

Dauerhafte Verbindungen durch systematischen Klebeprozess

Selbst leistungsfähigste Klebstoffsysteme entfalten ihre volle Funktionsfähigkeit nur bei sachgemäßer Anwendung. Häufige Fehler wie unzureichend vorbereitete Oberflächen, falsch gewählte Klebstofftypen oder fehlerhafte Aushärtungsbedingungen führen zu mangelhaften Verbindungen – oft mit teuren Konsequenzen. Wer dauerhaft stabile und prozesssichere Klebungen erzielen möchte, muss den gesamten Klebeprozess als Einheit verstehen: von der Substratanalyse über die Applikation bis hin zur kontrollierten Aushärtung.

Dr. Christoph Schnöll

Eine konsequente Qualitätskontrolle ist im industriellen Kleben von Beginn an entscheidend, um eine zuverlässige und dauerhafte Verbindung zu erzielen. Bereits vor dem eigentlichen Klebeprozess müssen daher alle relevanten Parameter definiert, überwacht und in einem strukturierten Ablauf dokumentiert werden. Dabei spielt das Klebeprotokoll nach ISO 21368 eine zentrale Rolle: Es stellt sicher, dass alle Vorgaben lückenlos eingehalten werden und ermöglicht ein frühzeitiges Erkennen sowie Vermeiden möglicher Fehlerquellen. Dieser systematische Ansatz trägt zur prozesstechnischen Sicherheit bei, die stabile und qualitativ hochwertige Verbindungen ermöglicht.

Die passende Klebstoffauswahl treffen

Im ersten Schritt muss der für die jeweilige Anwendung geeignete Klebstoff ausgewählt werden. Dieser Prozess kann durch Simulationen der Verklebung, etwa mittels Finite-Elemente-Methode (FEM), sowie durch professionell durchgeführte Testungen wie Zugversuche und Kataplasma unterstützt werden. Dafür müssen verschiedene Parameter wie die Anwendungsanforderungen an den Klebstoff, der Aushärtemechanismus des Klebstoffsystems und die Materialverträglichkeiten berücksichtigt werden. Metallische Oberflächen erfordern beispielsweise oft eine zusätzliche Behandlung gegen Oxidation, während Kunststoffe wie Polyethylen (PE) oder Polypropylen (PP) aufgrund ihrer niedrigen Oberflächenenergie spezielle Klebstoffe benötigen. Ebenfalls entscheidend sind auch generelle Anforderungen an die Verklebung wie eine dauerhafte Festigkeit bei erhöhten Temperaturen oder die Stabilität gegenüber Chemikalien und

UV-Strahlen. Die Temperatur spielt jedoch nicht nur bei der späteren Anwendung des verklebten Bauteils eine entscheidende Rolle, sondern auch bei der Verarbeitung des Klebstoffs, da sie die Viskosität und die Aushärtengeschwindigkeit beeinflusst. Die Wahl des Klebstoffs muss daher genau auf die Materialkombination und die jeweiligen Umgebungsbedingungen abgestimmt werden, um eine stabile Verbindung zu gewährleisten.



Klebstofftests im Labor unterstützen bei der Klebstoffauswahl.
© Bodo Möller Chemie GmbH

Oberflächenbehandlung für zuverlässige Adhäsion

Neben der Werkstoffart spielt der Zustand der Oberfläche eine entscheidende Rolle. Verunreinigungen wie

Fettfilme oder Staub können verhindern, dass der Klebstoff direkt mit dem Substrat in Kontakt kommt und stattdessen nur auf einer Fremdschicht haftet. Auch die Rauigkeit der Oberfläche beeinflusst die Adhäsion: Ein leicht aufgerautes Substrat kann die Verbindung begünstigen. Ein wesentlicher Faktor für die Haftung ist die Oberflächenenergie. Je höher diese ist, desto besser kann der Klebstoff die Fläche benetzen. Eine Bestimmung der Oberflächenenergie ist über sogenannte Kontaktwinkelmessgeräte möglich. Diese bestimmen die Krümmung eines Flüssigkeitstropfens auf dem Substrat und somit die Güte der Benetzung beziehungsweise die freie Oberflächenenergie. Für eine schnelle und unkomplizierte Bestimmung sind auch Testtinten erhältlich, welche keinerlei weiteres Analyseequipment benötigen. Materialien mit niedriger Oberflächenenergie, wie viele Kunststoffe, benötigen eine spezielle Vorbehandlung – etwa durch Plasma- oder Corona-Behandlung, Beflammung oder den Einsatz eines chemischen Primers –, um zuverlässig verklebt werden zu können. Hierdurch wird die Oberfläche chemisch beziehungsweise physikalisch verändert. Es werden zusätzliche polare funktionelle Gruppen eingebracht, welche zum einen die Oberflächenenergie erhöhen, aber zum anderen auch als Ankerpunkte für die chemische Anbindung des Klebstoffes dienen.



