

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

Band: 40 (1962)

Heft: 7

Artikel: Probleme der Bleikabelkorrosion (13. Mitteilung) : unter welchen Bedingungen wird Blei interkristallin angegriffen? = La corrosion des câbles sous plomb (12e communication) : dans quelles conditions l'attaque intercrystalline du plomb se réalise-t-elle?

Autor: Vögtli, K.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875126>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.11.2024

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

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von den Schweizerischen Post-, Telephon- und Telegraphen-Betrieben - Publié par l'entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses. - Pubblicato dall'Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

K. Vögtli, Bern

621.315.221:620.193
620.193.47:546.815

Probleme der Bleikabelkorrosion (13. Mitteilung)

Problèmes de la corrosion des câbles sous plomb (13^e communication)

Unter welchen Bedingungen wird Blei interkristallin angegriffen?

Zusammenfassung. *Es werden Versuchsergebnisse mitgeteilt, die zeigen, dass Blei nicht nur in nitrathaltigen, sondern auch in azetathaltigen Lösungen interkristallin angegriffen wird. Die Lösungen müssen aber entweder von Anfang an einen gewissen Bleigehalt aufweisen, oder es muss mit der Zeit ein lösliches Bleisalz entstehen.*

1. Einleitung

Die zufällige Entdeckung *Hellers* im Jahre 1915 [1], dass Blei in einer salpetersauren Bleiazetatlösung interkristallin angegriffen wird, wurde zum Ausgangspunkt einer jahrelangen Diskussion über den Mechanismus der beobachteten Bleidisglomeration. Die Reihe der Veröffentlichungen wurde 1920 durch eine Arbeit von *Thiel* [2] abgeschlossen. In dieser wurde einwandfrei nachgewiesen, dass das Bleigefüge durch einen Korrosionsprozess gelockert wurde und nicht, wie man ursprünglich annahm, durch eine allotrope Umwandlung des Bleis in eine dichtere Modifikation. Dass Bleinitrit und nitrose Gase festgestellt werden konnten, war ein eindeutiger Beweis, dass der Bleierfall mit einer chemischen Reaktion gekoppelt war.

Thiel untersuchte auch die Bedingungen, unter welchen sich die interkristalline Substanz aus dem Bleigefüge herauslöste, während die Bleikörner weitgehend unangegriffen blieben.

Nachdem Versuche mit verschiedenen nitratfreien Elektrolyten, wie Bleiazetat + Essigsäure, Bleichlorid + Salzsäure, Bleisilikofluorid + Kieselfluorwasser-

Dans quelles conditions l'attaque intercrystalline du plomb se réalise-t-elle?

Résumé. *Des résultats d'essai, qui sont communiqués, montrent que l'attaque intercrystalline du plomb ne se réalise pas seulement dans des solutions à teneur en nitrate, mais aussi en acétate. Les solutions doivent accuser dès le début une certaine teneur en plomb ou alors il doit se produire avec le temps un sel de plomb soluble.*

1. Introduction

Heller ayant découvert par hasard en 1915 [1] que le plomb subissait une attaque intercrystalline dans une solution d'acétate de plomb et d'acide nitrique, il s'ensuivit une discussion de plusieurs années au sujet du mécanisme de la désagrégation du plomb observée. Une étude de *Thiel* [2] termina la série des publications en 1920. Elle prouva de façon évidente que la structure du plomb était désagrégée par un processus de corrosion et non pas, comme on l'avait admis au début, par une transformation allotropique en une modification plus dense. Le fait de déceler la présence du nitrite de plomb et de gaz nitreux fut une preuve éclatante que la décomposition du plomb était liée à une réaction chimique.

Thiel analysa aussi les conditions dans lesquelles la substance intercrystalline se libérait de la structure du plomb, alors que les grains de plomb n'étaient absolument pas attaqués.

Des essais avec différents électrolytes ne contenant pas de nitrate, tels qu'acétate de plomb + acide acétique, chlorure de plomb + acide chlorhydrique, fluosilicate de plomb + acide hydrofluosilicique, chlo-

stoffsäure, Bleichlorat + Überchlorsäure sowie Bleinitrit, keine Spur einer interkristallinen Korrosion ergaben, kam Thiel zur Überzeugung, die Anwesenheit von Nitrat sei eine notwendige Voraussetzung für jeden interkristallinen Angriff.

