

M. V. Biezma, S. Strobl, P. Linhardt, G. Ball, R. Haubner

Dezincification in cast and heat-treated alpha-beta brass samples

Entzinkung an alpha-beta Messing bei gegossenen und wärmebehandelten Proben

Received: 05.06.2023

Accepted: 07.06.2023

Translation: V. Müller

Eingegangen: 05.06.2023

Angenommen: 07.06.2023

Abstract

Two α - β brass alloys with varying Zn contents have been studied. The samples received for examination were heat-treated at 500 °C in order to conduct dezincification studies according to EN ISO 6509-1 and to measure the depth of dezincification from metallographic sections.

According to the phase diagram, the α -phase content should increase as a result of heat-treatment at 500 °C. This phenomenon, however, is difficult to observe in the metallographic sections which were prepared from the heat-treated samples. When analyzing the depth of dezincification, it was found that reduced dezincification occurred in the heat-treated sam-

Kurzfassung

Zwei α - β -Messinglegierungen mit unterschiedlichem Zn-Gehalt wurden untersucht. Die angelieferten Proben wurden bei 500 °C wärmebehandelt. Danach erfolgten Entzinkungsuntersuchungen nach EN ISO 6509-1 und die Tiefe der Entzinkung wurde an metallographischen Schliffen ausgemessen.

Laut Phasendiagramm sollte sich bei einer Wärmebehandlung bei 500 °C der Anteil an α -Phase erhöhen. Dieses Phänomen ist an den metallographischen Schliffen der wärmebehandelten Proben nur schwer zu erkennen. Bei der Tiefe der Entzinkung wurde jedoch eine reduzierte Entzinkung bei den wärmebehandelten Proben festgestellt. Dies ist nachvoll-

Authors:

Maria Victoria Biezma Universidad de Cantabria, Departamento de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales, E. T. S.Náutica, Santander, Spain

Susanne Strobl, Paul Linhardt, Günther Ball, Roland Haubner Technische Universität Wien, Institute for Chemical Technologies and Analytics, Österreich;
E-Mail: roland.haubner@tuwien.ac.at

 Open Access. © 2023 the author(s), published by De Gruyter.  This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.

ples. This is plausible since β brass is attacked by preferential corrosion.

Not only was uniform layer dezincification observed in the brass alloy with the higher Zn content, but also the onset of plug dezincification. This is associated with the original microstructure of the brass which is characterized by a coarse primary grain size. In this alloy, it is clearly observed that larger areas containing alpha brass will impede the process of dezincification.

Keywords: Brass, dezincification, heat treatment

1 Introduction

Brass is a popular copper-zinc alloy which also contains lead depending on the type of application. As a result of its golden color, brass is widely used for equipment such as bathroom and light fittings. Specific properties of brass can be achieved by using different alloy compositions. Generally, however, brass is malleable, tough, electrically conductive and has an increased strength [1]. Due to its corrosion resistance, brass is also suitable for seawater applications. Typical applications include components in water supply systems such as pipes and pumps. Brass can also be used for components in shipbuilding [2, 3].

The phase composition of brass is dependent on both Zn content and temperature [4, 5]. For alloy compositions with less than 32 wt.% Zn, α brass will form in each temperature range. With higher Zn contents, mixtures of α and β brass will occur. The specific phase ratio also depends on the temperature profile during cooling. At temperatures below 450 °C, the β -phase will be stable. Its formation, however, is also influenced by the cooling rate and possible contamination [6].

ziehbar, denn das β -Messing wird bei der Korrosion bevorzugt angegriffen.

Neben der gleichmäßigen Lagenentzinkung wurde bei der Zn-reicheren Messinglegierung auch eine beginnende Pfropfenentzinkung festgestellt. Dies hängt mit dem Ausgangsgefüge des Messings zusammen, denn in diesem Gefüge liegt eine grobe Primärkorngröße vor. Bei dieser Legierung ist deutlich zu sehen, dass größere Bereich mit alpha-Messing den Entzinkungsfortschritt hemmen.

