

Kleben, Dichten und Vergießen in der Batteriefertigung

Kleben ist eine bewährte Verbindungstechnologie in der Automobilindustrie. Dabei übernehmen Klebverbindungen nicht nur die Funktion des Verbindens, sondern sie schützen auch vor externen Einflüssen und sorgen für Sicherheit. Diese Eigenschaften sind besonders auch für die Batteriefertigung gefragt.

Carolin Gachstetter, Markus Rieger, Andreas Olkus, Frank Vercruysse

Für Aufsehen hat kürzlich die Entscheidung des EU-Parlaments gesorgt, ab dem Jahr 2035 den Verkauf von Neuwagen mit Verbrennungsmotor zu verbieten. Diese Entscheidung ist nur eine von zahlreichen regulatorischen Maßnahmen, mit denen die Entwicklung alternativer Antriebsformen vorangetrieben werden soll. Es han-

delt sich um eine politische Vorgabe, der aber bereits nahezu alle großen Automobilhersteller gefolgt sind. Volvo plant, ab 2030 nur noch Elektrofahrzeuge zu produzieren, General Motors hat angekündigt, ab 2035 nur noch lokal emissionsfreie Pkw zu verkaufen, und VW strebt bereits für das Jahr 2025 die Marktführerschaft in

der Elektromobilität an. Der durch die Digitalisierung und die Elektrifizierung bedingte Transformationsprozess in der Automobilindustrie bringt zahlreiche neue Anforderungen für die Produktionstechnik mit sich. Herstellern von Dosieranlagen für Vergussmaterialien, Flüssigdichtungen, Klebraupen oder Wärmeleitpasten bieten sich dadurch zahlreiche neue Anwendungsfelder, die im Folgenden exemplarisch anhand der Batteriefertigung aufgezeigt werden sollen (Bild 1).

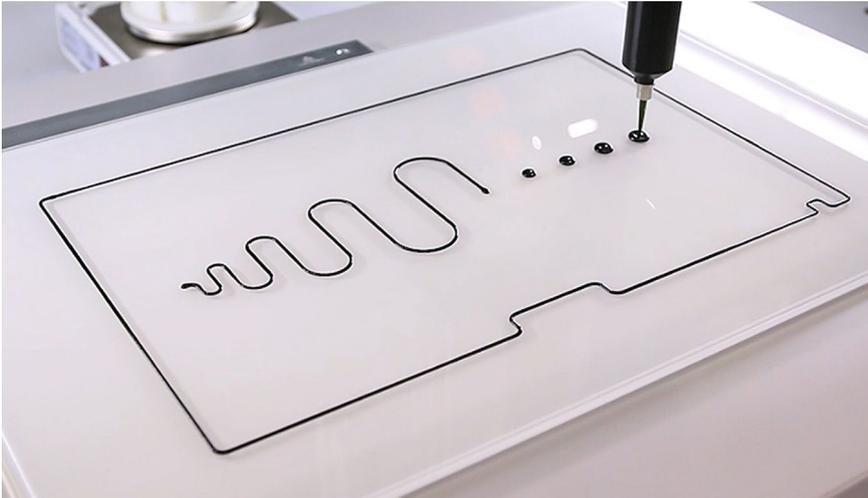
Neben dem Elektromotor ist die Batterie das Herzstück jedes Elektrofahrzeugs. Sie versorgt den Elektromotor mit Strom und dient gleichzeitig als Energiespeicher. Der sogenannte Akkupack besteht dabei aus mehreren Batteriemodulen, die wiederum aus einer Vielzahl von Batteriezellen bestehen.

Kleben und Vergießen von Batteriezellen

Die Mehrheit der Batteriezellen ist in drei verschiedenen Formaten erhältlich: zylindrisch, prismatisch und im dünnen Pouchformat. Allen gemein ist, dass sie durch elektrisch isolierende Klebstoffe verbunden werden müssen. Zum Einsatz kommen häufig 2K-Polyurethan-Wärmeleit-



Bild 1 > Bei der Fertigung von Batteriepacks kommen zahlreiche Dosieranwendungen zum Einsatz.



