädlich. Sie verhielten sich etwa gleich günstig wie der Reinkolophoniumdraht, besitzen aber daneben vorteilhaftere Löteigenschaften als dieser. Es stehen somit aktivierte, korrosionsungefährliche Lötdrähte zur Herstellung von Feinlötstellen zur Verfügung.

2. Soll eine einwandfreie Lötstelle zustande kommen, so muss die Oxydschicht von der zu lötenden Metalloberfläche durch das Dekapierungsmittel entfernt werden, damit sich das geschmolzene Lot störungs-

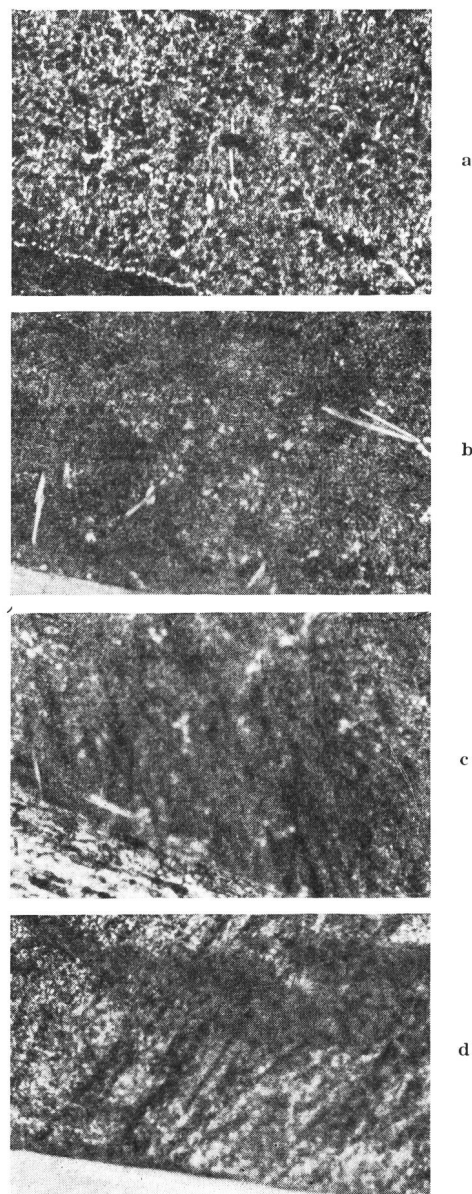


Fig. 34. Bildung von Cu_6Sn_5 -Kristallen im Cu-freien Lot (Vergr. 225 \times)

- a) gelötet auf Cu-Blech mit Cu-Kolben
- b) gelötet auf Fe-Blech mit Cu-Kolben
- c) gelötet auf Cu-Blech mit Fe-Kolben
- d) gelötet auf Fe-Blech mit Fe-Kolben (bei d fehlen die weissen Nadeln)