Schlagwörter: Messing, Entzinkung, Wärmebehandlung

1 Einleitung

Messing ist eine beliebte Kupfer-Zink-Legierungen, die je nach Anwendung auch Blei enthält. Aufgrund seiner goldenen Farbe wird Messing gerne für Ausstattungsgegenstände, wie beispielsweise Armaturen und Beleuchtungskörper, verwendet. Durch Variation der Legierungszusammensetzung können die unterschiedlichen Eigenschaften des Messings eingestellt werden, aber im Allgemeinen ist Messing leicht zu bearbeiten, zäh, elektrisch leitfähig und mit erhöhter Festigkeit [1]. Durch seine Korrosionsbeständigkeit ist Messing auch für den Einsatz in Meerwasser geeignet, wobei typische Anwendungen Bauteile in wasserführenden Systemen, wie beispielsweise Leitungen und Pumpen, sind. Auch für Bauteile im Schiffsbau kann Messing verwendet werden [2, 3].

Die Phasenzusammensetzung von Messing ist sowohl vom Zn-Gehalt, als auch von der Temperatur abhängig [4, 5]. Unter 32 Gew.% Zn liegt in jedem Temperaturbereich α -Messing vor. Bei höheren Zn-Gehalten treten Mischungen aus α - und β -Messing auf, wobei das Verhältnis auch vom Temperaturverlauf der Abkühlung abhängt. Bei Temperaturen unterhalb von 450 °C ist die β -Phase stabil, wobei auch hier die Abkühlgeschwindigkeit und allfällige Verunreinigungen deren Bildung beeinflussen [6].

In terms of corrosion properties, it should be noted that β brass is more easily corroded than α brass due to its higher Zn content. Corrosion of brass is often observed in the form of dezincification, a process subjecting Zn to selective oxidation and leaving metallic copper behind [7].

The present study aims to show how the dezincification in brass is influenced by heat-treatment.

2 Experimental

Two newly developed low-Pb brass alloys have been tested (Table 1) [8]. Eco 1 contains 62.32 wt.% Cu, 36.32 wt.% Zn, 0.19 wt.% Pb and 0.60 wt.% Al whereas Eco 3 contains 57.07 wt.% Cu, 42.47 wt.% Zn, 0.09 wt.% Pb and 0.17 wt.% Al. Samples for the study were taken from two different positions of cast ingots (marked "cast").

Some of the samples were heat-treated in a muffle furnace at 500 °C for 2 hours and subsequently quenched in water (Figure 1). In order to avoid oxidation, annealing was performed with a graphite filling. Both the cast and heat-treated samples were then cut into smaller pieces and hot-mounted in bakelite.

A series of samples underwent metallographic preparation using diamond particle sizes down to 1 μm . The microstructure was revealed using the etchants $(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4$ and Klemm's reagent II [9].

Bezüglich der Korrosionseigenschaften ist anzumerken, dass β -Messing aufgrund seines höheren Zn-Gehalts leichter durch Korrosion angegriffen wird als das α -Messing. Korrosion am Messing wird oft als Entzinkung beobachtet, wobei das Zn selektiv oxidiert wird und metallisches Kupfer zurückbleibt [7].

Die vorliegenden Untersuchungen sollen zeigen wie eine Wärmebehandlung des Messings die Entzinkung beeinflusst.

2 Experimentelles

Es wurden zwei neu entwickelte Pb-arme Messinglegierungen getestet (Tabelle 1) [8]. Eco 1 enthält 62,32 Gew.% Cu, 36,32 Gew.% Zn, 0,19 Gew.% Pb und 0,60 Gew.% Al. Eco 3 enthält hingegen 57,07 Gew.% Cu, 42,47 Gew.% Zn, 0,09 Gew.% Pb und 0,17 Gew.% Al. Von den beiden Gussbarren wurden an jeweils zwei unterschiedlichen Stellen Proben für die Untersuchungen zur Verfügung gestellt (Bezeichnung „gegossen“).

Ein Teil der Proben wurde in einem Muffelofen bei 500 °C für 2 Stunden wärmebehandelt und danach in Wasser abgeschreckt (Bild 1). Um Oxidation zu vermeiden, erfolgte die Glühung in einer Graphitschüttung. Die gegossenen sowie die wärmebehandelten Proben wurden weiter zerteilt und in Bakelit warmeingebettet.

Eine Probenserie wurde metallographisch bis zu einer Diamantkorngöße von 1 μm präpariert. Zur Entwicklung des Gefüges wurden die Ätzmittel $(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4$ und Klemm 2 verwendet [9].