© bdrtronic

Bild 2 > Die geschwindigkeitsabhängige Dosiertechnik speedup wird auch bei schwierigen Bauteilgeometrien eingesetzt.

klebstoff mit hoher Wärmeleitfähigkeit. Die größte Herausforderung bei diesen Materialien ist die gleichzeitige Verarbeitung einer hochviskosen A-Komponente und einer niederviskosen B-Komponente in einem Mischungsverhältnis von bis zu 100:5. Eine gute Vermischung ist dabei essenziell, um die Funktionsfähigkeit des Mediums zu erfüllen. Die A-Komponente wird aufgrund des hohen Materialverbrauchs in der Regel aus 200-l-Fässern entnommen. Notwendig ist hierbei eine bestmögliche Restmengenentleerung und ein geringer Materialverlust beim Fasswechsel.

Zylindrische Zellen, auch Rundzellen genannt, werden aufgrund ihrer Geometrie zumeist vergossen. Dies dient zum einen der Fixierung der Zellen, zum anderen dienen selbstnivellierende Klebstoffe der Wärmeableitung, Stoßdämpfung und einer erhöhten Crashstabilität. Zudem können zuverlässig Luft einschließen zwischen den einzelnen Zellen ausgeschlossen werden. Das Reaktionsgießharz wird durch einen Dosierkopf – je nach Ausprägung 1K, 2K statisch oder 2K dynamisch – direkt in das Produkt gefüllt. Anschließend erfolgt die Aushärtung in einem festgelegten Zeitraum und bei definierter Temperatur, UV-Einwirkung oder Feuchtigkeit. Da Batteriezellen nicht unter Vakuum vergossen werden können, kommt es auf einen genau auf das Bauteil und das verwendete Vergussmaterial abgestimmten Dosierprozess an. Dieser wird im Idealfall vorab im Technologiezentrum durch Versuche ermittelt, bevor er auf die Serienanlage angewandt wird. Der Vorteil ist dabei, dass in der Produktentwicklungsphase Hinweise zur Bauteiloptimierung

sowie Erfahrungen aus der Praxis gegeben werden können. Im Rahmen der Prozessentwicklung lassen sich auch Musterteile fertigen, die umfassenden Prüfprozessen unterzogen werden können.

Zylindrische Zellen werden immer stärker nachgefragt. Dies liegt nicht nur am Zellkonzept, sondern auch daran, dass man diese Zellen schneller herstellen kann. Durch einen bis zu 10-fach höheren Durchsatz im Vergleich zu traditionellen prismatischen und Pouchzellen, werden die Batteriefabriken immer effizienter. Eine schnellere und kostengünstigere Batteriefertigung ist dabei zwingend notwendig angesichts der seitens der Automobilhersteller veröffentlichten Wachstumsziele für Elektro- und Hybridfahrzeuge.

Dosieren bei anspruchsvollen Geometrien

Die einzelnen Batteriezellen werden anschließend zu einem Modul angeordnet.

Zur Befestigung und Stabilisierung der zylindrischen Batteriezellen kommen oftmals Rahmen zum Einsatz. Die zu lösende Dosieraufgabe besteht darin, die einzelnen Batteriezellen mit dem Rahmen zu verbinden. Die komplexe Bauteilgeometrie erfordert eine Dosierlinie mit zahlreichen Ecken und Richtungswechseln. Die Herausforderung für das Dosiersystem besteht darin, an jeder Stelle die gleiche Menge des Klebstoffs aufzubringen, auch wenn die Dosiergeschwindigkeit variiert. Gelöst werden kann dies durch die speedup-Technik für das geschwindigkeitsabhängige Dosieren. Die Geschwindigkeit der Achsbewegungen und die Dosierleistung können damit aufeinander abgestimmt und gesteuert werden.

