

Betriebserfahrungen mit wassergekühlten Elektrodenhaltern in einer Kleinwanne

Von Ernst Neukunft, Augsburg

(Vortrag vor dem Fachausschuß II der DGG am 2. Oktober 1979 in Würzburg)
(Mitteilung aus dem Leistungszentrum Vorerzeugnisse der OSRAM GmbH, Augsburg)
(Eingegangen am 29. Dezember 1980)

In einer Kleinwanne zur Herstellung von Einschmelzgläsern mit insgesamt sechs Elektrodenpaaren wurden Elektroden unterschiedlicher Länge und Durchmesser eingesetzt. Elektroden- und Elektrodensteinkorrosion werden durch niedrige Strombelastung der Elektroden gering gehalten. Der Elektrodenhalter wird mit der Elektrode fest verschraubt, gegen die Halsbildung der Molybdänelektroden wird

eine Schutzhülse aufgeschraubt. Inbetriebnahme und Wechsel der Elektroden mit dem Halter werden beschrieben. Durch die gewählte einfache Konstruktion sind Wartungs- und Instandhaltungskosten gering und der Elektrodenwechsel leicht durchzuführen. Sie hat sich seit zehn Jahren bewährt und ist ohne Probleme im Einsatz.

Operating experience with water cooled electrode holders in a small tank

A small tank used for the preparation of sealing glasses was fitted, in all, with six pairs of electrodes of different lengths and diameters. Electrode and electrode block corrosion were kept at low levels by maintaining low current loading of the electrodes. The electrode holder is screwed rigidly to the electrode and a protective housing shrunk

against neck formation of the molybdenum electrodes. Insertion and changing of the electrodes with the holder are described. Because of the simple design selected the maintenance and installation costs are small and electrodes easily changed. These have been used for ten years and have been without problems.

Expérience acquise en cours d'exploitation avec des porte-électrodes refroidis par l'eau dans un petit four à bassin

Dans un petit four à bassin muni de six paires d'électrodes où sont fabriqués des verres de scellement, ont été installées des électrodes de longueurs et de diamètres différents. Par suite de la faible intensité de courant qui passe par les électrodes, la corrosion des électrodes et des blocs des électrodes reste faible. Le porte-électrode est solidement vissé à l'électrode et on emmanche une gaine protectrice afin d'éviter la

formation d'un étranglement des électrodes de molybdène. La mise en service, le changement des électrodes et le porte-électrode sont décrits. La conception simple qu'était choisie permet de réduire les coûts de maintenance et de faciliter le changement des électrodes. Elle a fait ses preuves depuis dix ans et elle est utilisée sans problème.

Mit Beginn der Elektroschmelze erwiesen sich bald die Elektroden und deren Halter als das größte Problem. In der folgenden Arbeit werden eine zwischenzeitlich entwickelte spezielle Halterkonstruktion und die mit ihr gesammelten Betriebserfahrungen vorgestellt.