Wt.% / Gew.%	Cu	Sn	Pb	Fe	Ni	Si	Al	Sb	As	P	Mn	Zn (bal. / Rest)
Eco 1	62.32	0.04	0.19	0.10	0.07	0.004	0.60	0.03	0.03	–	0.00	36.62
Eco 3	57.07	0.03	0.09	0.15	0.01	0.00	0.17	0.01	–	0.00	0.00	42.47

Table 1: Compositions of the brass alloys.

Tabelle 1: Zusammensetzungen der Messinglegierungen.

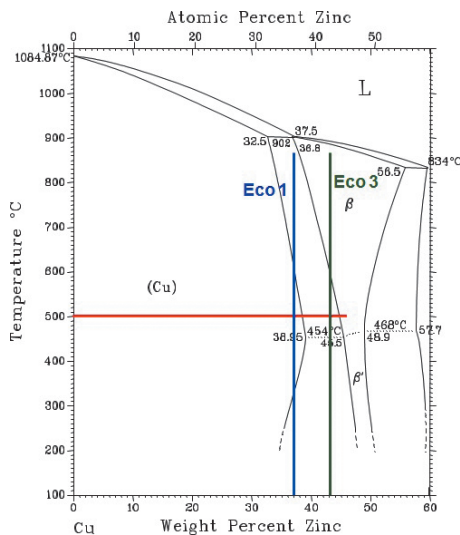


Figure 1: Cu-Zn phase diagram indicating the compositions of the two brass alloys, modified according to [4].

Bild 1: Cu-Zn Phasendiagramm mit den Zusammensetzungen der beiden Messinglegierungen, modifiziert nach [4].

The samples to be used in the dezincification experiments were ground down to P1200.

Dezincification studies were performed in accordance with EN ISO 6509-1 which involves storage of the prepared samples in a solution consisting of 12.7 g $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ in 1 L water at 75 °C for 24 h. In order to determine the depth of dezincification, the samples were cut in half and the cross-sections were again mounted in bakelite. After metallographic sample preparation, the depth of dezincification was measured using a light optical microscope (LOM).

Individual samples were also examined in the scanning electron microscope (SEM) with energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS).

3 Results and discussion

3.1 Transformation of the brass microstructure after heat treatment

After etching with $(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4$, the cast brass Eco 1 shows a homogeneous fine-

Die Proben für die Entzinkungsversuche wurden bis zu einer Korngröße von P1200 geschliffen.

Die Entzinkungsuntersuchungen erfolgten nach EN ISO 6509-1. Dabei werden die präparierten Proben in einer Lösung aus 12,7 g $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ in 1 L Wasser bei 75 °C für 24 h gelagert. Um die Tiefe der Entzinkung zu bestimmen, wurden die Proben halbiert und die Querschnitte wiederum in Bakelit eingebettet. Nach erfolgter metallographischer Präparation wurde die Tiefe der Entzinkung im Lichtmikroskop (LOM) ausgemessen.

Einzelne Proben wurden auch im Rasterelektronenmikroskop (REM) mit energiedispersiver Röntgenanalyse (EDX) untersucht.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Veränderung der Messinggefüge durch die Wärmebehandlung

Nach einer Ätzung mit $(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4$ zeigt das gegossene Messing Eco 1 ein homogenes

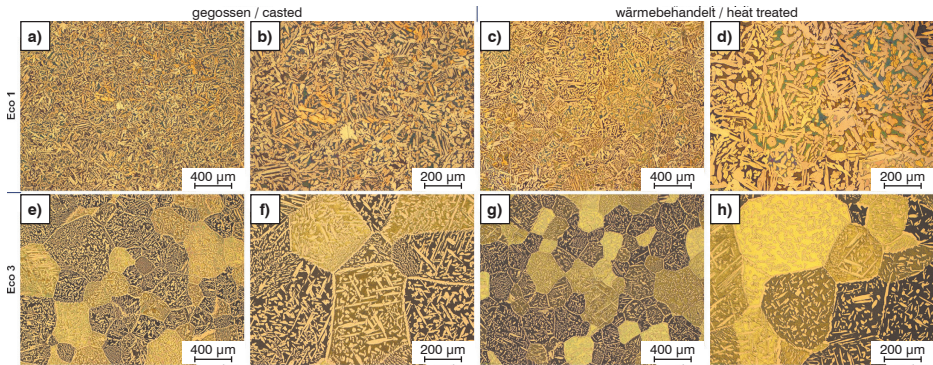


Figure 2a to h: Microstructure of the two brass alloys before and after annealing, etched with $(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4$. (a – d) Eco 1, (e – h) Eco 3.