Bei der traditionellen Dosiertechnik wird die Geschwindigkeit des Dosierens durch die Geschwindigkeit bestimmt, mit der die abgerundeten Ecken – die Engpässe in dieser Anwendung – dosiert werden können. Die Kleberaupe wird also mit kons-

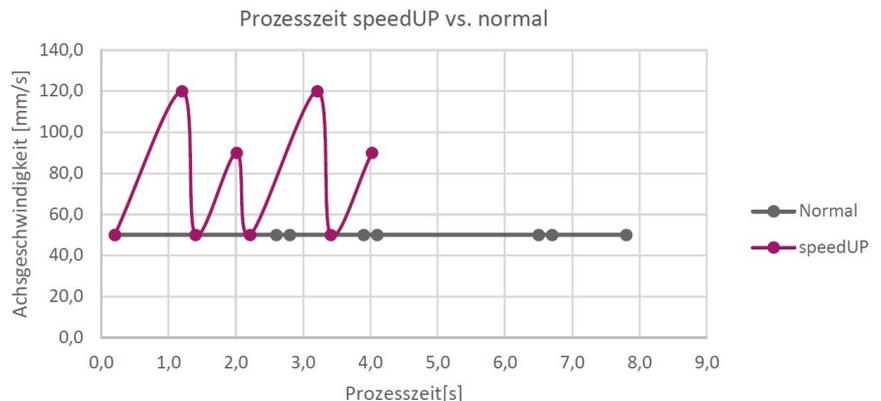


Bild 3 > Speedup verknüpft die Achsgeschwindigkeit und die Dosierleistung intelligent und verkürzt so die Prozesszeit.

© bdrtronic



Bild 4 > Die Vorbehandlung mit Plasma verbessert die Verklebbarkeit.

tanter Dosiergeschwindigkeit und konstanter Achsgeschwindigkeit aufgetragen. Mit dem speedup-System von bdtronic werden die Geschwindigkeit der Achsbewegungen und die Dosiergeschwindigkeit so verknüpft und gesteuert, dass sie eine möglichst kurze Zykluszeit und ein gutes Dosierergebnis erzielen (Bild 2). Lange gerade Abschnitte werden mit hoher Geschwindigkeit dosiert und kritische Kurven mit niedriger Geschwindigkeit. Das Ergebnis ist eine deutliche Reduzierung der Gesamttaktzeit (Bild 3). Diese Technologie kommt auch bei der Gehäuseverklebung und Abdichtung mit Polyurethan-, Epoxy- oder Silikonmaterialien mit schnellen Aushärtungszeiten zum Einsatz. Um eine bestmögliche und langzeitbeständige Haftung zu erreichen, werden

die Batteriezellen mit Plasma vorbehandelt, um die Oberfläche zu aktivieren und zu reinigen, bevor der Klebstoff aufgetragen wird (Bild 4). Die Behandlung von Kunststoff- und Metalloberflächen mit Plasma verbessert deren Verklebbarkeit in mehrfacher Hinsicht. Es entfernt organische Verunreinigungen, die die Haftung beeinträchtigen können, und ätzt die Oberfläche des Kunststoffs auf mikroskopischer Ebene. Dadurch wird die mechanische Festigkeit der Klebeverbindung deutlich verbessert. Nicht zuletzt aktiviert das Plasma die Oberfläche des Kunststoffs, so dass dieser besser benetzbar wird und eher mit einem Klebstoff reagiert. Das sichert eine lang anhaltende Haftung und saubere, polare Oberflächen ohne Rückstände.

