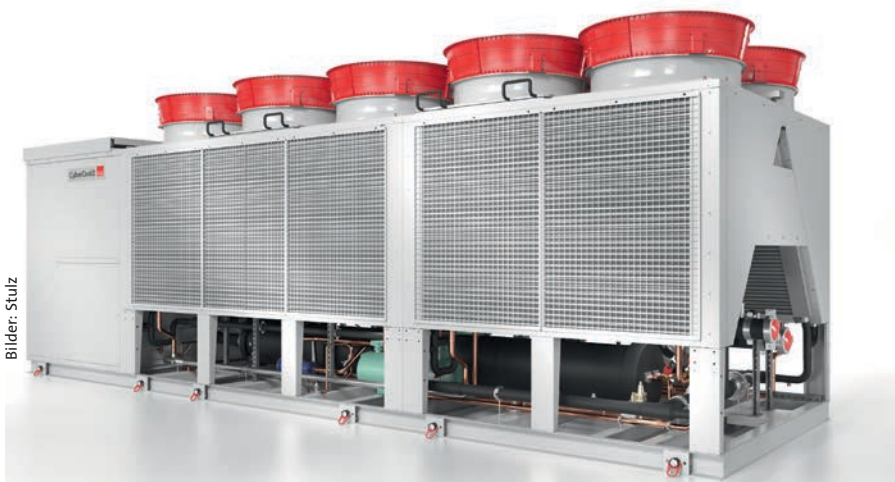


Korrosionsschutz für luftbeaufschlagte Wärmetauscher

Wirkungsgrad erhalten, Anlagenlebensdauer verlängern

Abhängig von den jeweiligen Umweltfaktoren sind alle kältetechnischen Bauteile mehr oder weniger starken korrosiven Prozessen ausgesetzt. Daher ist es oft nur eine Frage der Zeit, bis es zu messbaren Materialveränderungen kommt. Die richtige Wahl des Korrosionsschutzes sowie ein ergänzendes Service-Konzept unterstützt Betreiber dabei, die Lebensdauer ihrer Anlagen deutlich zu verlängern, und verhindert darüber hinaus ungeplante Ausfallzeiten.



Damit Kaltwassererzeuger wie der „CyberCool“ von Stulz, der ein breites Einsatzspektrum im Bereich IT-Kühlung, Medizintechnik oder Prozessindustrie bietet, seine Anlagenleistung in vollem Umfang über einen sehr langen Zeitraum erbringen kann, gehört ein sorgfältiger Korrosionsschutz in die Wartungsplanung.

Egal ob Autounterboden, Schiffsrumpf oder Stahlrohr: Korrosion ist allgegenwärtig und hat großen Einfluss auf die Zuverlässigkeit und qualitativen Eigenschaften von Metallen und Metalllegierungen. Dabei fällt das Korrosionsverhalten einzelner Metallgruppen sehr unterschiedlich aus. Luft-Wasser-Wärmetauscher, wie sie in Kaltwassersätzen und Lüftungsgeräten zum Einsatz kommen, bestehen meist aus Aluminium oder einer Kombination aus Aluminium und Kupfer – Metalle,

die aufgrund ihrer natürlichen Oxidschicht (Passivierung) als relativ korrosionsbeständig gelten. Warum sollten sich Anlagenbetreiber also überhaupt Gedanken über zusätzlichen Korrosionsschutz machen? Gerade im Rahmen der energetischen Optimierung von Präzisionsklima-Anlagen spielen Freikühl-einrichtungen und adiabatische Verdunstungskühlung eine immer wichtigere Rolle. Kältetechnische Bauteile wie Microchannel-„Wärmetauscher“ (Wärmeübertrager) werden so zu betriebskritischen Komponenten, die nicht nur die Energieeffizienz bestimmen, sondern auch maßgebliche Auswirkungen auf die Anlagenverfügbarkeit haben. Da abhängig von den jeweiligen Umweltfaktoren alle Bauteile mehr oder weniger starken korrosiven Prozessen ausgesetzt sind, ist es oft nur eine Frage der Zeit, bis es zu messbaren Materialveränderungen kommt. Die richtige Wahl des Korrosionsschutzes sowie ein ergänzendes Service-Konzept unterstützt Betrei-

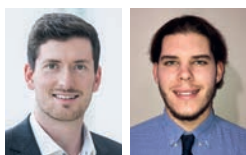
ber dabei, die Lebensdauer ihrer Anlagen deutlich zu verlängern, und verhindert darüber hinaus ungeplante Ausfallzeiten.

