

Reparatur von Kurzschlussläufern

Der asynchrone Induktionsmotor wird häufig als Arbeitstier der modernen Industrie bezeichnet. Hintergrund für diese Äußerung ist die Einfachheit seines Aufbaus sowie insbesondere der konstruktiv simple Aufbau des Läufers des Asynchronmotors. Nichtsdestotrotz können auch diese Rotoren, insbesondere die Wicklung dieser Rotoren, kaputt gehen und somit zum Ausfall der Maschine führen.

Der folgende Beitrag beschreibt kurz den grundsätzlichen Aufbau des Käfigläufers und einige Spezialitäten der konstruktiven Auslegung der Wicklung sowie diverse Ausfallursachen. Weiterhin stellt er die Instandsetzungsmöglichkeiten und die dabei zu berücksichtigenden Technologien dar.

Aufbau des Kurzschlussläufers

Üblicherweise ist auf die Welle des Kurzschlussläufers ein aus Elektroblechen bestehendes Blechpaket aufgeschraubt, in das die Nuten zur Aufnahme der Kurzschlusswicklung eingestanz sind. Die Bleche bestehen beim Kurzschlussläufer aus Elektroblech, üblicherweise der Stärke 0,5 mm. Dieses Blechpaket ist je nach thermischer Auslegung der Maschine mit Luftschnitzungen versehen, um die Kühlluft vom inneren des Läufersterns über das Blechpaket an die Statorwicklung und von dort an die Umgebung weiter zu geben. In die Nuten des Blechpaketes sind die Kurzschlussstäbe der Kurzschlusswicklung eingebracht. Je nach Anwendungsfall und Preis findet man Kupferwicklungen, Messingwicklungen und Aluminiumdruckgusswicklungen vor.

Funktion des Asynchronmotors

Obwohl der Asynchronkurzschlussläufermotor in seinem Aufbau eigentlich die einfachste elektrische rotierende Maschine ist, ist die dahinter stehende Theorie doch sehr komplex.



Bild 1: Läufer zum Lötten mittels Mittelfrequenz vorbereitet

Legt man an eine stillstehende Asynchronmaschine eine Spannung an die Statorwicklung, so induziert das durch die Statorwicklung entstehende rotierende Magnetfeld in der Maschine in den stillstehenden Rotor bzw. in die Wicklung des stillstehenden Rotors einen elektrischen Strom. Diese stromdurchflossenen Leiter erfahren im umlaufenden Magnetfeld eine Kraft, welche letztendlich zur Drehbewegung des Rotors führt.

Das hat zur Folge, dass ein Rotor, der mit synchroner Drehzahl dreht (also mit gleicher Drehzahl wie das umlaufende magnetische Feld dreht), keinerlei Kraft mehr auf seine Wicklung erfährt. Diese synchrone Drehzahl wird allerdings nur theoretisch erreicht, da auch bei der leer laufenden Maschine Lüfter- und Wälzlagerreibung ein Abbremsen des Rotors herbeiführen. Wird ein Asynchronmotor nun belastet, wird der Rotor dadurch abgebremst und durch den sich dadurch einstellenden Drehzahlunterschied zwischen umlaufendem Magnetfeld sowie Rotordrehzahl, den man auch als »Schlupf« bezeichnet, ein Strom in der Wicklung des Rotors induziert, welcher zur Beschleunigung des Rotors führt. Das Kräftegleichgewicht zwischen Belastung des Motors bzw. des Rotors durch das Drehmoment der Arbeitsmaschine und des über den Ständer erzeugten Drehmoments führt bei der Asynchronmaschine zum Einpendeln in eine feste Drehzahl.

Schadensursache für Stabunterbrechung

Wie man aus der Betriebskennlinie des Asynchronmotors entnehmen kann, verändern sich die Ströme in einem schmalen Drehzahlbereich sehr stark. Mit den Strömen ändern sich auch die Momente, die auf den Rotor einwirken in einem sehr schmalen Drehzahlband relativ stark. Diese Kräfte, die auf die Rotorwicklung wirken, haben zur Folge, dass diese Wicklung mechanisch belastet wird, da letztlich die Kraft nicht am Blechpaket sondern an der Wicklung des Rotors angreift. Wie aus dieser grundsätzlichen Beschreibung erkenntlich ist, führt also auch eine schwankende oder eine variierte Belastung des Motors zu lastabhängigen Kräften auf die Wicklung des Kurzschlussläufers.