Effektive Wärmeableitung

Die Batteriemodule erzeugen im laufenden Betrieb Energie in Form von Wärme. Diese wird durch den Auftrag von thermisch leitfähigen Materialien zwischen Batteriemodul und Aluminiumkühler abgeführt, um eine Überhitzung zu vermeiden (Bild 5). Thermisch leitfähige flüssige Gapfiller sind für die automatische Dosierung in der Großserienfertigung konzipiert. Sie bieten hervorragende thermische und mechanische Eigenschaften und belasten die Bauteile bei der Montage praktisch nicht. Da diese Materialien flüssig sind, können sie frei in fast jedem gewünschten Muster oder jeder Form dosiert werden, was eine extreme Flexibilität in der Fertigung und im Design ermöglicht. Wärmeleitfähige Pasten sind hochgefüllt und aufgrund der Wärmeleitfähigkeit ist es notwendig, abrasive Füllstoffe einzusetzen. Dies erfordert verschleißarme Dosiersysteme, über welche ein dauerhaft präziser Dosierauftrag stattfinden kann. Die Materialförderung muss mit möglichst wenig Druck erfolgen, sodass eine Entmischung der Wärmeleitpaste verhindert wird. Die Wärmeleitfähigkeit wird durch den Wärmeleitfähigkeitskoeffizient λ in $W/m \cdot K$ bestimmt. Je höher der Wert, desto mehr Wärme kann insgesamt pro Zeiteinheit übertragen werden. Heute existieren Materialien, welche Leitwerte von über $7 W/m \cdot K$ aufweisen. Exzenterschneckenpumpen bieten im Vergleich zu anderen Pumpensystemen durch ihre robuste und verschleißarme Technik einige Vorteile. So

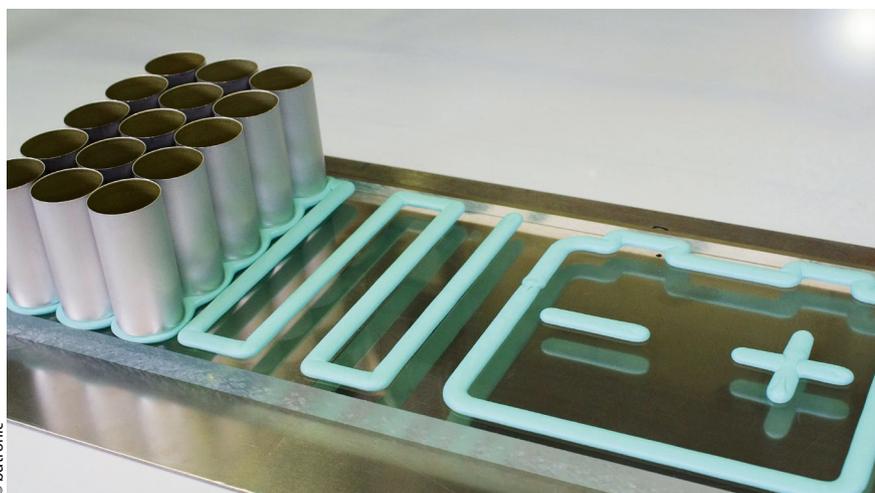


Bild 5 > Thermisch leitfähige Materialien stellen hohe Anforderungen an die Dosiertechnik.

werden durch die kontinuierliche und volumetrische Förderung Druckschwankungen vermieden, um das Material nicht zu belasten. Sedimentation und Separation – ein häufig auftretendes Problem vor allem bei Wärmeleitmaterialien auf Silikonbasis – werden dadurch verhindert.