Im Allgemeinen beschreibt Korrosion die messbare Reaktion eines Metalls mit seiner Umgebung. Diese führt im Laufe der Zeit zu einer Beeinträchtigung der Funktion eines Bauteils oder Systems. Korrosive Prozesse können dabei durch chemische oder elektrochemische Substanzen in der Umgebungsluft oder durch den Kontakt zweier unterschiedlicher Metalle ausgelöst werden. Korrosion tritt prinzipiell überall auf, ungünstige Umweltbedingungen können den natürlichen Abtragsprozess jedoch drastisch beschleunigen. In Kälteanlagen sind beispielsweise Rohre und Lamellen von Wärmetauschern ständig der Außenluft ausgesetzt, was sie grundsätzlich anfälliger für korrosiven Abtrag macht. Korrosion kann dabei schwerwiegende Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit von Kältesystemen haben. Wärmetauscher können so stark beschädigt werden, dass sie sich verformen oder einzelne Lamellen brechen. Daraus resultierende Luftstromblockaden sowie verringerte Wärmetauscherflächen reduzieren dann den Wirkungsgrad des gesamten Kältesystems. Oftmals sind bereits erfolgte Schädigungen der Materialstruktur zudem irreversibel und erfordern umfangreiche Reparaturen bzw. sogar einen Austausch.

Emissionen können die Korrosionsrate erheblich beschleunigen

Zu einer der häufigsten Korrosionsursachen in der Kältetechnik gehören allgemeine Sauerstoff- und Säurekorrosion, die beide als Flächenkorrosion bezeichnet werden. Allgemeine Sauerstoffkorrosion wird dadurch verursacht, dass

Autoren



li.: Tobias Wolf, Product Manager, STULZ
re.: Caleb Winder, Student of engineering physics at Queen's University Canada

ein Metall mit Sauerstoff reagiert und Oxide ausbildet. Bei Kupfer und insbesondere bei Aluminium schützt die natürliche Oxidschicht das Innere des Metalls zu einem gewissen Maße, sodass hier eine natürliche Oxidierung sogar als vorteilhaft angesehen wird. Die Formen der Säurekorrosion sind jedoch weitaus aggressiver. An Standorten mit hoher industrieller Belastung können Emissionen die Korrosionsrate erheblich beschleunigen. Verbindungen wie Stick- und Schwefeloxide sowie Ammoniak, Chloride und Kohlenmonoxid reagieren mit Kupfer und Aluminium und bilden so mikroskopische Vertiefungen im Material. Dieser Prozess wird als „Pitting“ bezeichnet und kann schon innerhalb weniger Monate schwerste Korrosionsschäden verursachen. Die größten Risikofaktoren für einen beschleunigten korrosiven Abtrag finden sich dabei an Standorten mit Schwerindustrie, hoher Verkehrsdichte oder aber in der Nähe von landwirtschaftlich genutzten Flächen. Flächenkorrosion kann bei allen Wärmetauscherarten zu schweren Schäden führen, wodurch eine reduzierte Systemeffizienz und im Extremfall sogar komplette Ausfälle drohen.