Zusätzlich zu den axial und radial auf die Kurzschlusswicklung wirkenden Kräften werden die Stäbe der Kurzschlusswicklungen in Folge des durch die Wicklung fließenden Stroms in ihrer Länge ausgedehnt, was wiederum zu einer Bewegung des Leiters in der Nut führen muss. Diese radialen und axialen Kräfte, die auf die Kurzschlusswicklung wirken, die thermische Beanspruchung des Leiters der Kurzschlusswicklung sowie die mechanischen Belastungen der Lötverbindung zwischen Kurzschlusswicklungsstäben und Kurzschlussring unterliegen also einer ständigen Beanspruchung, die sich auf Dauer in einer Materialermüdung bzw. Materialerosion widerspiegeln kann.

Dieser Effekt zeigt sich häufig in Leitern, die lose in ihren Nuten liegen, was auf Vibrationsbewegungen bzw. ausgearbeitetem Material in Folge von radialen Kräften zurückzuführen ist. Diese Fehler können häufig zu Brüchen der Leiter innerhalb der Nut bzw. zu Brüchen an den Lötstellen zwischen Kurzschlussring und Kurzschlussstab führen.

Trifft man im Schadensfall der Kurzschlusswicklung auf einen konstruktiv in einer Kupferwicklung hergestellten Kurzschlussläufer, besteht die Möglichkeit, die Kurzschlusswicklung des Läufers in den meisten Fällen instand zu setzen, wohingegen ein Aluminiumdruckgussläufer mit defekter Kurzschlusswicklung recht schwer oder gar nicht mehr zu reparieren ist.

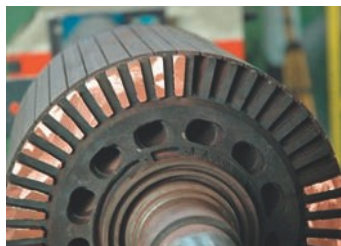


Bild 2: Demontage der Kurzschlussstäbe

Instandsetzung von Kurzschlusswicklungen

Um nun eine derartige Kurzschlusswicklung zu reparieren, sind einige Vorrichtungen und Anwendungstechnologien notwendig, um anschließend wieder eine betriebssichere Maschine ausliefern zu können.

1. Arbeitsschritt: Abstechen der Kurzschlussringe

Um die Kurzschlusswicklung aus den Nuten herauszuziehen, müssen als erstes die Kurzschlussringe auf der Drehbank abgestochen werden. Üblicherweise kann man die Kurzschlussringe wieder benutzen, sodass diese nach dem Abstechen grundsätzlich aufgearbeitet werden können. In der Aufarbeitung wird die alte Lötverbindung zwischen Stab und Ring herausgedreht, um für den späteren Lötprozess sauberes Grundmaterial zur Verfügung zu haben.

Es müssen beide Kurzschlussringe abgestochen werden, um anschließend die in dem Blechpaket

verbliebenen Stäbe hydraulisch aus dem Blechpaket herauszuziehen.

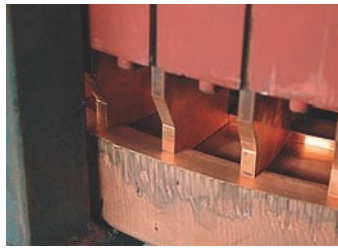


Bild 3: Kurzschlussring zum Löten vorbereitet

2. Arbeitsschritt: Ausziehen der alten Kurzschlussstäbe und Aufarbeiten der Nuten

Sehr häufig laufen die asynchronen Maschinen über mehrere Jahre bis Jahrzehnte problemlos, so dass zwischen Blechpaket des Läufers und der Kurzschlusswicklung in einigen Fällen eine korrosive Verbindung besteht. Das bedeutet, dass das Herausziehen der Stäbe aus dem Blechpaket nur mit sehr großem Aufwand geschehen kann. Falls der Läuferstab so fest im Blechpaket sitzt, dass ein Herausziehen nicht möglich ist, da entweder der Stab beim Ziehen abreißt oder das Blechpaket durch das Herausziehen zu stark beschädigt würde, wird der Stab von außen eingeschlizt, um »ordentlich« aus dem Blechpaket herausgezogen werden zu können.

Sind alle Stäbe aus dem Blechpaket herausgezogen, müssen die Nuten mit einer Feile entsprechend gradfrei bearbeitet werden, um die neu zu fertigenden Stäbe aufzunehmen.

3. Arbeitsschritt: Einbringen der neuen Stäbe

Nach der mechanischen Bearbeitung der Nuten muss ein sehr genaues Maß der Nut aufgenommen werden, um den neu zu fertigenden Stab in seinen äußeren Abmessungen optimal an das Blechpaket anzupassen. Je nach Bauform und Länge der Stäbe arbeitet man mit unterschiedlichen Toleranzen bei dem Einbau. Bei sehr großen und langen Stäben findet man sehr häufig Rutschbleche vor, die zwischen Blechpaket und Kupferleiter eingesetzt werden und den Einbau mit sehr geringen Toleranzen überhaupt erst ermöglichen.