Thiel teilte auch mit, er habe beobachtet, dass Bleiprobe, die in nitrathaltigen Lösungen bereits interkristallin angegriffen waren, nicht mehr weiter korrodierten, wenn sie aus den nitrathaltigen Lösungen herausgenommen und in nitratfreie gelegt wurden. Dagegen traten interkristalline Angriffe auf, wenn er zunächst bleifreie aber nitrathaltige Lösungen benutzte, wie zum Beispiel essigsäure Kaliumnitratlösung. Der Angriff erfolgte in diesen Fällen allerdings erst nach längerer Zeit, manchmal erst nach Monaten.

Die Ergebnisse dieser Versuche schienen derart eindeutig zu sein, dass sich später unseres Wissens niemand mehr mit der Frage beschäftigte, ob tatsächlich nur eine nitrathaltige Lösung Blei interkristallin angreift.

2. Die interkristalline Korrosion von Blei in destilliertem Wasser

Dass Nitrationen doch nicht unter allen Umständen anwesend sein müssen, wenn eine Bleiprobe ernstlich interkristallin angegriffen wird, zeigten uns zunächst einige Korrosionsversuche mit Reinbleiprobe und destilliertem Wasser. Nach elfjähriger Einwirkung einer kleinen Menge destillierten Wassers auf eine Bleiprobe in einem zugeschmolzenen Reagenzglas war die Bleioberfläche deutlich interkristallin angegriffen [3].

Noch deutlicher interkristallin waren die Korrosionsformen bei einem Kabelabschnitt, der 1 1/2 Jahre in belüftetem destilliertem Wasser gelagert war [4]. Zwar führte in beiden Fällen die interkristalline Korrosion nicht zum Ausbrechen einzelner Kristalle oder zur Zerstörung des ganzen Bleiverbandes, aber die Krongrenzen waren doch eindeutig bevorzugt angegriffen. Wir nahmen deshalb die Versuche von Thiel nochmals auf und kamen dabei zu ganz andern Ergebnissen.

3. Versuchsanordnung

Als Bleiprobe dienten wiederum Bleischnitzel aus Reinblei (Pb 99,9%) die wir aus einem Stück eines neuen Kabelmantels herstellten. 250 g Bleischnitzel von etwa 1 cm² Oberfläche und 2 mm Dicke wurden in eine 500 cm³ Weithalsflasche gegeben und mit 250 cm³ Lösung überschüttet. Die Flaschen wurden staubdicht verschlossen, blieben aber über ein gebogenes Glasröhrchen mit der Atmosphäre in Verbindung (Fig. 1). Die Versuchsdauer betrug sechs Monate.

4. Die korrodierende Wirkung reiner Bleisalzlösungen

Thiel [2] beobachtete, dass Bleiionen die interkristalline Korrosion beschleunigen. Die Wirkung der Säurezusätze erklärte er damit, dass in essigsäuren Lösungen keine schwerlöslichen Salze entstehen,

rate de plomb + acide perchlorique ainsi que nitrite de plomb, n'ayant provoqué aucune trace de corrosion intercrystalline, Thiel fut convaincu que la présence de nitrate était une condition sine qua non de toute attaque intercrystalline.

Thiel rapporta aussi qu'il avait observé que la corrosion ne progressait plus sur des échantillons de plomb, déjà soumis à une attaque intercrystalline dans des solutions à teneur de nitrate, lorsque ces échantillons étaient sortis des solutions à teneur de nitrate pour être placés dans des solutions ne contenant pas de nitrate. En revanche, l'auteur obtint des attaques intercrystallines lorsqu'il utilisa d'abord des solutions non plombiques, mais à teneur de nitrate telles que, par exemple, une solution de nitrate de potasse acétique. Dans ces cas, l'attaque ne se fit qu'après un temps assez long, parfois même seulement après des mois.

Les résultats de ces essais parurent être si évidents que, à notre connaissance, personne ne se préoccupa plus par la suite de savoir si seule une solution à teneur de nitrate provoquait effectivement la corrosion intercrystalline du plomb.

2. Corrosion intercrystalline du plomb dans l'eau distillée

Quelques essais de corrosion avec des échantillons de plomb pur et de l'eau distillée nous démontrèrent que des nitrations ne devaient pas nécessairement être présentes lorsqu'un échantillon de plomb subit une sérieuse attaque intercrystalline. Une petite quantité d'eau distillée ayant agi pendant onze ans sur un échantillon de plomb dans un flacon à réaction scellé, la surface du plomb fut nettement attaquée par une corrosion intercrystalline [3].

