MKM Mansfelder Kuper und Messing GmbH – Stand der Conti-M® Technologie

Palm, K.-D.; Busch, H. (1)

Seit mehr als 100 Jahren werden bei der MKM Mansfelder Kupfer und Messing GmbH in Hettstedt Halbzeuge aus Kupfer und Kupferlegierungen hergestellt. Mit der technisch-technologischen Modernisierung der Produktionsanlagen im Rahmen der Privatisierung Mitte der 90er Jahre und dem Fokus auf den Ausbau der Kapazitäten kontinuierlich arbeitender Gießanlagen, konnte erstmals im Jahr 2000 die bis heute weltweit einmalige Conti-M® Technologie für das Herstellen gießgewalzter Kupferbänder in Betrieb genommen werden.

Quelle: MKM intern

Bild 1: Conti-M® Anlage

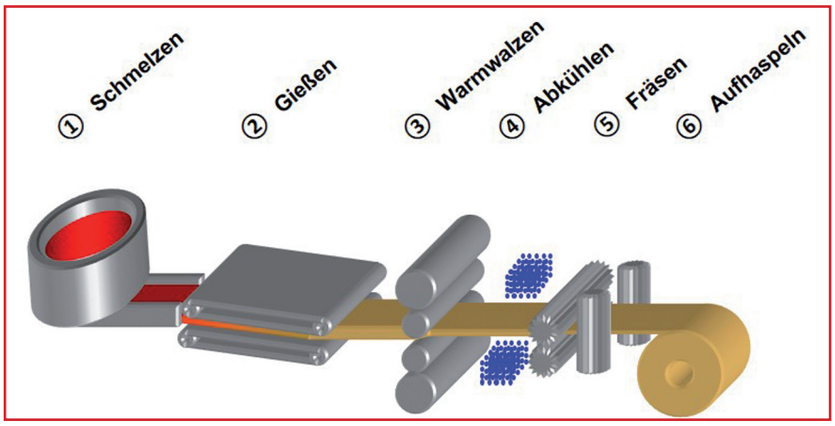
Üblicherweise wird Kupferband entweder aus vertikal gegossenen Walzplatten, die warm und dann kalt auf das entsprechende Fertigmaß gewalzt werden oder aber aus horizontal gegossenen endabmessungsnahen Bändern, gefolgt von einem Kaltwalzprozess hergestellt. Conti-M® stellt ein neues innovatives Konzept zur kontinuierlichen Produktion von Kupferband dar, welches statt der bisher üblichen feststehenden bzw. oszillierenden Kokille eine mitlaufende Kokille benutzt. Gegenüber den etablierten Gießverfahren erlaubt eine mitlaufende Kokille eine Erhöhung der Gießgeschwindigkeit auf deutlich über 2 m/min, was in etwa einer Produktionssteigerung um Faktor 10 bedeutet. Nach Bewertung der am Markt verfügbaren Gießkonzepte erhielt die Hazelett Doppelband-Gießmaschinentechnologie den Vorzug [1]. Mit dem Betreiben der Anlage seit 15 Jahren ist eine ständige Weiterentwicklung der Technologie mit Modifikation einzelner Anlagenteile verbunden.

Besonderheiten der Conti-M® Technologie

Die Conti-M® Anlage (Bild 1) bildet den Anfang einer modernen technologischen Prozesskette zur Kupferbandfertigung in einer 360 m langen Halle. Mit einer maximalen Gießbreite von 1290 mm und einer Schmelzkapazität bis zu 70 t/ h können heute als Endprodukt allseitig gefräste Coils unter-schiedlicher Kupferqualitäten (ETP-Cu, DLP-Cu, DHP-Cu, HCP-Cu, OF-Cu, OFE-Cu) kontinuierlich über eine Gieß-Walz-Technologie in nur einer Gießperiode hergestellt werden.
Charakteristisches Merkmal ist die technologische Verknüpfung der Prozessschritte Schmelzen, Gießen, Warmwalzen, Abkühlen, Fräsen und Aufhaspeln (Bild 2). Damit werden die mit der Conti-M® Technologie hergestellten gefrästen Kupfercoils nicht nur mit kürzeren Durchlaufzeiten von ca. 2 Stunden gefertigt, sondern auch mit höherer Energieeffizienz im Vergleich zur konventionellen Technologie.