Ein bei der Definition der Prozessparameter ebenfalls nicht zu unterschätzender Faktor ist die Trägheit: Setzt man Materialien mit hoher Dichte in Bewegung und hält diese wieder an, kommt es oftmals zu Fadenbildung. Hier kommt es auf das Zusammenspiel von präzisen servogesteuerten Dosierpumpen, Robotik und der Dosierkontur an. Auch in diesem Fall kann ein geschwindigkeitsabhängiges Dosiersystem helfen, die Prozesszeiten bei gleichbleibend hoher Qualität zu minimieren. Besonderes Augenmerk sollte auch auf das Materialvorbereitungssystem gelegt werden. Zum einen müssen Luft-einschlüsse beim Gebindefwechsel zuverlässig verhindert werden. Zum anderen muss das Gebinde möglichst vollständig entleert werden, da hochentwickelte thermisch leitfähige Materialien in großen Mengen appliziert werden und dabei hohe Anschaffungskosten anfallen. Eine genaue Betrachtung der Total Cost of Ownership (TCO) zeigt, dass die Investition in eine zuverlässige Materialaufbereitung in kurzer Zeit zu hohen Einsparungen bei den laufenden Kosten führt.

Wärmeleitfähige Materialien werden meistens in einer Kontur aufgetragen und anschließend gefügt, sie können aber auch mit einem Injektionsverfahren verarbeitet werden. Für einen Automobilhersteller wurde ein Verfahren entwickelt, bei dem der hochabrasive Gapfiller mit geringem Druck in das Gehäuse injiziert wird, um die empfindlichen Pouchzellen nicht zu beschädigen. Der Spalt zwischen der Batterie und dem Gehäuseboden wird vollständig und ohne Luftblasen gefüllt.

Gehäuseverklebung und Abdichtung

Um die meist im Fahrzeugboden verbauten Batteriegehäuse vor Schmutz, Staub und Feuchtigkeit zu schützen, werden sie mit einer Flüssigdichtung versehen. Dichten ist eine effektive Dosiermethode, um Bauteile durch eine Barriere vor äußeren Einflüssen zu schützen. Ein meist hochviskoser und thixotroper Dichtstoff wird nach einer vorgegebenen zwei- oder dreidimensionalen Kontur auf die Bauteile



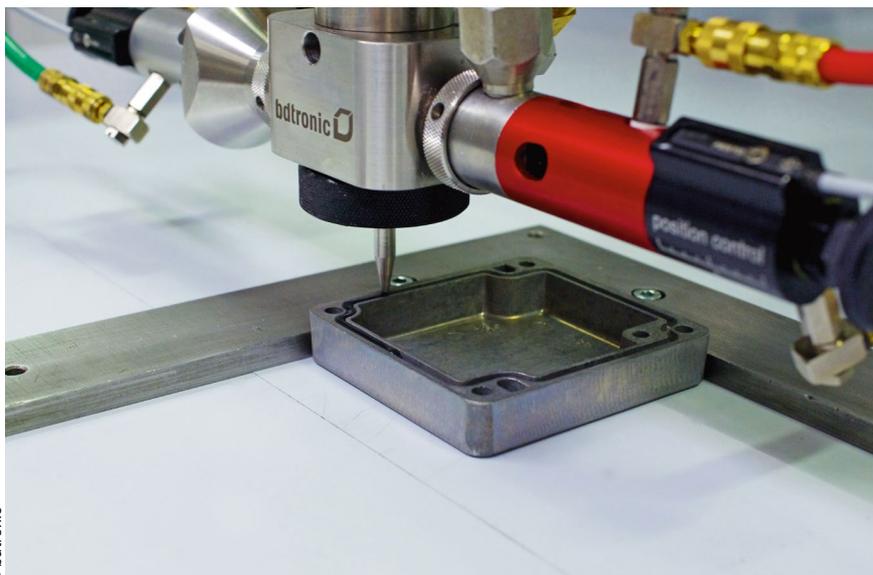
© bdtronic

Bild 6 > Zur Abdichtung der Batteriemodule werden Flüssigdichtungen aufgebracht.