Les formes de cette corrosion furent encore plus nettes sur un bout de câble qui fut entreposé pendant une année et demie dans de l'eau distillée aérée [4]. Dans les deux cas, la corrosion intercrystalline ne provoqua pas la rupture des différents cristaux ou la destruction complète de la structure du plomb, mais les limites des grains furent nettement attaquées. C'est pourquoi nous reprîmes les essais de Thiel et obtînmes des résultats totalement différents.

3. Disposition des essais

Des morceaux de plomb pur (Pb 99,9%), coupés dans un bout de gaine de câble neuve, servirent à nouveau d'échantillons. 250 g de morceaux de plomb d'environ 1 cm² de surface et de 2 mm d'épaisseur furent introduits dans une bouteille à large col de 500 cm³, dans laquelle furent versés 250 cm³ de solution. Les bouteilles furent fermées pour être protégées contre la poussière, mais restèrent en contact avec l'atmosphère par l'entremise d'un tube de verre recourbé (fig. 1). La durée des essais fut de six mois.

4. L'action corrosive de solutions de sels de plomb pures

Thiel [2] observa que les ions de plomb accélèrent la corrosion intercrystalline. Il expliqua l'action des additions d'acides en se fondant sur le fait que les

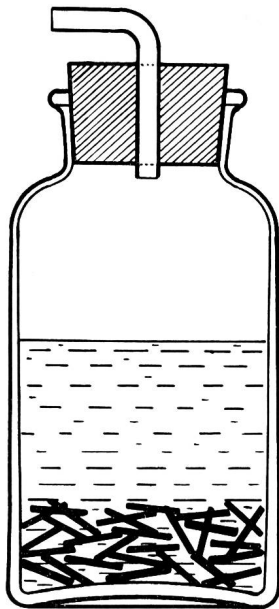


Fig. 1. Versuchsanordnung: Die Bleischnitzel liegen vollständig eingetaucht in 250 cm³ Flüssigkeit, deren korrosive Wirkung geprüft werden soll

Disposition des essais: Les morceaux de plomb sont complètement immergés dans 250 cm³ de liquide, dont il faut étudier l'action corrosive

welche die Bleioberfläche verkrustet und den Zutritt der Korrosionsflüssigkeit zur metallischen Bleioberfläche mehr oder weniger unterbinden. Auch bei unsern Versuchen mit nichtangesäuerten Lösungen entstanden vor allem bei den konzentrierten Ansätzen starke Niederschläge, so dass die interkristalline Korrosion in manchen Fällen in verdünnten Lösungen deutlicher ausgeprägt war als in den konzentrierten.

Bei den Bleiprobe, die in einer Bleinitratlösung lagen, wurden nach sechs Monaten deutliche interkristalline Angriffe festgestellt, wenn die Lösung mindestens 0,005molar war. Bis zur gleichen Verdünnung waren aber auch die Bleiazetatlösungen wirksam.

Die *Figur 2* zeigt die Oberfläche einer Bleiprobe nach sechsmonatiger Lagerung in 0,005molarer Bleiazetatlösung. Um die ausserordentlich feinen Spalten sichtbar zu machen, musste die Probe etwas gekrümmt werden.

Bei Versuchen mit gesättigten und verdünnten Bleichloridlösungen wurde in keinem Fall eine deutliche interkristalline Korrosion erhalten.

Diese Ergebnisse zeigen, dass einerseits nicht jede Bleisalzlösung eine interkristalline Korrosion auslöst, andererseits aber zumindest Bleiazetat ähnlich wirkt wie Bleinitrat. Ferner ist bemerkenswert, dass bereits die reinen Lösungen ohne Säurezusatz Blei interkristallin angreifen.

Vermutlich ist mit dem Bleinitrat und Bleiazetat die Reihe der interkristallin korrodierenden Stoffe noch nicht erschöpft. Weitere Versuche werden zeigen, ob die Liste nicht noch erweitert werden muss.

solutions acétiques n'engendrent aucun sel difficilement soluble qui forme une croûte sur la surface de plomb et empêche plus ou moins le liquide corrosif d'arriver à la surface de plomb métallique. Lors des essais auxquels nous avons procédé avec des solutions non acidifiées, de forts précipités se sont produits avant tout dans celles qui étaient concentrées, de sorte que la corrosion intercrystalline fut, dans maints cas, nettement plus prononcée dans des solutions diluées que dans des solutions concentrées.