Bild 2a bis h: Gefüge der beiden Messinglegierungen vor und nach den Glühungen (Ätzung, $(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4$. (a – d) Eco 1, (e – h) Eco 3.

grained microstructure (Figure 2a, b). The α brass appears light and shows rod-shaped structures of up to $150\ \mu\text{m}$ in length. β brass appears dark and forms the matrix. According to the Cu-Zn phase diagram [4], heat treatment at $500\ ^\circ\text{C}$ will increase the content of α brass (Figure 1). After heat-treatment (Figure 2c, d), the α brass is more coarse-grained and the rods are up to $200\ \mu\text{m}$ long. The amount of dark-colored β brass is slightly smaller compared to the original microstructure.

Due to a higher Zn content, the cast microstructure of Eco 3 contains more β brass and exhibits a distinct cell structure which is likely to have formed during solidification (Figure 2e, f). Within the individual cells, the rod-shaped α brass structures seem to be crystallographically oriented. It is striking that α brass seems to occur preferentially at the cell boundaries.

Apparently, heat-treatment at $500\ ^\circ\text{C}$ did not alter the cell structure. However, the β brass content has increased and that of the α brass has declined accordingly. α brass is still observed at the boundaries of the original cell structures (Figure 2g, h). It is not

feinkörniges Gefüge (Bild 2a, b). Das α -Messing erscheint als helle Balken, die eine Länge von bis zu $150\ \mu\text{m}$ erreichen. β -Messing erscheint dunkel und bildet die Matrix. Gemäß dem Cu-Zn-Phasendiagramm [4] wird durch die Wärmebehandlung bei $500\ ^\circ\text{C}$ die Menge an α -Messing erhöht (Bild 1). Nach der Wärmebehandlung (Bild 2c, d) ist das α -Messing grobkörniger und die Balken erreichen eine Länge von bis zu $200\ \mu\text{m}$. Die Anteile an dunkel gefärbtem β -Messing sind etwas geringer, im Vergleich zum Ausgangsgefüge.

Das gegossene Gefüge von Eco 3 enthält aufgrund des höheren Zn-Gehalts auch mehr β -Messing. Das Gefüge zeigt eine ausgeprägte Zellenstruktur, die vermutlich bei der Erstarrung entstanden ist (Bild 2e, f). Die Balken aus α -Messing scheinen innerhalb der einzelnen Zellen kristallographisch orientiert zu sein. Auffallend ist, dass α -Messing auch bevorzugt an den Zellrändern vorliegt.

Durch die Wärmebehandlung bei $500\ ^\circ\text{C}$ hat sich die Zellstruktur anscheinend nicht verändert, jedoch hat der Anteil an β -Messing zugenommen und jener des α -Messings hat dementsprechend abgenommen. α -Messing liegt aber noch immer an den Rändern der ur-

known at which temperature the original cast microstructure of the brass was annealed, so this could be the reason for these minor changes.

3.2 Results of dezincification studies

After the dezincification experiments, transverse sections were prepared. Images of the cross-sections of the polished samples by LOM and SEM, respectively, are shown in Figure 3. The depth of dezincification is clearly observable and can be measured from these images (Figure 4).

When comparing the cast Eco 1 sample with the heat-treated version, it becomes evident that the depth of dezincification is much greater in the as-received condition (Figure 3a–d), with approx. 260 and 150 μm , respectively, as seen in Figure 4. Based on its appearance, this type of layer-by-layer corrosion is referred to as layer dezincification. Detailed views are shown in Figure 5. Selective dezincification in the less corrosion resistant β -phase with a higher Zn content is clearly observable whereas the α -phase was not subjected to corrosion. At higher magnifications, metallic Cu which has formed during dezincification is

springlichen Zellstrukturen vor (Bild 2 g, h). Da nicht bekannt ist, welcher Glüh Temperatur das ursprüngliche Gussgefüge des Messings entsprach, könnte dies der Grund für die geringen Änderungen sein.

3.2 Ergebnisse der Entzinkungsuntersuchungen

Nach den Entzinkungsversuchen wurden Querpräparationen angefertigt. Ansichten der Querschnitte der polierten Proben, die mittels LOM bzw. REM aufgenommen wurden, sind in Bild 3 dargestellt. In diesen Aufnahmen lässt sich die Entzinkungstiefe deutlich erkennen und messen (Bild 4).