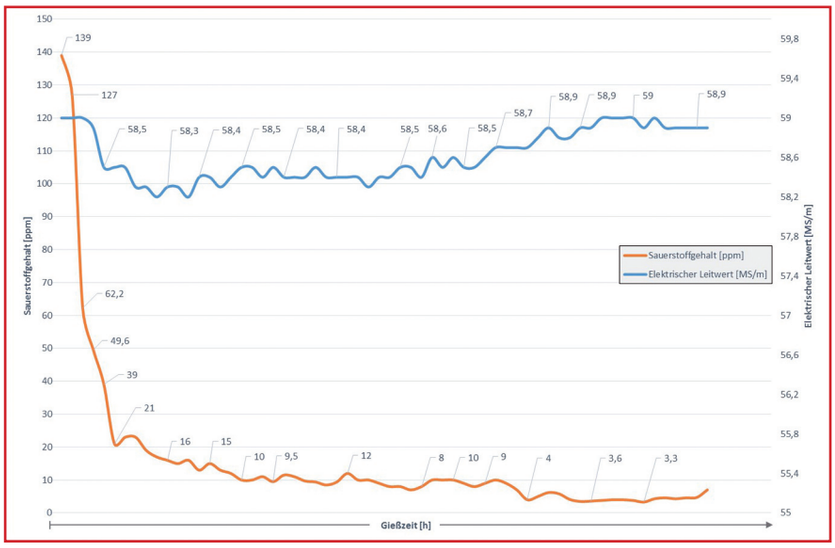
Technologiebeschreibung

Das technologische Schema bei Conti-M® ist so gestaltet, dass das vom Schmelzofen kommende Flüssigkupfer von Schlacke über eine vor dem Gießsystem integrierte Ofenlinie vollständig separiert wird. Anschließend erfolgt die Flüssigmetallzuführung in die Doppelband-Gießmaschine, bei der das Kupfer in einer Endloskokille aus zwei umlaufenden, wassergekühlten Stahlbändern und seitlich angeordneten



Quelle: MKM intern

Bild 2: Schema der Conti-M® Technologie



Quelle: MKM intern

Bild 3: Tendenzielle Entwicklung des Sauerstoffgehaltes und der elektrischen Leitfähigkeit im Kupferband

Begrenzungsketten erstarrt. Mit einer Dicke von 45 mm und einer Breite von maximal 1.290 mm läuft das Band in einen hinter der Gießmaschine angeordneten Anwärmofen ein, in dem die Bandtemperatur (± 20 °C) vor dem Warmwalzen konstant gehalten wird. Eine Dickenreduktion von 45 mm bis auf minimal 12 mm wird im Quarto-Warmwalzwerk realisiert. Daran schließen sich Kühlstrecke, Richtmaschine, Fräse, Schere und Haspeleinrichtungen an. Im Ergebnis können Standard-Coils mit einem Gesamtgewicht von max. 25 t als Vorband für die weitere Bandbearbeitung zur Verfügung gestellt werden [2]. Das moderne Anlagenkonzept für die Kupferbandherstellung integriert Einzelanlagen, die bis dato in anderen Fertigungstechnologien zum Einsatz gekommen sind. Nachfolgend soll detaillierter auf die technologischen Kernkomponenten eingegangen werden.