Des attaques intercrystallines furent constatées, après six mois, sur les échantillons de plomb qui se trouvaient dans une solution de nitrate de plomb, lorsque la solution était au moins de 0,005 molécule-gramme par litre. Mais les solutions d'acétate de plomb agissaient aussi jusqu'à la même dilution.

La *figure 2* montre la surface d'un échantillon de plomb qui a séjourné pendant six mois dans une solution d'acétate de plomb de 0,005 molécule-gramme. Pour rendre visibles les fentes extraordinairement fines, il fallut quelque peu courber l'échantillon.

Les essais réalisés avec des solutions de chlorure de plomb saturées et diluées ne provoquèrent, en aucun cas, une corrosion intercrystalline nette.

Ces résultats montrent que, d'une part, toute solution de sel de plomb ne provoque pas nécessairement une corrosion intercrystalline mais que, d'autre part, l'acétate de plomb tout au moins agit de façon analogue au nitrate de plomb. De plus, il vaut la peine de relever que les solutions pures provoquent déjà la corrosion intercrystalline du plomb sans addition d'acide.



Fig. 2. Leicht gebogene Oberfläche einer Bleiprobe, die 6 Monate in 0,005molarer Bleiazetatlösung lag. Beim Biegen wurde die Oberfläche etwas gedehnt, so dass die sehr feinen, interkristallinen Risse aufsprangen und gut sichtbar wurden. Vergrößerung: 25 ×

Surface légèrement recourbée d'un échantillon de plomb qui a séjourné six mois dans 0,005 molécule-gramme de solution d'acétate de plomb. En courbant l'échantillon de plomb, on a quelque peu étendu la surface, de sorte que les fissures intercrystallines très fines se sont ouvertes et sont devenues bien visibles. Agrandissement: 25 ×

5. Die korrodierende Wirkung bleifreier Lösungen

Kommt Blei mit verdünnter Salpeter- oder Essigsäure in Berührung, so entsteht sogleich etwas Bleinitrat beziehungsweise Bleiazetat. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass Blei von diesen Säuren ebenfalls interkristallin angegriffen wird. Immerhin erfolgt der Angriff deutlich langsamer als bei gleichkonzentrierten Bleisalzlösungen. So konnte bei Versuchen mit verdünnter Essigsäure nach sechs Monaten nur bei der 0,4molaren Lösung ein deutlicher Angriff beobachtet werden.

Sehr aufschlussreich waren die Ergebnisse von Versuchen mit nitrathaltigen, aber dauernd bleifreien Korrosionsflüssigkeiten. Wir untersuchten die Wirkung von Natrium-, Ammonium-, Kalzium- und Eisen-nitrat. In allen Fällen bewirkten selbst 0,5molare Lösungen keine interkristalline Korrosion. Sobald die Lösungen aber mit Essigsäure angesäuert wurden, erfolgte sofort ein starker interkristalliner Angriff.

6. Versuche mit an Bleichlorid gesättigten Lösungen

Wie bereits in Abschnitt 4 erwähnt, blieben die Bleiprobe in gesättigter Bleichloridlösung unkorrodiert. Kein interkristalliner Angriff trat ferner bei einem Versuch mit an Bleichlorid gesättigter 0,4-normaler Salzsäure auf. Auch eine mit Bleichlorid gesättigte 0,1normale Natriumnitratlösung bewirkte keine interkristalline Korrosion, obwohl in diesem Fall die Lösung sowohl Blei als auch Nitrationen enthielt. Unkorrodiert blieb das Blei ebenfalls in einem Versuch mit salzsaurer Kalziumnitratlösung. Ob Chlorionen einen interkristallinen Angriff immer hemmen oder unterbinden, werden indessen erst zusätzliche Untersuchungen zeigen.

7. Extrem interkristalline Korrosionen

Bei Versuchen mit Lösungen, die 0,4molar bezüglich Essigsäure und 0,05molar bezüglich Bleinitrat waren, erhielten wir ausserordentlich feine interkristalline Spalten (*Fig. 3*). Dabei gingen die Risse fast ausnahmslos nur von jener Seite aus, die der Innenwand der gepressten Bleimäntel, aus denen die Proben hergestellt worden waren, entsprach. Auch bei andern Versuchen konnten wir feststellen, dass die Aussenseite der Bleirohre weniger stark angegriffen wurde als die Innenwand.