Partielle Druckverluste oder Kältemittelleckagen

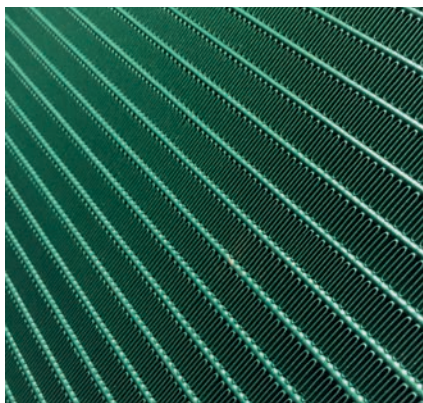
Sobald mehr als ein Metall in einem kältetechnischen Bauteil verwendet wird, kann in einem System zudem immer galvanische Korrosion auftreten. In Kombination mit einem Elektrolyten wie Salzwasser beginnen Ionen eines „unedleren“ Metalls, in die Richtung eines „edleren“ Metalls zu fließen. Dies führt irgendwann zur Beschädigung des Metalls, das seine Ionen abgibt. Davon besonders betroffen sind Kupfer-/Aluminium-Kombinationen sowie Metallkombinationen in Umgebungen mit einer hohen Salzwasserbelastung. Speziell bei Aluminium-Microchannel-Wärmetauschern, verbunden mit Kupferrohren, kann die galvanische Korrosion erheblichen Schaden anrichten. Bruch und Verstopfung der feinen Kanäle führen dann zu partiellen Druckverlusten oder sogar zu Kältemittelleckagen. Weitere Faktoren wie die Verwendung von minderwertigen Metallen erhöhen ebenfalls das Korrosionsrisiko. Brüche und Löcher an der Oberfläche können dann Wasser einfangen und so die Zersetzung beschleunigen. Auch warmes, feuchtes Klima



Bei Aluminium schützt die natürliche Oxidschicht das Innere des Metalls lediglich zu einem gewissen Maße.

und hohe Temperaturschwankungen begünstigen die Korrosion.

Dank moderner Verfahrenstechnik existieren heute umfangreiche Möglichkeiten, Wärmetauscher effektiv vor Korrosion zu schützen. Jede Methode hat dabei individuelle Vor- und Nachteile. Dickere Aluminium-Lamellen schützen beispielsweise vor frühzeitigem Lamellenbruch und sind sogar relativ kostengünstig umzusetzen. Das zusätzliche Material verzögert die strukturellen Auswirkungen korrosiver Prozesse und verlängert so den Zeitraum, bis es zu einem Bruch kommt. Im Anlagenbetrieb reduziert die vergrößerte Lamellenbreite jedoch den Wirkungsgrad des Wärmetauschers. Eine bessere Möglichkeit bietet die Verwendung von Cu/Cu-Coil-Fins. Sie ermöglichen es, die Auswirkungen von galvanischer Korrosion vollständig zu eliminieren, da Rohre und Lamellen im Wärmetauscher



Mittels Drucksprühsystemen wird direkt auf die Oberfläche der Wärmetauscherbauteile ein nichtreaktives Harz wie Epoxid aufgebracht, um die Metallkomponenten vor sauren Lösungen in der Atmosphäre zu schützen.

vollständig in Kupfer ausgeführt sind. Darüber hinaus behält der Wärmetauscher auch seine Wärmeleitungseigenschaften bei. Nachteile ergeben sich vor allem durch die höheren Materialkosten sowie beim mangelnden Schutz vor Sauerstoff-Korrosion.