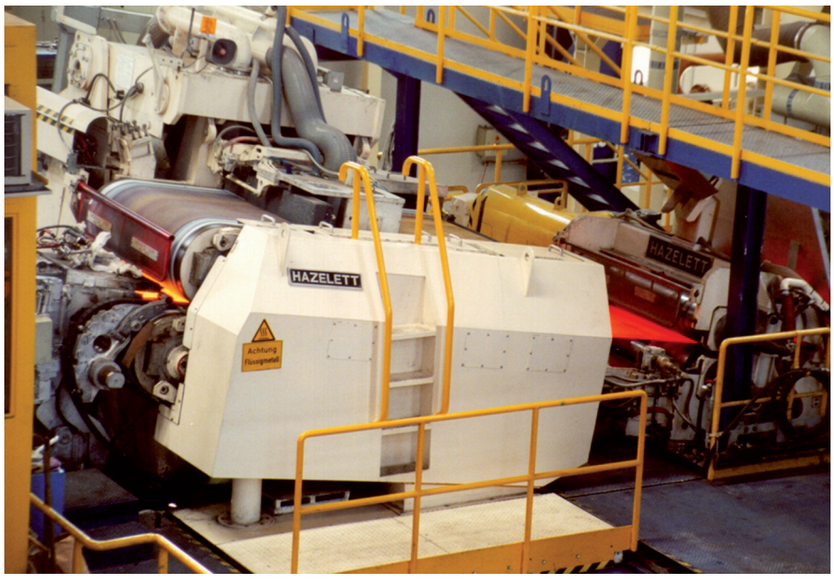
Ofenanlage

Entscheidende Auswahlkriterien für das Ofenkonzept waren Produktqualität, Prozesssicherheit wie auch ein entsprechend hoher Automatisierungsgrad. Das Ofenkonzept besteht aus einem ASARCO-Schachtschmelzofen zum Schmelzen von Kathoden und einem nachfolgend angeordneten induktionsbeheiztem Abschlackofen zur Schlackseparierung. Dem Schmelz- und Abschlackofen sind eine gasbeheizte Überführungsrinne, ein induktionsbeheizter 80-t-Speicherofen, sowie ein druckbeaufschlagter, ebenfalls induktionsbeheizter Vergießofen nachgeschaltet. Vorteil des von INDUGA erarbeiteten Ofenkonzeptes von Conti-M® ist, dass alle dem Abschlackofen nachgeschalteten Öfen komplett geschlossen bleiben. Die daraus resultierende kontrollierte Ofenatmosphäre, bei der kein zusätzlicher Sauerstoff im Flüssigkupfer aufgenommen wird, ist eine entscheidende Vorbedingung für qualitätsrelevante Kupfermetallurgie [1].

Das den Schachtofen verlassende Flüssigkupfer wird über eine gasbeheizte Rinne in den Abschlackofen überführt. Dabei hat die oxidbehaftete Schmelze eine niedrige und schwankende Temperatur. Daraus resultiert die wichtigste Funktion des Abschlackofens: die Entfernung der Schlacke aus der Ofenlinie und die bei Bedarf notwendige Anhebung der Kupfertemperatur. Der mit einer Kapazität von 6 t ausgelegte Ofen ist in zwei Kammern aufgeteilt, welche durch einen sandwichartig integrierten Rinneninduktor miteinander verbunden sind. Die Separation der Schlacke erfolgt in der einlaufseitigen Abschlackkammer, in der die Schlacke aufsteigt und nach hinten in einen Schlackekübel in regelmäßigen Abständen abgezogen wird. Das Flüssigkupfer fließt über die Rinnenäste des Induktors in die auslaufseitig angeordnete Transferkammer, wo es über ein Siphonrohr in die Überführungssrinne und weiter in den Speicherofen überführt wird.