Vergleicht man Eco 1 gegossen mit der wärmebehandelten Probe, so ist die Tiefe der Entzinkung beim Anlieferungszustand wesentlich größer (Bild 3a–d) und wie in Bild 4 gezeigt beträgt sie ca. 260 bzw. 150 μm . Nach seinem Aussehen bezeichnet man diese schichtartige Korrosion als Lagenentzinkung. Eine detaillierte Ansicht ist in Bild 5 dargestellt. Deutlich ist die selektive Entzinkung der weniger korrosionsbeständigeren, Zn-reicheren β -Phase erkennbar, wohingegen die α -Phase nicht korrodierte. Bei den angeätzten Proben und höheren Vergrößerungen ist auch das während der Entzinkung entstandene, metallische Cu gut zu

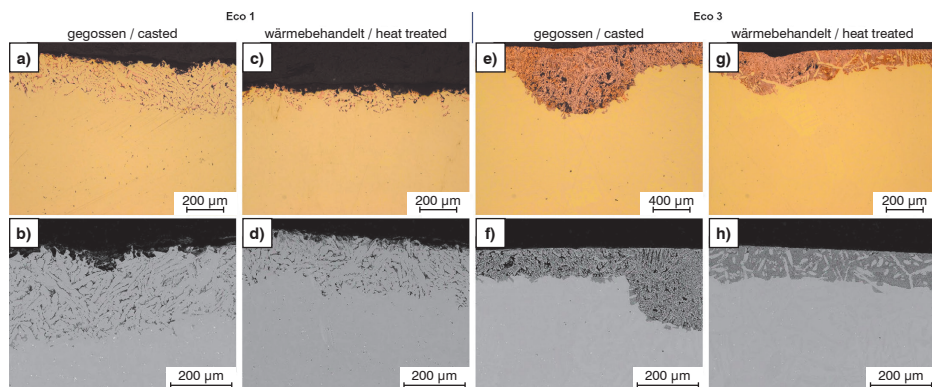
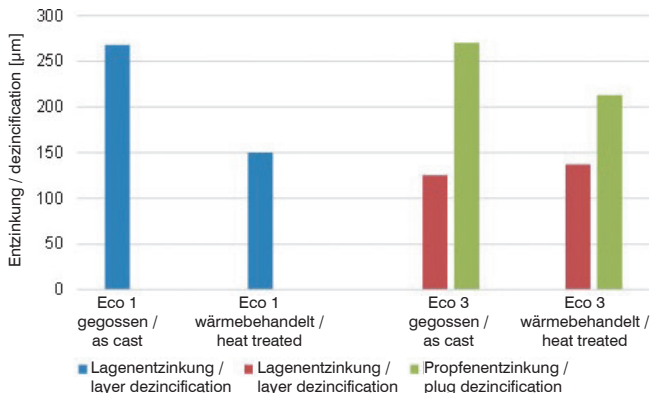


Figure 3a to h: Cross-sections of the samples after dezincification: (a, c, e, g) LOM, (b, d, f, h) SEM.

Bild 3a bis h: Querschnitte der Proben nach der Entzinkung: (a, c, e, g) LOM, (b, d, f, h) REM.

Figure 4: Dezincification depths in the different cast and heat-treated alloys, measured from metallographic transverse sections.

Bild 4: Entzinkungstiefen der unterschiedlichen Legierungen und Wärmebehandlungen, ausgemessen an den metallographisch präparierten Querschliffen.



also clearly visible in the etched samples (Figure 5b, e). Both LOM (Figure 5a, d) and SEM (Figure 5c, f) images exhibit higher contents of α brass after heat-treatment.

A comparison between the cast Eco 3 brass and the heat-treated version shows that in both samples, layer dezincification has reached similar depths of 125 μm (cast) and

erkennen (Bild 5b, e). Sowohl im LOM (Bild 5a, d) als auch im REM (Bild 5c, f) ist deutlich zu erkennen, dass der Anteil an α -Messing nach der Wärmebehandlung erhöht ist.

