

Hohlraumfreie Vergusskapselung

Der Schlüssel zur Vermeidung von Wassereintritt und Teilentladungen in MS-Kabelmuffen

Einleitung

In feuchten und überfluteten Umgebungen wird die Zuverlässigkeit von MS-Kabelmuffen nur selten durch die Kabelisolierung selbst bestimmt. Stattdessen konzentrieren sich Ausfälle auf die Kabelmuffen, wo Schnittstellen, Dichtungsbereiche und die Qualität der Installation die langfristige Leistungsfähigkeit bestimmen.

Ein Installationsfaktor sticht dabei immer wieder hervor: ob die Kabelmuffe lunkerfrei vergossen wurde.

Lunker und ungefüllte Hohlräume sind nicht nur kosmetische Mängel. Unter hydrostatischem Druck werden sie zu Ausgangspunkten für Wassereintritt und können elektrische Alterungsmechanismen wie Teilentladungen auslösen.

Dieses Dokument erläutert, warum die lunkerfreie Vergusskapselung eine zentrale Konstruktions- und Installationsanforderung für MS-Kabelmuffen in wassergesättigten Bereichen ist und warum sie unter Temperaturwechselbeanspruchung noch wichtiger wird.

Warum eine hohlraumfreie Vergussfüllung unter Hochwasserbedingungen entscheidend ist

Unter hydrostatischem Wasserdruck sucht sich Feuchtigkeit stets den Weg des geringsten Widerstands. In MS-Kabelmuffen verläuft dieser Weg in der Regel nicht durch das massive Material selbst, sondern entlang von Unregelmäßigkeiten: Mikrolücken an Grenzflächen, Lufteinschlüssen und miteinander verbundenen Poren.

Sind solche Unregelmäßigkeiten vorhanden, kann Wasser mit der Zeit immer tiefer in die Kabelmuffe eindringen und Schädigungsprozesse auslösen, die oft erst Monate später in Form eines verzögerten Ausfalls sichtbar werden.

Deshalb sollte eine hohlraumfreie Vergussfüllung nicht als optionales Merkmal, sondern als wesentliche Voraussetzung für die Zuverlässigkeit betrachtet werden.

Die Fehlerkette: von Hohlräumen zum Netzausfall

Ein Hohlraum ist selten ein isoliertes Problem. Unter feuchten Betriebsbedingungen kann er eine Kette von Ereignissen auslösen, die sich schrittweise verschärft.

Das Ausgangsdokument beschreibt, wie Wassereintritt in eine Kabelmuffe folgende Prozesse in Gang setzen kann:

- Verringerung des Isolationswiderstands
- Erhöhung der dielektrischen Verluste ($\tan \delta$)
- Teilentladungen und Water Treeing
- Beschleunigte thermoelektrische Alterung an Materialgrenzflächen

Hohlräume verstärken diese Mechanismen auf zwei Arten:

- Sie schaffen lokale Bereiche, in denen sich Feuchtigkeit ansammeln und dauerhaft halten kann.
- Sie führen zu einer Konzentration der elektrischen Feldstärke und erhöhen dadurch die Wahrscheinlichkeit des Einsetzens von Teilentladungen.

Mit anderen Worten: Eine lunkerfreie Vergusskapselung trägt sowohl dazu bei, das mechanische Eindringen von Wasser zu verhindern, als auch die elektrischen Bedingungen zu vermeiden, die zu fortschreitenden Schäden der Isolierung führen.

Woher Hohlräume entstehen (und warum sie häufig vorkommen)

Hohlräume und ungefüllte Zwischenräume entstehen meist durch Installations- und Verarbeitungsbedingungen.

Zwei Eigenschaften des Vergussharzes haben einen wesentlichen Einfluss darauf, ob ein Hohlraum vollständig gefüllt wird: die Viskosität und die Verarbeitungszeit (Topfzeit).

Ist die Viskosität zu hoch, kann das Harz komplexe Geometrien oder enge Grenzflächenbereiche möglicherweise nicht vollständig benetzen, sodass Mikrolücken zurückbleiben.