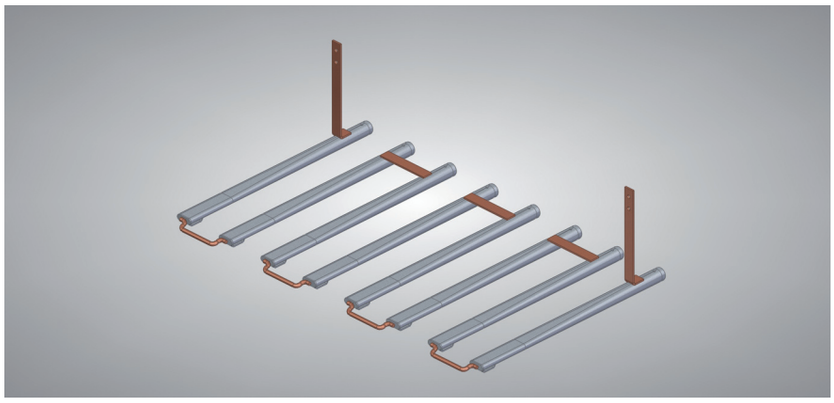
In der Ofenlinie dient der Speicherofen mit einem Nutzfassungsvermögen von 60 t und einem Gesamtfassungsvermögen von 80 t im Wesentlichen als Puffergefäß. Normalerweise beträgt das Nutzgewicht im Gießbetrieb ca. 35 t. Dies bietet im Fall eines plötzlichen Gießabbruchs volumenmäßig ausreichend Reserve, um den aus dem Schachtschmelzofen und über den Abschlackofen nachlaufenden Kupferfluss aufzunehmen. Zwei längsseitig angeflanschte 500-kW Rinneninduktoren ermöglichen zudem das Überhitzen des Flüssigmetalls (ca. 40 K), wie auch eine kontinuierliche Durchmischung der Schmelze.

Die Aufgabe des vor der Gießmaschine angeordneten Gießofens ist die definierte Metallzuführung in den Tundish der Bandgießmaschine in einem eng tolerierten Temperaturbereich. Der Ofen besteht



Quelle: Hazelett Strip-Casting Corp.

Bild 4: Hazelett-Doppelbandgießmaschine



Quelle: MKM intern

Bild 5: Patentiertes Multi-Tauchrohrsystem

aus einer Druckkammer, die über einen Einlaufsiphon befüllt wird und aus der das Flüssigkupfer über die Druckbeaufschlagung in den Vorherd gedrückt wird. Die Schmelzedosierung in den Tundish erfolgt über eine Stopfenregelung im Vorherd des Vergießofens. Bei einem Gesamtmetallinhalt von 20 t beträgt der Nutzinhalt 12 t. Zur Beheizung dient ein unterhalb des Ofengefäßes angeflanschter 300-kW Rinneninduktor.

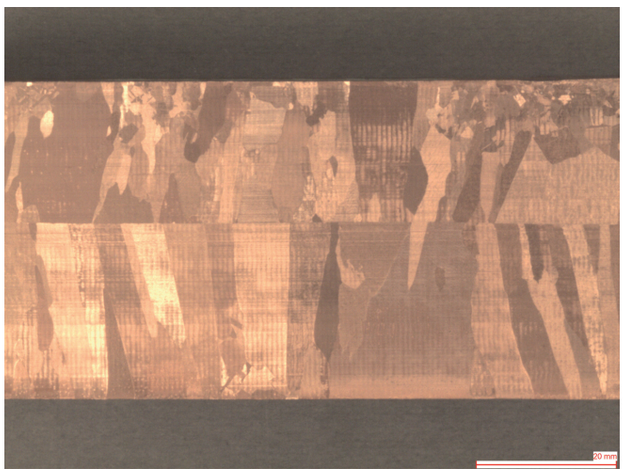
War ursprünglich ausschließlich der Einsatz von Kathodenkupfer zum Schmelzen vorgesehen, sind im Rahmen der Produktentwicklung in der Vorbandproduktion entsprechende Ergänzungen in der Ofenlinie vorgenommen worden, die es erlauben, eigene hochreine Rücklauf- und Zukaufschrotte für die Fertigung definierter Kupferqualitäten zum Einsatz zu bringen. So können über einen als Bypass nachträglich integrierten Tiegelofen diskontinuierlich DHP-Cu Schrotte eingeschmolzen und in die Ofenlinie überführt werden.