Neben strukturellen Maßnahmen können auch Beschichtungstechniken zum Korrosionsschutz beitragen. Moderne Deckschichten werden dabei mittels Drucksprühsystemen direkt auf die Oberfläche der Wärmetauscherbauteile aufgebracht. Häufig wird hier ein nichtreaktives Harz wie Epoxid verwendet, um die Metallkomponenten vor sauren Lösungen in der Atmosphäre zu schützen. Die Sprühbeschichtung bietet Schutz vor allen Korrosionsarten und ist im Vergleich zu anderen Beschichtungsarten relativ kostengünstig. Die energetisch ungünstige, relativ große Schichtdicke reduziert jedoch die Effizienz der Kälteanlage, da sie sich negativ auf die Wärmeleitfähigkeit auswirkt. Zusätzliche Druckverluste erhöhen außerdem die Leistungsaufnahme der Ventilatoren. Spezielle Epoxidharze wie z.B. Blygold verwenden deshalb aluminiumpigmentiertes Polyurethan. Bei entsprechender Anwendung bietet das Material selbst einen hervorragenden Schutz. Es lässt sich zudem sehr gleichmäßig aufbringen und sorgt so für eine hohe Uniformität der einzelnen Schichten. Ein bekanntes Problem aller Sprühbeschichtungen sind jedoch mögliche Lücken in der Deckschicht. Diese sind aufgrund der Sprühtechnik und insbesondere bei Wärmetauschern mit großer Dicke nie ganz auszuschließen und begünstigen die Entstehung von punktuellen Korrosionsstellen. Sprühbeschichtungen sind deshalb für herkömmliche Aufstellbedingungen empfehlenswert. Sie eignen sich aufgrund der beschriebenen Verfahrensschwächen aber weniger für Standorte mit sehr hoher Umgebungsbelastung.

Kataphorese bietet die dünnste Schutzschicht

Anders als die Sprühbeschichtung punktet die kathodische Tauchlackierung mit einer hohen Schichten-Uniformität. Bei diesem Verfahren wird der Wärmetauscher elektrisch aufgeladen und dann komplett in ein Chemikalienbad eingetaucht. Die Beschichtung haftet so gleichmäßig auf allen Oberflächen. Bei entsprechend sorgfältiger Montage sind deshalb keinerlei Schutz-

lücken zu erwarten. Neben einem hohen Uniformitätsgrad, also einer sehr gleichmäßigen Schichtdicke, erzielt die Kataphorese darüber hinaus die dünnste Schutzschicht aller Beschichtungsverfahren und hat nur geringe Auswirkungen auf die Wärmeleitfähigkeit. Das spezielle „ElectroFin“-Verfahren verwendet zusätzlich kationisches Epoxidpolymer, das per kathodischer Tauchlackierung aufgetragen wird und einen hervorragenden Schutz gegen alle Arten von Korrosion erreicht. Nachteilig ist hier allerdings der deutlich höhere Preis für den technisch aufwändigen Beschichtungsprozess.

Aus dem Vergleich der verschiedenen Korrosionsschutzverfahren in Tabelle 1 lassen sich entscheidende Schlussfolgerungen für die Praxis ableiten. Eine Sprühbeschichtung mit aluminiumpigmentiertem Polyurethan (Blygold) bietet aufgrund der sehr guten Ergebnisse aus dem Salzsprühtest den effektivsten Schutz. Das Risiko von punktuellen Schutzlücken bleibt hier jedoch bestehen. Obwohl sie einen niedrigeren Salzsprühwert aufweist, überzeugt deshalb die kathodische Tauchlackierung (E-Coating) – vor allem durch die zuverlässigere Beschichtungstechnik. Eine Beschichtung mit Epoxidharz liegt zwar sowohl bei Leis-



Die kathodische Tauchlackierung (E-Coating) weist zwar einen niedrigeren Salzsprühwert auf, punktet aber durch die zuverlässigere Beschichtungstechnik.

tungsminderung und Korrosionsschutzwirkung hinter anderen Verfahren, dies aber bei deutlich niedrigeren Verfahrenskosten.

Strukturelle Maßnahmen wie Cu-Lamellen/Cu-Rohren und verbreiterte Aluminium-Lamellen sind fertigungstechnisch relativ einfach umzusetzen. Verbreiterte Aluminiumlamellen sind zwar die kostengünstigste Lösung, aber auch die unsicherste. Aluminium-Lamellen mit höherer Lamellendicke soll-

ten deshalb vorzugsweise in Kombination mit anderen Schutztechniken eingesetzt werden. Cu/Cu-Coil-Fins sind relativ teuer und bieten im Vergleich zu Aluminium-Lamellen nur einen begrenzten Vorteil. Da sie hauptsächlich vor galvanischer Korrosion schützen, kommen sie vor allem für Anlagen in unmittelbarer Meeresnähe in Frage.