Ein Vergleich des gegossenen Eco 3 Messings mit seinem wärmebehandeltem Pendant zeigt, dass die Lagenentzinkung bei beiden Proben eine ähnliche Tiefe von 125 μm

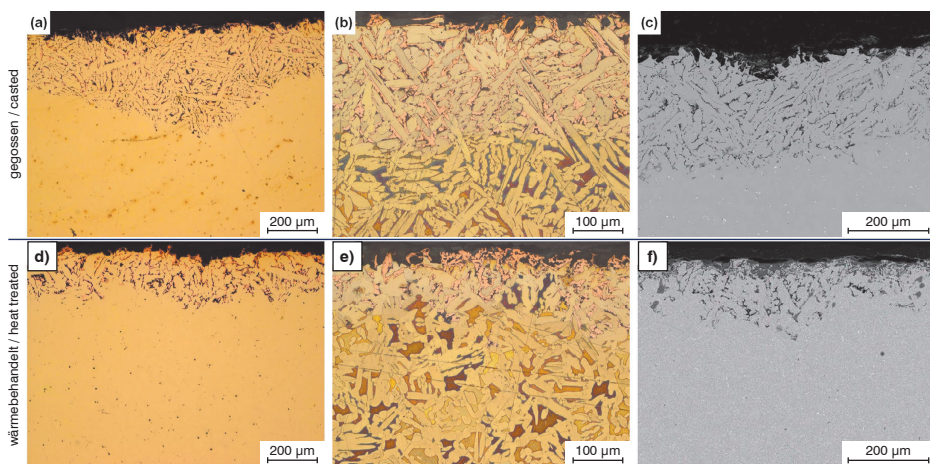


Figure 5a to f: Microstructure of the dezincified areas in the original and heat-treated brass alloy Eco 1. (a, d) polished, LOM, (b, e) etched with $(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4$, LOM, (c, f) SEM.

Bild 5a bis f: Gefüge der entzinkten Bereiche bei der originalen und wärmebehandelten Messinglegierung Eco 1. (a, d) poliert, LOM, (b, e) geätzt mit $(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4$, LOM, (c, f) REM.

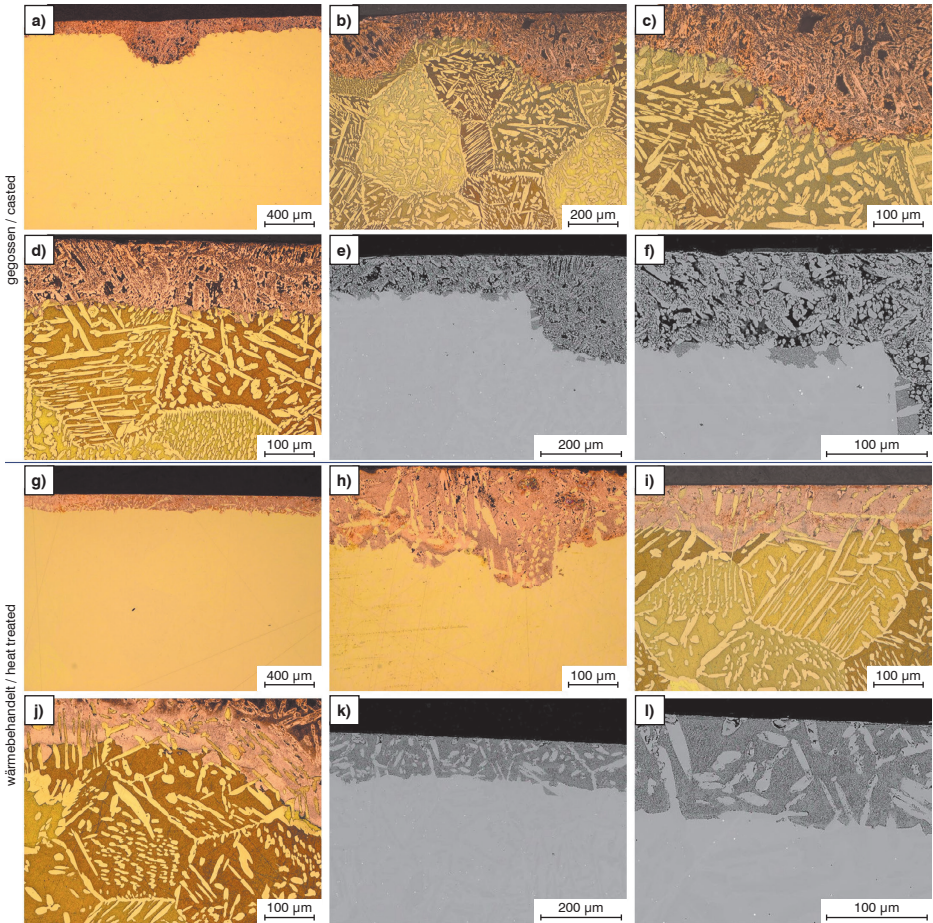


Figure 6a to l: Microstructure of the dezincified areas in the brass alloy Eco 3. (a – f) original sample. (g – l) heat-treated sample. (a, g, h) polished LOM, (b, c, d, h, i, j) etched with $(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4$, LOM, (e, f, k, l) SEM.