Entscheidend für die Metallqualität ist die Reduktion des Sauerstoffgehaltes im Flüssigkupfer über die gesamte Ofenlinie und deren stichprobenweise Messung. Als Meilenstein für die schnelle, gezielte und reproduzierbare Einstellung unterschiedlicher Sauerstoffgehalte im Kupfer (Bild 3) gilt heute, neben der Dosierung von Phosphor als Desoxidationsmittel, der Einbau von Spülsteinen in die Ofenlinie zur Herstellung unterschiedlicher Kupferqualitäten. Mit der Integration eines Desoxidationsgefäßes wurde hierbei eine Verdopplung der bis dato erreichbaren Desoxidationsleistung erreicht. Auf dieser Basis kann die für einen Kontiprozess erforderliche Prozessstabilität schnell und effizient eingestellt werden.

Gießen

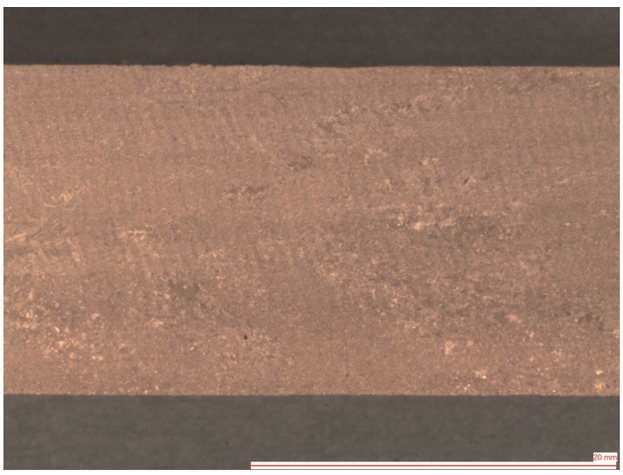
Das Gießsystem (Bild 4) besteht aus einem Tundish als Gießverteiler für den Metalltransfer vom Vorherd des Vergießofens zum eigentlichen Herzstück der Conti-M® Linie - der Doppelbandgießmaschine, sowie einer nachgeschalteten wassergekühlten Treiberrolle zur Geschwindigkeitssynchronisation mit dem Warmwalzwerk.

Die Heißinbetriebnahme der Ofen- und Gießanlage erfolgte Ende 1999/ Anfang 2000 mit dem Original Eingießsystem von Hazelett auf Basis eines offenen Gießsystems mit keramischer Gießschnauze. Bei dieser Art Gießsystem ist der mit ff-Beton isolierte Tundishkörper fest mit einer plattenartigen Keramikschnauze verbunden, über die das Metall gleichmäßig auf etwas mehr als 1m Breite verteilt wird. Prozessbedingt führte dieses offene Gießsystem zu einem Anstieg des Sauerstoffgehaltes um ca. 50 ppm an der Übergabestelle zwischen Vergießofen und Bandgießmaschine, so dass sich die Produktion anfangs nur auf ETP-Cu Bänder mit einem Sauerstoffgehalt zwischen 150 – 200 ppm beschränkte. Im Rahmen der Produktentwicklung zur Herstellung von OF-Cu und OFE-Cu Qualitäten kommt



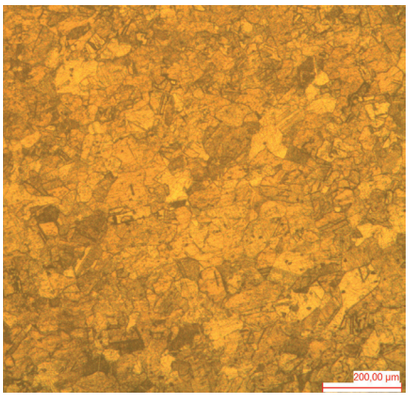
Quelle: MKM intern

Bild 6: Typisches Gussgefüge beim 45 mm Gießband (Makroätzung)



Quelle: MKM intern

Bild 7: Rekristallisiertes Gefüge nach dem Warmwalzen (Makroätzung)



Quelle: MKM intern

Bild 8: Vollständig rekristallisiertes Gefüge nach dem Warmwalzen (Mikroätzung)

Quelle: MKM intern

Bild 9: Warmwalzwerk

Quelle: MKM intern

Bild 10: Horizontalfräsanlage

derzeit ein patentiertes Multi-Tauchrohrsystem (Bild 5) zum Einsatz, bei dem die Schmelze nicht über ein offenes Gerinne in die Gießmaschine strömt, sondern bei dem der Metallspiegel in der Kokille über geschlossene, in die Schmelze vollständig eintauchende Rohre konstant gehalten wird. Mit den genannten Veränderungen des Ofensystems und der vollständigen Kapselung des neu konzeptionierten Eingießsystems können heute Sauerstoffgehalte im Kupfer mit kleiner 5 ppm sicher eingestellt werden.