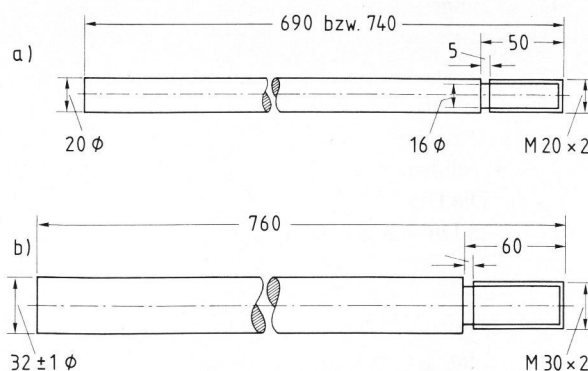
1. Beschreibung der Anlage

Eine kleine, kontinuierlich arbeitende vollelektrisch beheizte Wanne wurde von Eckhardt [1] beschrieben. In ihr werden verschiedene Gläser geschmolzen, in der Hauptsache ein Einschmelzglas für Eisen-Nickel-Kobalt-Legierungen. Es hat einen Borsäuregehalt von > 20 und einen Alkaligehalt von etwa 7 %. Die Wanne besteht aus Schmelz- und Arbeitsteil, die durch den Durchlaß voneinander getrennt sind. Die Schmelzfläche beträgt $0,5 \text{ m}^2$, die Seitensteinhöhe 900 mm. Der Glasdurchsatz ist mit 1200 kg/d gering. Dafür wird eine elektrische Anschlußleistung von etwa 100 kW benötigt.

Die Wanne ist mit sechs Elektrodenpaaren ausgerüstet; davon sind drei Paare in der Schmelzwanne, ein Paar im Durchlaß und zwei Paare in der Arbeitswanne angeordnet. Die Elektroden sind horizontal eingebaut. Je

nach Wannenbereich und Einsatzstelle sind die Elektrodenpaare unterschiedlich belastet, die untere Leistungsaufnahme liegt bei 8, die obere bei 26 kW . Die aus Molybdän bestehenden Elektroden haben unterschiedliche Durchmesser und Längen.

In den Bildern 1a und b sind die verwendeten Elektroden mit einem Durchmesser von 20 und einer Länge von



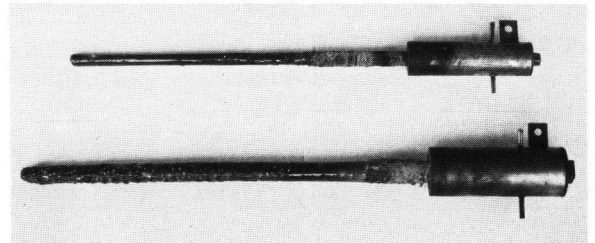
Bilder 1a und b. Schematische Darstellung der in der Glasschmelzwanne (Durchsatz 1200 kg Glas/d) eingesetzten Elektroden.



Bild 2. Verschleiß an den Elektrodenbohrungen.



Bild 3. Erkennbare Korrosion am Elektrodenende.



Bilder 4a und b. Elektroden mit Halter nach elf Monaten Einsatz, a) 20 mm Durchmesser, b) 32 mm Durchmesser.

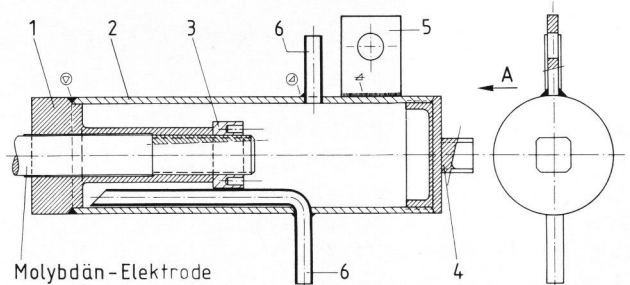


Bild 5. Elektrodenhalter zum Einschrauben der Elektroden.

- | | |
|---------------------------------|---------------------|
| 1: Verschluß mit Rohransatz | 4: Verschlußstopfen |
| 2: Rohr | 5: Anschlußblase |
| 3: Gegenmutter mit Kreuzlöchern | 6: Rohr |

740 bzw. 690 mm sowie die mit einem Durchmesser von 32 und einer Länge von 750 mm schematisch dargestellt. Alle Elektroden haben auf einer Seite ein 50 bzw. 60 mm langes Außengewinde aufgeschnitten. Als Ausgangsmaterial werden gehämmerte Rundstäbe verwendet.

Die Belastung der Elektroden liegt gegenüber den in der Fachliteratur genannten Werten im unteren Bereich. Die Stromdichte beträgt $< 1 \text{ A/cm}^2$. Deshalb ist der Verschleiß des feuerfesten Materials im Bereich der Elektrodenbohrungen gering.