Bild 6a bis l: Gefüge der entzinkten Bereiche von Messinglegierung Eco 3. (a – f) originale Probe, Probe (g – l). wärmebehandelte Probe. (a, g, h) poliert LOM, (b, c, d, h, i, j) geätzt mit $(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4$, LOM, (e, f, k, l) REM.

135 μm (heat-treated) respectively (Figure 3e–h and Figure 4). In addition, these samples exhibit so-called local plug dezincification which, with a depth of up to 260 μm in the cast brass sample, is much more distinct than in the heat-treated sample, with 210 μm . Figure 6 provides several detailed views which clearly show selective

(gegossen) bzw. 135 μm (wärmebehandelt) erreicht (Bild 3e–h und Bild 4). Zusätzlich zeigen diese Proben eine sogenannte lokale Pfropfenentzinkung, die beim gegossenen Messing mit einer Tiefe bis zu 260 μm deutlich ausgeprägter ist als bei der wärmebehandelten Probe mit 210 μm . In Bild 6 sind mehrere Detailaufnahmen gezeigt. Auch hier ist klar die

dezincification in the β -phase and the resulting formation of Cu.

The cast Eco 3 sample has a very fine structure in the corroded area (Figure 6a–f), while the α -phase is not clearly visible, it is evident, however, that α brass impedes dezincification at the boundaries of the cell structures (Figure 6b, d, f).

In the heat-treated sample, the dezincified area appears uniformly copper-colored with distinct inclusions of α brass (Figure 6 h, k, l). The fact that α brass impedes dezincification can be clearly observed in Figures 6i and j.

4 Conclusions

Dezincification experiments according to EN ISO 6509-1 are also suitable to study the effect of heat-treatments on brass alloys.

In one α - β brass (Eco 1), a significant reduction of the dezincification depth was observed after heat-treatment at 500 °C, which can be explained by the increased content of the more corrosion resistant α brass.

On another α - β brass (Eco 3) containing slightly more Zn, heat-treatment had a less significant effect. The microstructure of this alloy, however, exhibited a distinct cell structure, with α brass mainly occurring at the cell boundaries. As a result, not only layer dezincification was observed, but also the onset of plug dezincification. At the same time, it was found that larger concentrations of α brass will impede dezincification.

Whether or not a cell structure in the brass always leads to plug dezincification, will have to be the subject of further studies.

selektive Entzinkung der β -Phase und das entstandene Cu erkennbar.

Die gegossene Eco 3 Probe besitzt eine sehr feine Struktur im korrodierten Bereich (Bild 6a–f), wobei die α -Phase nicht gut erkennbar ist. Es ist aber deutlich ersichtlich, dass das α -Messing an den Rändern der zellularen Strukturen die Entzinkung hemmt (Bild 6b, d, f).

Bei der wärmebehandelten Probe erscheint der entzinkte Bereich gleichmäßig kupferfarben mit deutlichen Einschlüssen von α -Messing (Bild 6h, k, l). Der Effekt, dass α -Messing die Entzinkung aufhält, ist deutlich in den Bildern 6i und j zu sehen.

4 Schlussfolgerungen

Entzinkungsversuche nach EN ISO 6509-1 sind auch gut dazu geeignet, die Auswirkungen von Wärmebehandlungen an Messinglegierungen zu untersuchen.

Bei einem α - β -Messing (Eco 1) konnte durch eine Wärmebehandlung bei 500 °C eine deutliche Verringerung der Entzinkungstiefe festgestellt werden. Dies kann durch eine Vergrößerung des Anteils an korrosionsbeständigerem α -Messing erklärt werden.