In Zugversuchen wird die Qualität der Verklebung geprüft.
© Bodo Möller Chemie GmbH

Klebstoffapplikation korrekt durchführen

Bei der Applikation des Klebstoffs haben sich zwei Verfahrensmethoden bewährt: Abhängig von der Produk-

tionseinheit wird entweder manuell mit Kartuschen oder automatisiert mit Dosiersystemen gearbeitet. Gerade bei kleineren Stückzahlen oder flexiblen Fertigungsprozessen ist die manuelle Applikation mit Kartuschen üblich. Hierfür stehen unterschiedliche Kartuschenpressen mit pneumatischem oder elektrischem Antrieb zur Verfügung. In automatisierten Prozessen, etwa bei Großserien oder immer gleichbleibenden Bauteilen, kommen Dosiersysteme zum Einsatz. Diese Systeme verarbeiten Klebstoffe aus größeren Gebinden.

Bei dem Einsatz von Zweikomponenten-Klebstoffen, bestehend aus Harz und Härter, hängt die Qualität der Klebung stark vom korrekten Mischverhältnis ab. Das Mischen erfolgt meist über ein Mischerrohr (statischer Mischer), das auf die Kartusche aufgesetzt wird. Bevor das Mischerrohr angebracht wird, sollte der Anwender zunächst prüfen, ob beide Komponenten gleichmäßig austreten. Nach Anbringen des Mischerrohrs ist darauf zu achten, zunächst eine gewisse Klebstoffmenge – üblicherweise eine Raupe in der Länge des Mischerrohrs – zu verwerfen, um eine vollständige Durchmischung sicherzustellen. Während das Mischungsverhältnis bei Kartuschen bereits vorgegeben ist, müssen bei größeren Gebinden wie Eimern oder Fässern die Komponenten aktiv dosiert werden. In automatisierten Dosiersystemen ist die Überwachung des Mischungsverhältnisses besonders wichtig, um Fehler aufgrund unterschiedlicher Dichten der Komponenten zu vermeiden. Hierfür kommen unter anderem Zahnrad-, Hubkolben- oder Exzentrerschneckenpumpen zum Einsatz. Auch bei der Applikation ist die Temperatur ein wichtiger Faktor, der nicht zu unterschätzen ist. Sie beeinflusst sowohl die Viskosität des Klebstoffs als auch die Verarbeitungszeit: Höhere Temperaturen verringern die Viskosität und erleichtern so das Auftragen, können jedoch die Verarbeitungszeit deutlich verkürzen.

Bauteile passgenau fügen

Ist der Klebstoff aufgetragen, folgt im nächsten Schritt der Fügeprozess. Ziel ist es, die zu verbindenden Bauteile passgenau zu positionieren, sicher zu fixieren und bei Bedarf mit einem definierten Druck zu fügen. Welche Anforderungen dabei gelten, hängt vom eingesetzten Klebstoffsystem ab. Für eine verlässliche Verklebung müssen die Bauteile nach dem Auftragen des Klebstoffs zueinander ausgerichtet und während der Aushärtung fixiert werden. Das ist besonders wichtig, sobald die Topfzeit – also die verarbeitbare Offenzeit des Klebstoffs – endet. Denn ab diesem Punkt beginnt die Ausbildung eines dreidimensionalen Polymernetzwerkes. Bewegungen innerhalb der Klebefuge können dann zu inneren Strukturbrüchen auf

molekularer Ebene führen und die Festigkeit der Verbindung mindern. Ob eine mechanische Fixierung nötig ist, hängt vom Bauteil, der Einbaulage und der Klebstoffviskosität ab. Bei klassischen reaktiven Klebstoffen wie Epoxid- oder Polyurethansystemen ist ein definierter Pressdruck nicht zwingend erforderlich, kann jedoch dabei helfen, Lufteinschlüsse zu vermeiden und eine gleichmäßige Verteilung des Klebstoffs zu erreichen. Anders ist dies beispielsweise bei Pressure Sensitive Adhesives (PSA), etwa bei doppelseitigen Klebebändern. Diese benötigen für eine zuverlässige Haftung einen bestimmten Anpressdruck über eine definierte Zeitspanne, um sich vollständig mit der Oberfläche zu verbinden.