Nach dem Gießen stellt sich ein homogenes Gussgefüge mit typischer dendritischer Erstarrungsfront ein. Die Stengelkörner kristallisieren von der gekühlten Bandober- und -unterfläche ausgehend senkrecht in Richtung Bandmittelebene und stoßen dort mit den Kristallisationsfronten aneinander (Bild 6). Das Gussgefüge nimmt in Richtung Walzspaltaustritt ab und wird durch rekristallisiertes feinkristallines Korn ersetzt, so dass von dem ursprünglichen Gussgefüge mit groben Stengelkorn nichts mehr übrig bleibt (Bild 7 und 8).

Das Warmwalzsystem umfasst einen hinter der Gießmaschine angeordneten JUNKER Anwärmofen, der die Bandtemperatur bis zum Eintritt in das MINO Quarto-Walzwerk (Bild 9) mit Twin-Drive Antrieb konstant hält. Anschließend wird der Strang nach einem Umformgrad von bis 70 % in einer Kühlstrecke auf eine Bandtemperatur < 50 °C gekühlt.

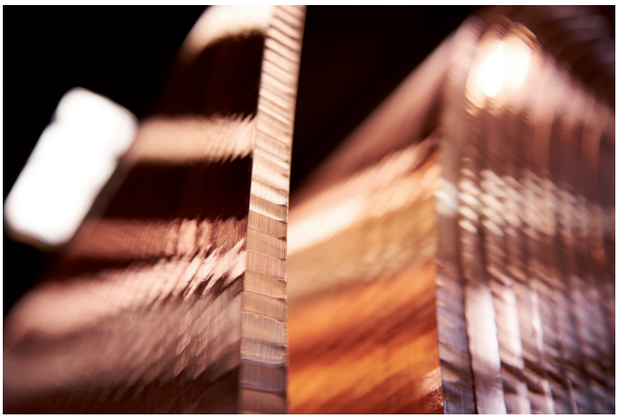
Oberflächenbearbeitung und Aufhaspeln

In der hinter der Kühlstrecke angeordneten Horizontalfräsanlage (Bild 10) nebst vorgeschalteter Richteinheit werden alle vier Bandseiten gefräst, um die mit warmgewalzter, oxidbehafteter Oberflächenstruktur des Bandes für das Kaltwalzen vorzubereiten (Bild 11). Die Aufhaspelgruppe besteht insgesamt aus zwei Aufwickelhaspelanlagen, welche die durch die integrierte fliegende Schere getrennten Coils nach Erreichen des Endgewichtes wechselseitig aufnehmen. Anschließend werden die Ringe für die Weiterbearbeitung eingelagert (Bild 12). Durch die Integration einer separaten Abhaspeleinheit vor der Horizontalfräsanlage können nicht nur Kupfercoils, sondern z. B. auch Kupferlegierungsringe auftragsbezogen gefräst werden.

Qualitätsstand

Von zentraler Bedeutung für die Herstellung aller wesentlichen Kupfersorten war die prozesstechnische Kontrolle und gezielte Einstellbarkeit des Sauerstoffgehaltes im Kupfer. Mit der Erstinbetriebnahme Ende 1999/ 2000 wurden vorerst ETP-Cu Bänder mit Sauerstoffgehalten von ca. 150 – 200 ppm hergestellt. Durch die zuvor beschriebenen technischen Maßnahmen war es möglich, schrittweise den Sauerstoffgehalt im Band zu senken und so Bereiche stabil bis unter 10 ppm zu erreichen.