Das zeigt sich in Bild 2 mit der Ansicht eines Elektrodensteines aus der Schmelzwanne nach einer Wannendreise von einem Jahr. Die Bohrungen zeigen keine erwähnenswerten Verschleißerscheinungen. Die Palisaden sind aus schmelzgegossenem Material der Qualität ER 1711. Die Durchgangsbohrungen haben im Originalstein 45 mm Durchmesser für eine Elektrode von 32 mm Durchmesser. Nach dem Ausbau des Elektrodensteines waren die Bohrungen um etwa 10 mm vergrößert.

Wie bereits erwähnt, ist auch der Elektrodenverschleiß infolge der niedrigen Strombelastung gering. Der Molybdäneinsatz aller Elektrodenstäbe beträgt 36 kg im Verlauf der Wannendreise. Während einer Wannendreise

von einem Jahr werden etwa 25 % des Stabmaterials im Glas gelöst. Das bedeutet, bei einem täglichen Glasdurchsatz von 1200 kg, einen Molybdängehalt im Glas von etwa 20 mg/kg Glas. Dieser Gehalt wirkt sich nicht störend auf das Produkt aus.

Vom Verschleiß besonders betroffen ist das Elektrodenpaar in der Einschmelzzone, deshalb werden diese Elektroden während der Wannendreise ein Mal ersetzt; alle anderen im Normalfall nicht. Bild 3 läßt die Elektrodenkorrosion erkennen. Die Elektrode war elf Monate in Betrieb und hatte einen ursprünglichen Durchmesser von 32 mm. Bild 3 zeigt das Elektrodenende; gut erkennbar sind die Korrosionsstellen und der Angriff an der Elektroden spitze.

In den Bildern 4a und b sind zwei Elektrodentypen mit 20 und 32 mm Durchmesser, komplett mit dem Elektrodenhalter, dargestellt. Während die Elektrode in Bild 4a elf Monate in Betrieb war, handelt es sich bei der in Bild 4b gezeigten Elektrode um dieselbe wie in Bild 3. Ein Verbiegen ist an beiden nicht zu erkennen.

In Bild 5 ist der Elektrodenhalter im Längsschnitt dargestellt. Es ist eine einfache Schweißkonstruktion. Die dicke Kopfplatte ist mit dem Rohr verschweißt. Die Ge-

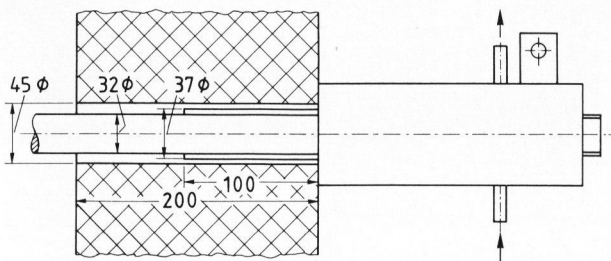


Bild 6. Elektrode mit Hülse, eingebaut in einen Seitenstein.

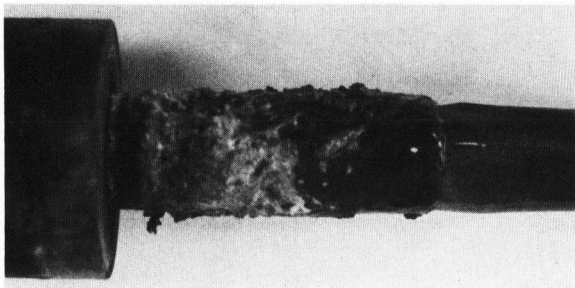


Bild 7. Elektrode mit Hülse im Halter nach elf Monaten.

windehülse wird durch die Platte hindurchgeführt und wird dann beidseitig verschweißt. Der gesamte Halter – bis auf den Verschlußstopfen – besteht aus Chrom-Nickelstahl. Die dicke Kopfplatte und das stabile Rohr wurden gewählt, damit bei Ausfall der Kühlung und die dadurch mögliche Überhitzung des Halters die Stabilität aufrechterhalten wird und somit die in der Kleinwanne sehr wichtige Fixierung der Elektroden gegeben ist. Der elektrische Anschluß erfolgt über die an dem Elektrodenhalter angeschweißte Lasche.