Bei einem weiteren α - β -Messing (Eco 3), welches auch etwas mehr Zn enthielt, waren die Auswirkungen der Wärmebehandlung geringer. Das Gefüge dieser Legierung zeigte jedoch eine ausgeprägte Zellenstruktur, wobei α -Messing an den Zellrändern zu finden war. Dies bewirkte, dass keine reine Lagenentzinkung auftrat, sondern auch eine beginnende Pfropfenentzinkung. Er war aber deutlich zu sehen, dass größere Ansammlungen von α -Messing die Entzinkung aufhalten.

Ob eine Zellenstruktur im Messing immer zu Pfropfenentzinkung führt, müssten weitere Untersuchungen zeigen.

5 Acknowledgements

The authors would like to thank Ms. Ines Saint-Palais (IUT Bordeaux) who assisted in sample preparation during her internship. Moreover, the authors would like to thank the Spanish-based company "Latones del Carrión" for providing the sample material and "Gobierno de Cantabria" for funding within the project SUBVTC-2021-0024.

The authors also express their thanks to TU Wien Library for funding received from their open-access funding programme.

5 Danksagung

Unser Dank geht an Frau Ines Saint-Palais (IUT Bordeaux) die im Rahmen eines Praktikums bei der Probenpräparation geholfen hat. Weiters möchten wir der Firma „Latones del Carrión“ aus Spanien für das Probenmaterial, und „Gobierno de Cantabria“ für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Projekts SUBVTC-2021-0024, danken.

Die Autoren danken der TU Wien Bibliothek für die finanzielle Unterstützung durch ihr Open-Access-Förderprogramm.

References / Literatur

- [1] Kupfer-Zink-Legierungen (Messing und Sondermessing), Deutsches Kupferinstitut, 03/2007.
- [2] Yohai, L.; Vázquez, M.; Valcarce, M. B.: Brass corrosion in tap water distribution systems inhibited by phosphate ions, *Corrosion Science* 53 (2011), pp. 1130–1136.
DOI:10.1016/j.corsci.2010.12.005
- [3] Sarver, E.; Edwards, M.: Effects of flow, brass location, tube materials and temperature on corrosion of brass plumbing devices, *Corrosion Science* 53 (2011), pp. 1813–1824.
DOI:10.1016/j.corsci.2011.01.060
- [4] Massalski, T. B.: Binary Alloy Phase Diagrams, ASM International, Metals Park OH (1990).
- [5] Haubner, R.; Strobl, S.; Linhardt P.: Effects on microstructure and corrosion behavior of a heat treated CuZn36Pb2 brass, *Defect and Diffusion Forum*, 405 (2020), pp. 333–338.
DOI:10.4028/www.scientific.net/DDF.405.333
- [6] Gialanella, S.; Lutterotti, L.: Metastable structures in α - β brass, *Journal of Alloys and Compounds* 317–318 (2001), pp. 479–484.
DOI:10.1016/S0925-8388(00)01374-8
- [7] Valcarce, M. B.; de Sánchez, S. R.; Vázquez, M.: Brass dezincification in a tap water bacterial suspension, *Electrochimica Acta* 51 (2006), pp. 3736–3742.
DOI:10.1016/j.electacta.2005.10.034
- [8] Bowers, J. E.; Oseland, P. W. R.; Davies, G. C.: Development of a Hot-Stamping Brass Resistant to Dezincification, *British Corrosion Journal*, 13, 4 (1978), pp. 177–185.
DOI:10.1179/000705978798276212
- [9] VanderVoort, G. F.: *Metallography – Principles and Practice*, ASM International, 3rd printing, (2004), p. 642.
DOI:10.31399/asm.hb.v09.a0003752

Bibliography

DOI 10.1515/pm-2023-1053
 Pract. Metallogr. 60 (2023) 10; page 632–642
 Open Access. © 2023 the author(s),
 published by De Gruyter. 
 This work is licensed under the Creative
 Commons Attribution 4.0 International
 License.
 ISSN 0032–678X · e-ISSN 2195–8599

Victoria Biezma-Moraleda



is full professor of Materials Science and Engineering of University of Cantabria, Spain. She is currently involved in the study of the relationship between chemical composition, micro-structure, and corrosion behaviour of different metallic systems, mainly copper based alloys

and superduplex stainless steels, as well as failure analysis of materials.

Susanne Strobl



is working as a scientific officer at the Institute of Chemical Technologies and Analytics (TU-Wien) and is teaching supervisor of metallography. She studied chemistry and her doctoral thesis was about sintered steels.