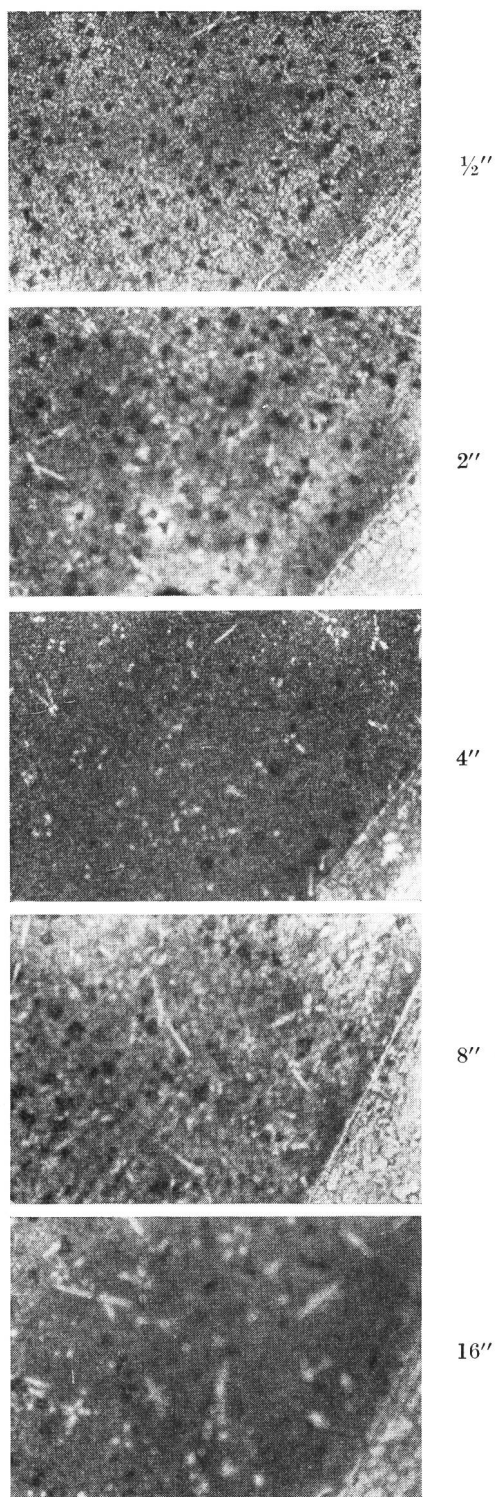


Fig. 35. Bildung der Cu_6Sn_5 -Kristalle (weisse Nadeln) bei verschiedenen Lötzeiten (Vergr. 225 \times)

frei anlegieren kann. Diese chemischen und physikalischen Vorgänge benötigen eine gewisse Zeit. Es geht deshalb nicht an, die Lötzeiten beliebig kurz zu halten. Man kann indessen keinen festen Wert angeben, weil die günstigste Lötzeit von Fall

zu Fall verschieden sein wird, je nach den Bedingungen, unter denen gelötet werden muss. Bei der Herstellung von Feinlötstellen, wie sie in der Nachrichtentechnik vorkommen, sollte man 1...1,2 Sekunden jedoch nicht überschreiten.

3. Die Kolbentemperatur spielt beim Löten eine grosse Rolle. Sie darf nicht zu hoch gewählt werden, damit keine verbrannten Lötstellen entstehen, aber auch nicht zu niedrig, weil man sonst mit kalten Lötstellen zu rechnen hat. Lötet man zu heiss, dann lösen sich die Oxyde im Lot auf oder dieses wird selbst oxydiert, was die mechanische Festigkeit und die elektrische Leitfähigkeit der Lötstellen beeinträchtigt. Arbeitet man mit zu kalter Kolbenspitze, dann kommt die Verbindung zwischen Lot und Metall nicht richtig zustande, was unter allen Umständen vermieden werden muss. Die Versuche zeigten, dass die günstigste Temperatur etwa zwischen 300° und 320° C liegt. Lötet man in diesem Temperaturbereich, so ist man sicher vor verbrannten und kalten Lötstellen. Wenn ungefährliche Lötdrähte verwendet werden, sind nachträglich weder direkt bei der Lötstelle noch sekundär durch Beizmitteldämpfe erzeugte Korrosionsangriffe zu erwarten.

Bei diesen Temperaturen finden auch während einer Lötzeit von zwei Sekunden keine Rekristallisationen im Kupferdraht statt, wodurch Ermüdungsbrüche der Drähte in der Nähe der Lötstelle vermieden werden können.

Es besteht mancherorts die Tendenz, die Lötleistung zu erhöhen, indem man die Kolbentemperatur stark heraufsetzt. Diese Methode ist gefährlich und deshalb zu verwerfen. Der Kolben darf nur unwesentlich über die Löttemperatur erhitzt werden. Dabei ist natürlich erforderlich, dass man über einen geeigneten LötKolben verfügt.

4. Anhand der angestellten Versuche kann nicht entschieden werden, ob der Lotzusammensetzung 60 Sn/40 Pb oder 50 Sn/50 Pb der Vorzug gegeben werden soll. Bei den Zerreißversuchen verhielten sich beide gleichwertig (vgl. Fig. 28), und auch im Korrosionsverhalten konnten keine Unterschiede bemerkt werden. Die zinnreichere Legierung fliesst etwas besser, dafür kann man die fehlerhaften Lötstellen beim Lot 50 Sn/50 Pb besser erkennen. Endgültig kann diese Frage erst auf Grund ausgedehnter Betriebsversuche beantwortet werden.
5. Es konnte eindeutig gezeigt werden, dass kupferhaltige Lote Kupfer viel weniger angreifen als kupferfreie. Dadurch ist es möglich, den Verschleiss an Kolbenstiften wesentlich herabzusetzen (vgl. Fig. 32). Dies trifft besonders zu, wenn man die Löttemperatur in den angegebenen Grenzen (300 bis 320° C) hält. Die Einsparung an Kolbenstiften wirkt sich in einem Grossbetrieb in mancher Beziehung wirtschaftlich vorteilhaft aus.