4. Arbeitsschritt: Verlöten der Ringe mit den Stäben

Nachdem nun die neuen Kupferstäbe in das Blechpaket eingesetzt worden sind, werden diese auf der Drehbank alle auf gleiche Länge abgedreht, und falls nötig in eine Form gebracht, die ein Aufsetzen des Kurzschlussringes ermöglichen.

Bei der Lötverbindung zwischen Kurzschlussring und Kurzschlusswicklung gibt es verschiedenste Bauarten, wobei das vorliegende Beispiel auf eine Wannenlötung abhebt. Der Kurzschlussring wird zur Aufnahme der Stäbe in Form einer Wanne ausgedreht und beide Kurzschlussringe mittels Schraubzwingen an der Läuferwicklung befestigt. Nun wird der Läufer senkrecht gestellt und mittels Hartlötung die Verbindung zwischen Kurzschlussring und Läuferwicklung hergestellt. In dem senkrecht stehenden Kurzschlussring bildet sich bei dieser Bauform eine sogenannte ‚Wanne‘ aus, weshalb man auch von ‚Wannenlötung‘ spricht. Zum Aufheizen der zu verlötenden Bauteile wird eine Mittelfrequenzlötanlage verwendet, die auf Basis von Wirbelströmen punktuell sehr hohe Temperaturen in das Material einbringen kann. Im Gegensatz zur Flamme, die recht großflächig Wärme in das Material bringt, und somit auch teilweise das Blechpaket stark aufheizt, bietet dieses Mittelfrequenzlöten eine sehr sichere und materialschonende Art der Lötung. Das verwendete Lot ist sehr stark silberhaltig, um die elektrischen Übergangswiderstände an den Lötstellen so gering wie möglich zu halten. Nachdem die Lötverbindungen sauber hergestellt sind, müssen die Lötverbindungen komplett gereinigt werden.

5. Arbeitsschritt: Reinigen der Lötverbindungen

Dies geschieht entweder mit Drahtbürsten oder in großen Fällen mittels sandstrahlen. Erst nachdem die Lötverbindungen komplett gereinigt sind, ist man in der Lage, Einschlüsse bzw. kleine Haarrisse in der Lötverbindung zu entdecken, welche zu späteren Übergangswiderständen bzw. als Ausgang für eine Sollbruchstelle dienen können.

6. Arbeitsschritt: Sichern der Stäbe

Nachdem beide Kurzschlussringe an die Wicklung angelötet sind, müssen die Kurzschlussstäbe im Blechpaket noch gegen axiales Verrutschen gesichert werden. Obwohl beim Einbau der Stäbe in das Blechpaket mit sehr engen Toleranzen gearbeitet wird, werden üblicherweise Kurzschlussstäbe in der Nut verstemmt.

Dazu arbeitet man sich von der Mitte des Läufers nach Außen, um die unweigerlich entstehende Längenausdehnung der Kupferwicklung zu ermöglichen, da sich in einem komplett verstemmten Läufer ansonsten Spannungen aufbauen könnten, die für den späteren Betrieb nicht gewollt sind.

Die vorgenannten Reparatschritte können natürlich auch um die ggf. notwendige Erneuerung eines Rotorblechpaketes ergänzt werden, wobei vor der Erneuerung des Blechpaketes die alte Wicklung ausgebaut, das Blechpaket von der Welle heruntergepresst und durch neue Bleche ersetzt wird.

Eine solche Reparatur kann notwendig werden, wenn zum Beispiel ein Rotor in Folge eines Lagerschadens im Stator geschliffen hat und die Verluste im Rotorblechpaket aufgrund des eingeschliffenen Bleches zu hoch würden.

Wie Eingangs bereits angedeutet, existieren bei Kurzschlussläuferwicklungen sowohl Kupfer-, Messing- als auch Aluminiumwicklungen. Der spezifische Widerstand des Materials sowie die Form des Leiters beeinflussen maßgeblich das Betriebsverhalten, insbesondere das Anlaufverhalten der Asynchronmaschine. Deshalb ist es auch wichtig, bei der Erneuerung von Kurzschlussläuferwicklungen sowohl Form als auch Material der Läuferwicklungen identisch zu den konstruktiven Maßgaben der Maschine zu wählen. Es ist allerdings auch möglich, zwischen den Materialien zu variieren, wobei sehr genau Rücksicht darauf genommen werden muss, in welchem Verhältnis sich Form des Stabes als auch Material und damit der spezifische Widerstand des Stabes zueinander verändern, um das Betriebsverhalten und besonders das Anlaufverhalten des Motors nicht zu verändern.