Ist die Verarbeitungszeit zu kurz, sind Monteure unter Umständen gezwungen, den Vergussprozess abzuschließen, bevor eine vollständige Benetzung und Nivellierung erreicht ist. Dadurch steigt das Risiko eingeschlossener Luft und einer unvollständigen Füllung.

Das Dokument hebt hervor, dass eine kontrollierte Viskosität und eine ausreichend lange Topfzeit die vollständige Benetzung und präzise Ausfüllung komplexer Muffengeometrien unterstützen und so dazu beitragen, Hohlräume und Spalte an Grenzflächen zu vermeiden.

Hohlraumfrei bedeutet auch blasenfreie Aushärtung

Selbst wenn ein Hohlraum zunächst vollständig gefüllt ist, kann das Aushärtungsverhalten später zu inneren Unregelmäßigkeiten führen.

Entstehen während der Aushärtung Blasen oder miteinander verbundene Poren, kann hydrostatischer Druck diese Strukturen als kapillare Pfade für die Wassermigration nutzen.

Der Ausgangstext betont, dass das Fehlen miteinander verbundener Porosität dazu beiträgt, eine langfristige, druckbedingte Wassermigration zu verhindern.

Für Anwendungen unter nassen Bedingungen ist daher eine dichte, durchgängige Polymerstruktur nach der Aushärtung entscheidend und nicht ein Material, das von außen zwar kompakt erscheint, im Inneren jedoch Wasserpfade enthält.

Warum hohlraumfreie Qualität bei starken Temperaturwechseln entscheidend ist

Temperaturwechsel führen zu einer wiederholten Ausdehnung und Kontraktion der Materialien in und um die Kabelmuffe.

Mit der Zeit können thermische Zyklen die mechanische Belastung an Grenzflächen erhöhen und Alterungsprozesse beschleunigen.

Sind Hohlräume vorhanden, können Temperaturschwankungen die Zuverlässigkeit zusätzlich beeinträchtigen, weil:

- sich mechanische Spannungen an Unregelmäßigkeiten konzentrieren
- Feuchtigkeit in Hohlräumen die lokale Leitfähigkeit bei Temperaturänderungen beeinflussen kann
- das Risiko von Teilentladungen steigt, wenn es an den Rändern von Hohlräumen zu elektrischen Feldüberhöhungen kommt

Das Quelldokument stellt einen Zusammenhang zwischen der Leistung unter nassen Bedingungen sowie dem Zusammenspiel von mechanischer Abdichtung und elektrischer Zuverlässigkeit her: Eine hohlraumfreie Vergussfüllung unterdrückt die Entstehung von Teilentladungen und unterstützt ein stabiles dielektrisches Verhalten über die gesamte Lebensdauer.

Praktische Qualitätsmerkmale

Eine hohlraumfreie Vergussfüllung ist kein einzelnes Prüfkriterium, sondern das Ergebnis einer konsequent beherrschten Prozessführung.

Auf Grundlage der im Quelldokument beschriebenen Mechanismen zeichnen sich hochwertige Ergebnisse typischerweise durch Folgendes aus:

- vollständige Füllung aller Hohlräume ohne eingeschlossene Luftblasen
- vollständige Benetzung von Substraten und Grenzflächenbereichen
- eine ausgehärtete Struktur ohne miteinander verbundene Porositätspfade
- eine durchgängige Abdichtung, die auch unter Alterung und Betriebsbeanspruchung stabil bleibt

Diese Eigenschaften reduzieren sowohl das unmittelbare Risiko von Wassereintritt als auch die Gefahr einer verzögerten elektrischen Degradation.

Fazit

Eine hohlraumfreie Vergussfüllung ist einer der entscheidenden Faktoren für die Zuverlässigkeit von MS-Kabelmuffen in nassen und überfluteten Umgebungen.

Hohlräume und unvollständig gefüllte Bereiche wirken als Ausgangspunkte für druckbedingten Wassereintritt und Teilentladungen. Dadurch wird die Schädigungskette beschleunigt, die letztlich zu verzögerten Ausfällen führt.

Eine Kabelmuffe, die vollständig gefüllt wird und zu einer dichten, durchgängigen Struktur aushärtet, ist grundsätzlich besser in der Lage, ihre mechanische Dichtwirkung und elektrische Stabilität über die gesamte Lebensdauer aufrechtzuerhalten.