Mittels Alterungstests wird unter hohen Belastungen simuliert, wie sich die Verklebung langfristig verhält. © Bodo Möller Chemie GmbH

Aushärtung schafft Haftung

Die Aushärtung ist der letzte Schritt im Klebeprozess. Erst in diesem Stadium erreicht die Verbindung ihre volle Festigkeit und Dauerhaftigkeit. Die Geschwindigkeit der Aushärtung hängt von Temperatur und Umgebungsbedingungen ab. Eine Erhöhung der Temperatur um 10 °C kann die Reaktionsgeschwindigkeit etwa verdoppeln. Das bedeutet: Je höher die Temperatur, desto kürzer die Verarbeitungszeit und desto schneller die Aushärtung. Ein Klebstoff, der bei 25 °C eine Verarbeitungszeit von 30 Minuten aufweist, könnte bei 35 °C bereits nach 15 Minuten nicht mehr verarbeitet werden. Umgekehrt verlängern niedrige Temperaturen die Aushärtungszeit, sodass der Klebstoff bei unter 20 °C teilweise nicht vollständig aushärten kann. Deshalb sollte die Umgebungstemperatur während des gesamten Aushärtungsprozesses konstant im

empfohlenen Bereich liegen. Welche Aushärtungsmethode eingesetzt wird, richtet sich in der Regel nach dem eingesetzten Klebstoff. Bereits bei der Klebstoffauswahl muss geprüft werden, ob die Produktionsumgebung für die jeweilige Aushärtetechnologie geeignet ist. Neben zweikomponentigen Klebstoffen, welche durch das Mischen beider Komponenten selbstständig, zum Beispiel bei Raumtemperatur, aushärten, gibt es auch noch eine Vielzahl an einkomponentigen Klebstoffen, welche keinen Mischprozess erfordern. Die Härtingsreaktion muss durch einen externen Stimulus hervorgerufen werden. Hier sind zum Beispiel die UV-Härtung und die Luftfeuchtigkeitshärtung zwei gängige Mechanismen. Die UV-Härtung bietet die schnellste Methode und ermöglicht eine Aushärtung innerhalb von Sekunden. Allerdings funktioniert diese Methode nur bei lichtdurchlässigen Substraten oder offenen Fugen, da die UV-Strahlung direkt auf den Klebstoff treffen muss und nur eine begrenzte Eindringtiefe aufweist. Bei der Luftfeuchtigkeitshärtung handelt es sich um eine chemische Aushärtungsmethode, bei der der Klebstoff durch den Kontakt mit Wasser aus der Umgebungsluft reagiert und dadurch fest wird. Hierbei ist eine gleichbleibende, kontrollierte Luftfeuchtigkeit in der Produktionsumgebung erforderlich.

Prozessbegleitende Prüfungen

Zerstörungsfreie und zerstörende Prüfmethode sind ein integraler Bestandteil des Klebeprozesses. Während der Applikation und des Fügens kann eine einfache Sichtkontrolle auf Lufteinschlüsse und mögliche Mischungsprobleme hinweisen. Des Weiteren können durch Röntgenspektroskopie, Ultraschall oder Thermographie eine gleichmäßige Verteilung und Aushärtung des Klebstoffs bestätigt werden. Endgültig überprüft werden kann die Güte einer Verklebung aber nur durch zerstörende Prüfungen, beispielsweise durch Zugversuche. Diese können mittels standardisierten Zugscherverfahren und Testkörpern durchgeführt werden. Wenn möglich, sollte die Prüfung direkt am verklebten Bauteil erfolgen, um den gesamten Prozess und die spezielle Geometrie zu berücksichtigen.

Fazit: Systematik als Grundlage für Qualität

Industrielles Kleben ist ein spezialisierter Prozess, der nur dann zuverlässig funktioniert, wenn alle Prozessschritte systematisch und abgestimmt ineinandergreifen. Die Qualität einer Klebeverbindung hängt nicht allein von der Wahl des richtigen Produkts, sondern vom Verständnis und der Kontrolle des gesamten Klebeprozesses ab. Digitale Tools, wie Apps zur Prozessdokumentation und Überwachung, ermög-

lichen eine effiziente und fehlerfreie Erfassung aller relevanten Parameter. Automatisierte Systeme unterstützen den Menschen, indem sie die Wiederholgenauigkeit steigern und eine präzise Umsetzung komplexer Aufgaben sicherstellen. Für die Etablierung und Optimierung von Klebeprozessen ist die kontinuierliche Schulung der beteiligten Mitarbeiter ebenfalls ein wichtiger Faktor. Wird Kleben als systematischer, qualitätsgesicherter Gesamtprozess verstanden, können dauerhafte Festigkeit, Sicherheit und Prozessstabilität erreicht werden. ●