Korrosionsschutz in die Wartungsplanung integrieren

Im IT- und Telekommunikationsbereich ist eine gut funktionierende Klimatisierung einer der entscheidenden Faktoren für hohe Verfügbarkeit und eine gute Energiebilanz. Beim Erhalt der Anlagenleistung spielt dabei auch das passende Service-Konzept eine tragende Rolle. Neben obligatorischen Dichtigkeitsprüfungen sollte in einer umfassenden Wartungsstrategie deshalb auch der Korrosionsschutz Berücksichtigung finden. Denn bei regelmäßiger Überprüfung bleibt nicht nur der Wirkungsgrad der Luft-Wasserwärmetauscher erhalten, auch die gesamte Anlagenlebensdauer lässt sich so erheblich verlängern.

Um den Korrosionsschutz dauerhaft zu verbessern, empfiehlt es sich, in regelmäßigen Abständen groben Schmutz wie Blätter, Pollen und Staub mit einem Industriestaubsauger von den Wärmetauscherflächen zu entfernen. Die Beschichtung muss anschließend gründlich auf Verunreinigungen und Schäden überprüft werden. Feiner Schmutz und Verklebungen lassen sich am besten mit einem Hochdruckreiniger oder einem Wasserschlauch entfernen. Bei der Verwendung von zusätzlichen Reinigungsmitteln ist zudem darauf zu achten, dass Reinigungsmittel und Beschichtung zueinander kompatibel sind. Genaue Hinweise darauf liefern die jeweiligen Hersteller. Häufig reicht aber auch einfaches Warm- oder Heißwasser ohne chemischen Zusatz. Grundsätzlich sollte immer entgegen der Luftrichtung gereinigt werden. Viele Beschichtungsmaterialien und -techniken erfordern nach einigen Jahren zudem eine Nachbeschichtung. Diese erfolgt häufig mithilfe der Sprühtechnik und kann direkt am Aufstellungsort durchgeführt werden. Die empfohlenen Intervalle hierfür sind ebenfalls den Anweisungen des jeweiligen Herstellers zu entnehmen. ■

1 Übersicht verschiedener Korrosionsschutz-Verfahren					
Verfahren	Uniformität	Schichtdicke	Salzsprüh-test	Verlust der Wärmeleitfähigkeit	Zusatzkosten
Zusätzliche Lamellendicke	-	-	-	~5%	Niedrig
Cu/Cu-Coil-Fins	-	-	-	~0%	Mittel
Sprühbeschichtung (Epoxid)	Ok	50 - 70 µm	1500+ Stunden	~3-5%	Mittel
Sprühbeschichtung (Blygold)	Gut	25 - 30 µm	11 000+ Stunden	0-3%	Sehr hoch
kathodische Tauchlackierung (ElectroFin)	Sehr gut	15-25 µm	6 000+ Stunden	0-1%	Hoch

2 Standortbedingungen und Schutzverfahren		
Standortbedingungen	Korrosionsfaktoren	Geeignetes Schutzverfahren
Flughafen/Hohe Verkehrsdichte	Allgemeine Korrosion von NOx, SOx und CO.	Sprühbeschichtung oder E-Coating
Industrie	Allgemeine Korrosion von NOx, SOx, CO, Ammoniak, Chlor, etc.	Sprühbeschichtung oder E-Coating
Meeresnähe	Galvanische Korrosion durch hochkonzentriertes Salzwasser	Cu/Cu-Coil-Fins
Küste	Galvanische Korrosion durch niedrig konzentriertes Salzwasser	Cu/Cu-Coil-Lamellen, Sprühbeschichtung oder E-Coating
Landwirtschaft	Allgemeine Korrosion durch NOx, SOx und Ammoniak	Sprühbeschichtung oder E-Coating
Kombinierte Standortbedingungen	Galvanische und allgemeine Korrosion	Hochwertige Sprühbeschichtung oder E-Coating

www.stulz.de