8. Diskussion der Versuchsergebnisse im Zusammenhang mit der interkristallinen Bleikabelkorrosion (sogenannte Phenolkorrosion)

Die beschriebenen Versuche haben eindeutig gezeigt, dass Nitrat nicht das einzige Anion ist, das eine interkristalline Bleikorrosion auslösen kann. Azetathaltige Lösungen haben dieselbe Wirkung. Dagegen gelang es in keinem Fall, mit dauernd bleifreien Lösungen eine Disglomeration einzuleiten. Im Korrosionsmedium muss offensichtlich ein Bleisalz gelöst sein, damit überhaupt eine interkristalline Korrosion entsteht. Wie die Versuche mit Bleichlorid zeigten,

Il est fort probable que ni le nitrate de plomb ni l'acétate de plomb ne terminent la série des substances provoquant la corrosion intercrystalline.

De nouveaux essais démontreront si la liste ne doit pas être encore allongée.

5. L'action corrosive de solutions non plombiques

Lorsque le plomb entre en contact avec de l'acide nitrique ou acétique dilué, il se produit immédiatement un peu de nitrate ou d'acétate de plomb. C'est pourquoi il n'est pas étonnant que des acides causent également une corrosion intercrystalline du plomb. L'attaque est néanmoins nettement plus lente que lorsqu'il s'agit de solutions de sels de plomb très concentrées. Ainsi, lors d'essais effectués avec de l'acide acétique dilué, nous n'avons pu observer, après six mois, une attaque très nette que dans la solution à 0,4 molécule-gramme par litre.

Les résultats d'essais réalisés avec des liquides corrosifs contenant du nitrate mais toujours non plombiques furent très concluants. Nous avons analysé l'action du nitrate de sodium, du nitrate d'ammonium, du nitrate de calcium, du nitrate de fer. Dans tous les cas, même 0,5 molécule-gramme par litre n'engendra aucune corrosion intercrystalline. Dès que les solutions furent acidifiées par de l'acide acétique, il s'ensuivit immédiatement une forte attaque intercrystalline.

6. Essais avec des solutions saturées de chlorure de plomb

Ainsi que le paragraphe 4 le mentionne déjà, les échantillons de plomb ne furent pas corrodés dans une solution de chlorure de plomb saturée. En outre, aucune attaque intercrystalline ne se produisit lors d'un essai avec de l'acide chlorhydrique 0,4 normal saturé de chlorure de plomb. Une solution de nitrate de sodium 0,1 normal, saturée de chlorure de plomb, ne provoqua aucune corrosion intercrystalline, bien que, dans ce cas, la solution contient du plomb et des nitrations. Le plomb ne se corroda pas non plus au cours d'un essai avec une solution de nitrate de calcium chlorhydrique. Des analyses complémentaires permettront seules de découvrir si les ions de chlore retardent ou entravent toujours une attaque intercrystalline.

7. Corrosions extrêmement intercrystallines

Lors d'essais avec des solutions qui étaient de 0,4 molécule-gramme par rapport à l'acide acétique et de 0,05 molécule-gramme par rapport au nitrate de plomb, nous avons obtenu des fentes intercrystallines extraordinairement fines (*fig. 3*). A ce propos, les fissures apparurent presque exclusivement sur le côté qui correspondait à la paroi intérieure de la gaine de plomb pressé, ayant servi à préparer les échantillons. A l'occasion d'autres essais, nous avons aussi pu constater que le côté extérieur du tube de plomb avait été moins fortement attaqué que la paroi intérieure.

muss aber nicht jede bleihaltige Lösung unbedingt auch interkristalline Zerstörungen bewirken.

Dass ein lösliches Bleisalz eine notwendige Voraussetzung jeglicher interkristalliner Korrosion sein soll, deckt sich mit der Tatsache, dass in den Jutehüllen korrodierter Bleikabel grössere Bleimengen festgestellt werden konnten [5]. Diese Bleisalze

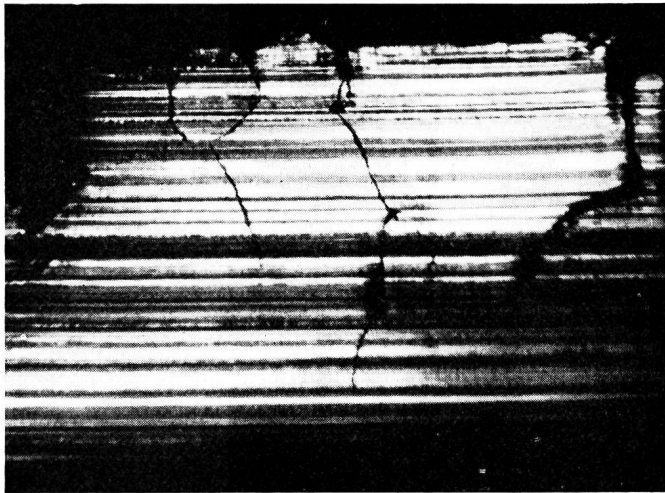


Fig. 3. Querschnitt durch eine Bleiprobe nach sechsmonatiger Lagerung in 0,4molarer Essigsäure mit Bleinitratzusatz (0,05 m). Es bildeten sich feinste Spalten längs den Korngrenzen. Vergrößerung: 25 ×