Speziell durch Verfeinerung der Herstellungstechnologie basierend auf einem Einsatz von definierten Grade A Kathoden und stark eingeschränkter Anlagenparameter ist es heute möglich, in einem 35 m langen Flüssigkupferbereich innerhalb von zwei Stunden gefräste OFE-Cu Bänder höchster Reinheit (Tab. 1) und exzellenter Gefügeausbildung (Bild 13) herzustellen.

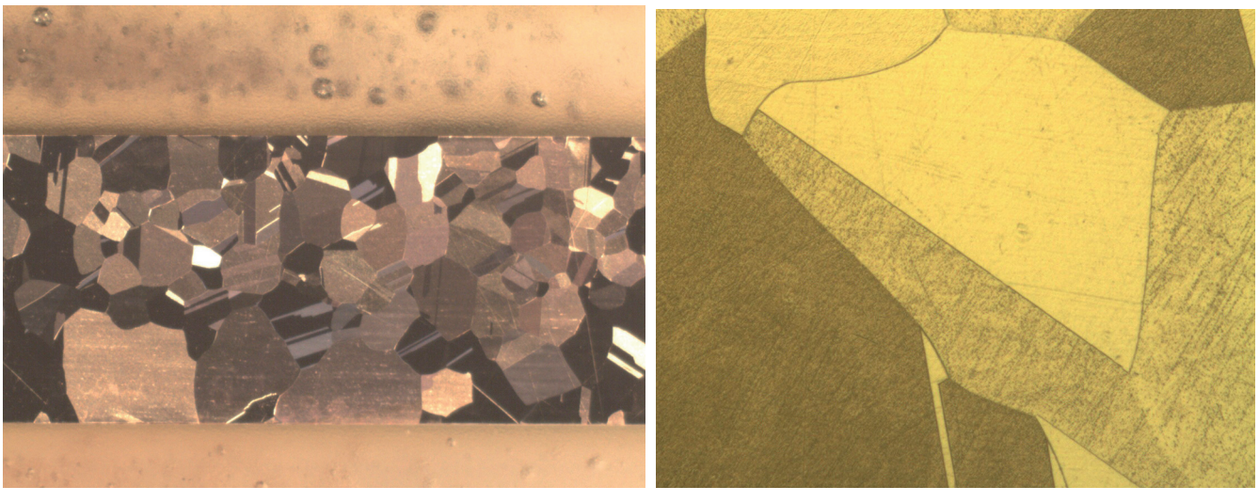


Quelle: MKM intern

Bild 11: Gefräste Bandoberfläche

Quelle: MKM intern

Bild 12: Coillager



Quelle: MKM intern

Bild 13: Übersicht Gefügeausbildung nach dem Wasserstoffversprödungstest nach DIN EN ISO 2626 über die gesamte Materialdicke (li) und Zoom in die Korngrenzen (re)