Die Kühlwasserzuführung ist zur Vermeidung von Dampfblasen von unten angeordnet. Die Wasserzufuhr an die heißesten und gefährdetsten Teile erfolgt durch ein Rohr mit 8 mm Innendurchmesser. Als Kühlwasser wird nicht aufbereitetes Leitungswasser vom Netz verwendet. Die Zu- und Abwasserverbindung zwischen Halter und Netz erfolgt durch aufgesteckte Gummischläuche. Die Kühlwassermenge ist zwischen den Elektroden, je nach Belastung, unterschiedlich und beträgt zwischen 0,8 und 1 l/min und Elektrodenpaar. Der Gesamtverbrauch der Wanne liegt bei etwa 350 l/h. Das Kühlwasser hat eine Vorlauftemperatur von 13 °C. Die Rücklauftemperatur schwankt je nach Belastung der Elektroden und dem Zustand der Palisaden zwischen 22 und 26 °C. Aus diesen Temperaturen ergibt sich eine Temperaturerhöhung des Kühlwassers um 9 bis 13 K. Der Energieverlust durch die mit dem Kühlwasser abgeführte Wärme liegt in einer Größenordnung von 5 %. Die niedrige Wasserrücklauftemperatur wird gewählt, um sicherzustellen, daß keine Verdampfung mit Kalkablagerung im Halter auftritt.

2. Betriebserfahrungen

Bei den ersten Versuchen mit der Elektrowanne mußten etwa alle sechs bis acht Wochen die Elektroden er-

neuert werden. Der Grund für diese Ausfälle war die Halsbildung zwischen Halter und Beginn der Verglasung. Maßnahmen, die zunächst eingeleitet wurden, wie Verstärken der Kühlung oder Verglasen der Elektrode bis zum Halter, brachten keinen nennenswerten Erfolg. Es folgten Versuche mit Stahlhülsen zur Abdeckung der Schwachstellen, und so kam man über das Aufziehen von Hülsen zum Aufschrumpfen. Nach Einführung dieser Methode stellte sich sehr rasch der Erfolg ein, und das Problem kann seitdem als gelöst angesehen werden. Dieses Verfahren ist natürlich nur für Elektroden anwendbar, die nicht nachgeschoben werden müssen.

Beim Aufschrumpfen sind zwei Faktoren von Wichtigkeit:

- Die Hülse muß auf die Elektrode so aufgeschrumpft werden, daß zwischen beiden ein guter metallischer Kontakt hergestellt wird und somit eine gute Wärmeleitfähigkeit gegeben ist. Voraussetzung hierfür ist eine fein bearbeitete Elektrodenoberfläche.
- Die Länge der Hülse muß so ausgelegt sein, daß das in die Steinbohrung eindringende Glas sofort nach dem Einsetzen der Elektrode einen Teil der Hülse überdeckt. Die Erfahrungen haben gezeigt, daß eine Hüslenlänge von 100 mm ausreichend ist.