Coupe à travers un échantillon de plomb qui a séjourné six mois dans 0,4 molécule-gramme d'acide acétique additionné de nitrate de plomb (0,05 m). Il s'est formé de très fines fentes le long des limites des grains. Agrandissement: 25 ×

können nur durch Diffusion in die Kabelhülle gelangt sein, müssen also ursprünglich wasserlöslich gewesen sein. Wir haben schon früher die Vermutung begründet, dieses lösliche Bleisalz sei in manchen Fällen Bleinitrat. Möglicherweise ist aber manchmal auch Azetat oder ein anderer Stoff für die Bildung des wasserlöslichen Bleisalzes verantwortlich. Diese Frage ist um so schwieriger abzuklären, als unter dem Einfluss kleiner Potentialdifferenzen auch neutrale, bleifreie Lösungen aggressiv werden. Über Versuche zur Abklärung des Einflusses kleiner Potentialdifferenzen, die in der Praxis eine sehr wichtige Rolle spielen, wird in einer weiteren Mitteilung berichtet werden.

8. Discussion des résultats des essais en corrélation avec la corrosion intercrystalline des câbles sous plomb (dite corrosion phénolique)

Les essais décrits ont clairement démontré que le nitrate n'est pas l'unique anion pouvant déclencher une corrosion intercrystalline du plomb. Des solutions à teneur d'acétate produisent le même effet. En revanche, on n'a réussi en aucun cas à provoquer une désagrégation avec des solutions non plombiques en permanence. Un sel de plomb doit, de toute évidence, être dissous dans le milieu corrosif, pour qu'une corrosion intercrystalline ait lieu. Les essais avec du chlorure de plomb ont révélé que toute solution plombique ne doit pas nécessairement donner lieu à des destructions intercrystallines.

Un sel de plomb soluble doit être une condition nécessaire de toute corrosion intercrystalline. Cela coïncide avec le fait que de grandes quantités de plomb ont pu être constatées dans les enveloppes de jute de câbles sous plomb corrodés [5]. Ces sels de plomb ne peuvent atteindre l'enveloppe des câbles que par diffusion; ils doivent donc, à l'origine, avoir été solubles dans l'eau. Nous avons déjà motivé antérieurement l'hypothèse que ce sel de plomb était dans maints cas du nitrate de plomb. Mais il est parfois aussi possible que l'acétate ou une autre substance soient à la base de la formation du sel de plomb soluble dans l'eau. Il est d'autant plus difficile d'éclaircir cette question que des solutions neutres, non plombiques, deviennent agressives sous l'influence de petites différences de potentiel. Dans une communication ultérieure, nous rapporterons sur des essais effectués en vue d'expliquer l'influence de petites différences de potentiel qui jouent un rôle très important dans la pratique.

Bibliographie

- [1] Heller, H. Über eine allotrope Modifikation des Bleis. Z. f. phys. Chem. **89** (1915), S. 716.
- [2] Thiel, A. Über die vermeintliche Allotropie des Bleis nach Heller. Ber. d. Deutschen Chem. Gesellschaft **53** (1920), S. 1052.
- [3] Künzler, H., und Vögli, K. Probleme der Bleikabelkorrosion (9. Mitteilung). Die korrosionshemmende Wirkung von Teeren und anderen Stoffen. Technische Mitteilungen PTT **37** (1959), S. 81.
- [4] Vögli, K., und Brühlmann, R. Probleme der Bleikabelkorrosion (12. Mitteilung). Die korrosive Wirkung stark verdünnter, wässriger Phenollösungen. Technische Mitteilungen PTT **40** (1962), S. 117.
- [5] Hess, W., und Dubuis, R. Probleme der Bleikorrosion (3. Mitteilung). Bestimmung des Bleigehaltes von Kabelumhüllungen korrodierter Telephonkabel. Technische Mitteilungen PTT **34** (1956), S. 452.