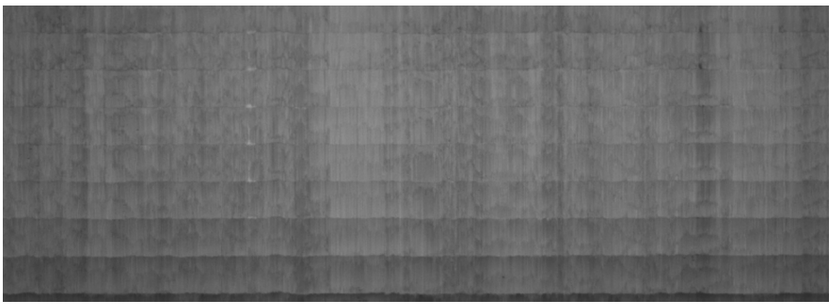
Alle erforderlichen Qualitätsmerkmale, wie z. B. Sauerstoffgehalt, chemische Analyse, Dichte und Leitwert u. a. werden Inline bzw. sofort nach Fertigstellung des Coils in einem Prüfcontainer vor Ort ermittelt. Von besonderer Bedeutung auf die Weiterverarbeitbarkeit im anschließenden Kaltwalzprozess ist die Oberflächenausbildung des gefrästen Bandes. Die qualitative Bewertung der Oberfläche erfolgte bis Ende 2008 ausschließlich visuell. Mit der erfolgreichen Inbetriebnahme des Anfang 2009 hinter der Horizontalfräsanlage integrierten vollautomatischen lichtoptischen Oberflächenprüfsystems von ISRA Parsytec wird heute online eine lückenlose, vollumfassende Qualitätsüberwachung der Gießbandoberfläche (Bild 14) als Beleg der Prozesssicherheit im kontinuierlichen Gießprozess erreicht. Mit Hilfe von zuvor definierten Klassifikatoren werden potentielle Fehler auf der Oberfläche über die hochauflösenden Kameras detektiert, mit einer eigens konfigurierten Datenbank verglichen und entsprechend zugeordnet. Anhand der gesammelten Erfahrungen bei MKM werden auf Basis dieser qualitativen Bewertung sofort prozesstechnische Anpassungen im kontinuierlichen Gießprozess vorgenommen. Somit wird sichergestellt, dass das bei Weitergabe gefräste Vorband in die nachfolgende Prozesskette fehlerfrei ist.

Sn [ppm]	Pb [ppm]	Zn [ppm]	P [ppm]	Fe [ppm]	Ni [ppm]	Si [ppm]	Cr [ppm]	Te [ppm]
< 1,0	< 0,5	< 1,0	2,0	3,1	1,2	< 1,0	< 0,5	< 1,5
As [ppm]	Se [ppm]	Sb [ppm]	Cd [ppm]	Bi [ppm]	Ag [ppm]	Co [ppm]	O [ppm]	Cu [%]
< 0,5	< 0,8	< 1,5	< 0,5	< 0,5	9,9	< 0,5	3,9	99,997
Elektrische Leitfähigkeit [MS/m]				Dichte [g/ cm³]				
59,0				8,93				

Tabelle 1: Typische Analyse von OFE-Cu nach DIN EN 13599

Ausblick

Der aktuelle Entwicklungsstand der Conti-M® Technologie erlaubt es gegenwärtig in einer einzigen Kampagne bis zu 4.000 t Vorband unterschiedlicher Kupferqualitäten auf einem stabilen Qualitätsniveau mit hoher Wiederholbarkeit herzustellen. Aufgrund des stabilen Prozessbetriebs in der kontinuierlichen Gießbandproduktion hat sich die Conti-M® Technologie am Markt fest etabliert und ist u. a. heute führend in der Trafobandindustrie. Entsprechend der neuen wachstumsorientierten Unternehmensstrategie sind erhebliche Mengensteigerungen über die Conti-M® Linie und weiterführend in der Bandfertigung vorgesehen. Dementsprechend wird in einem internen Entwicklungsteam ständig an innovativen Lösungen zur Weiterentwicklung der Conti-M® Technologie gearbeitet, um so weitere Prozessverbesserungen und Werkstoffentwicklungen zu generieren. Hervorzuheben dabei sind aktuelle Aktivitäten zur Verbesserung der Oberflächenqualität des Warmbandes bzw. zum Einsatz der Einsatz alternativer Werkstoffe zur weiteren Verbesserung der Anlagenverfügbarkeit.



Quelle: MKM intern

Bild 14: Oberflächeninspektion von gefrästem Conti-M® Band

Literatur

[1] H. Bebber, G. Phillipps: Das MKM-Contistrip-Ofenkonzept, Sonderdruck aus „Giesserei“ 88 (2001), Seite 38-41, Giesserei-Verlag

[2] K.-D. Palm, A. Dusdorf: Modernes Gießwalzen von Kupfer in der MKM Mansfelder Kupfer und Messing GmbH, Vortrag zur MEFORM 2003

(1) Klaus-Dieter Palm, Hendrik Busch, MKM Mansfelder Kuper und Messing GmbH