Dem Zusammenbau der Elektrode mit dem Halter muß besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Denn erfahrungsgemäß wird beim Zusammenbau über die Lebensdauer der Elektrode entschieden. Zunächst wird die Schutzhülse auf die Elektrode vor dem Gewindeansatz aufgeschrumpft. Die Hülse hat eine Länge von 100 und eine Wanddicke von 3 mm. Der Innendurchmesser der Hülse ist im Vergleich zum Außendurchmesser der Elektrode um 0,1 mm kleiner. Das Material ist Chrom-Nickelstahl. Die Hülse wird zum Aufschrumpfen auf etwa 750 bis 800 °C erwärmt und dann mit einer einfachen Vorrichtung auf die Elektrode aufgezogen und abgekühlt. Sodann wird das Gewinde der Elektrode mit einer hitzebeständigen Paste geschmiert. Damit wird eine Abdichtung gegen den Kühlwasserraum erreicht. Die hitzebeständige Paste wurde deshalb gewählt, weil auch bei Überhitzung des Halters die Dichtigkeit gewährleistet sein muß. Die so vorbereitete Elektrode wird in den Halter eingeschraubt und mit einer Kontermutter gesichert. Nach Schließen der Kühlkammer durch den außen liegenden Verschlußstopfen wird der Halter mit Wasser bei 4 bar abgedrückt.

Bild 6 zeigt eine in einen Seitenstein eingebaute Elektrode (Durchmesser 32 mm) mit Hülse. Die Palisade ist 200 mm dick und mit einer 65 mm dicken Platte isoliert. Zwischen Palisade und Elektrodenhalter wird keine Kontaktmasse eingesetzt. Der Elektrodenhalter ist nicht fixiert.

Die Aufnahme in Bild 7 zeigt eine über elf Monate in Betrieb gewesene Elektrode mit Hülse und Halter. Sehr gut erkennbar sind die teilweise Verglasung der Hülse und der gute Zustand der Elektrode.

Im Laufe der Betriebszeit, nach Schwächung der Palisade durch Korrosion, kommt es vor, daß heißes Glas in Kontakt mit der Hülse kommt und diese teilweise abbrennt. Es wurde jedoch noch nie beobachtet, daß dadurch Zerstörungen an den Elektroden hervorgerufen worden wären.

Langjährige Erfahrungen haben gezeigt, daß für die Lebensdauer der Elektroden die Art ihrer Inbetriebnahme von besonderer Wichtigkeit ist. Bei einer Erstinbetriebnahme der Wanne darf die Elektrode erst eingeschoben werden, wenn man deutlich Glas im Elektrodenloch sieht. Das Einschalten des Stromes erfolgt erst, wenn die Elektrode mit Glas bedeckt ist. Bei Ausfall einer Elektrode während der Wannenreise kann nicht — wie bei den meisten Halterkonstruktionen — die Elektrode nachgeschoben werden, sondern es muß der Halter einschließlich der noch verbliebenen Elektrode gewechselt werden. Dies geht in der Regel so vor sich: Das Elektrodenpaar wird abgeschaltet und abgeklemmt. Die Kühlung bei der auszutauschenden Elektrode wird abgeschaltet. Nach kurzer Zeit ist der Bereich rund um die Elektrode so heiß, daß diese gezogen werden kann. Die neue Elektrode wird sofort eingeschoben, Kühlwasser und Strom werden ange-

schlossen und beide Elektroden wieder in Betrieb genommen. Ein Wechsel der Elektrode dauert etwa 15 min.

3. Zusammenfassung

Abschließend sollen noch einmal die wesentlichen Merkmale des vorgestellten Elektrodenhalters aufgeführt werden, der speziell für die erwähnten Kleinwannen mit verhältnismäßig kurzer Wannenreise entwickelt worden ist. Dazu gehören:

- a) einfache Konstruktion, dadurch geringe Wartung und Instandhaltung;
- b) geringer Kühlwasserverbrauch und deshalb niedrige Betriebskosten;
- c) einfache Handhabung beim Elektrodenwechsel.

Der Halter hat sich auf Grund seiner genannten Vorzüge bestens bewährt und ist seit mehr als zehn Jahren problemlos im Fertigungseinsatz.

4. Literatur

- [1] Eckhardt, K.: Praktische Erfahrungen mit einer kleinen, kontinuierlich arbeitenden elektrisch beheizten Wanne. Glastechn. Ber. 53 (1980) Nr. 6, S.145–148. 81R0263