aufgetragen (*Bild 6*). Die Rheologie der flüssigen Dichtungsmassen in Verbindung mit der eingebauten Haftvermittlung trägt dazu bei, dass die ausgehärtete Dichtraupe an Ort und Stelle bleibt und ihr vorgegebenes Profil und ihre Größe beibehält. Im Vergleich zu herkömmlichen gestanzten Dichtungen ermöglicht die Flüssigdichtung eine flexible Gestaltung der Bauteile und reduziert den Abfall erheblich. Bei Variationen im Design der Anschlussflächen der Teile müssten verschiedene Dichtungen hergestellt werden, was die Anzahl der Teile und den zu verwaltenen Bestand erhöht. Mit einer roboterassistierten Dosierzelle kann eine große Anzahl

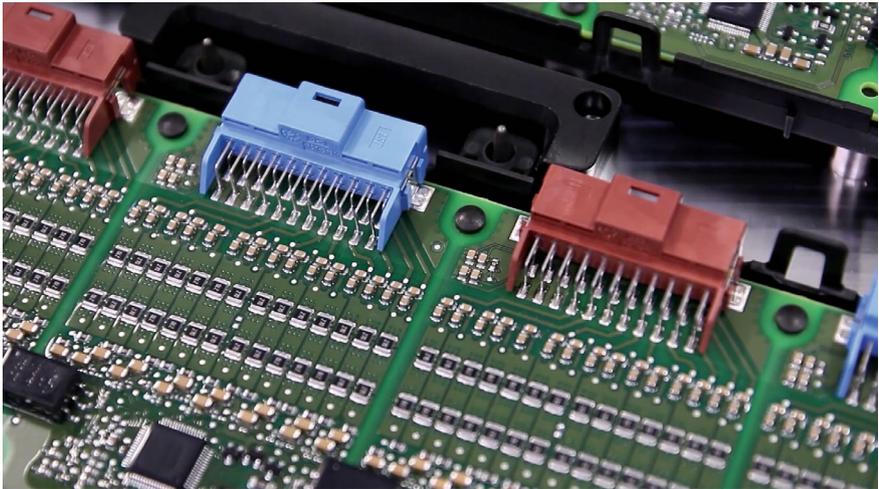
von Dichtungsmustern aufgetragen werden. Außerdem lässt sich die Fehlerquote bei der Abdichtung durch die automatische und präzise Positionierung der Dichtungen reduzieren.

Die Dosierverfahren CIPG (Cured In Place Gasket) oder FIPG (Formed In Place Gasket) sind weit verbreitet. Bei CIPG werden Flüssigdichtungen auf das Gehäuse aufgetragen und härten dort aus, bevor der Deckel aufgesetzt wird. Bei diesem Verfahren handelt es sich um eine lösbare Verbindung, die es ermöglicht, den Deckel zu Reparaturzwecken zu öffnen. FIPG ist eine nicht lösbare Verbindung, die sowohl am Gehäuse als auch am Deckel haftet.



© bdtronic

Bild 7 > Dynamische Mischsysteme werden bei anspruchsvollen Materialeigenschaften eingesetzt.



© bctronic

Bild 8 > Heißnieten ist eine effiziente Fügemethode bei der Verarbeitung von Batteriemodulen.

Das Dichtmittel oder der Klebstoff muss sehr präzise dosiert und perfekt auf die Roboterbewegung abgestimmt werden. Ein inkonsistenter Auftrag kann zu Undichtigkeiten und Fehlern führen. Besonderes Augenmerk ist auf den Start-/Stoppunkt der Raupe zu legen. Exzentrerschneckenpumpen basieren auf dem Endloskolbenprinzip. Sie erlauben ein kontinuierliches und unterbrechungsfreies Dosieren und sind damit ideal für diese Anwendung geeignet. Neben dem statischen Mischen wird ein dynamisches Mischsystem für Anwendungen eingesetzt, bei denen es auf die Mischqualität ankommt und die Materialeigenschaften anspruchsvoll sind, wie zum Beispiel ein breites Mischungsverhältnis, kurze Topfzeiten und bei starken Viskositätsunterschieden zwischen Basis und Katalysator (Bild 7).

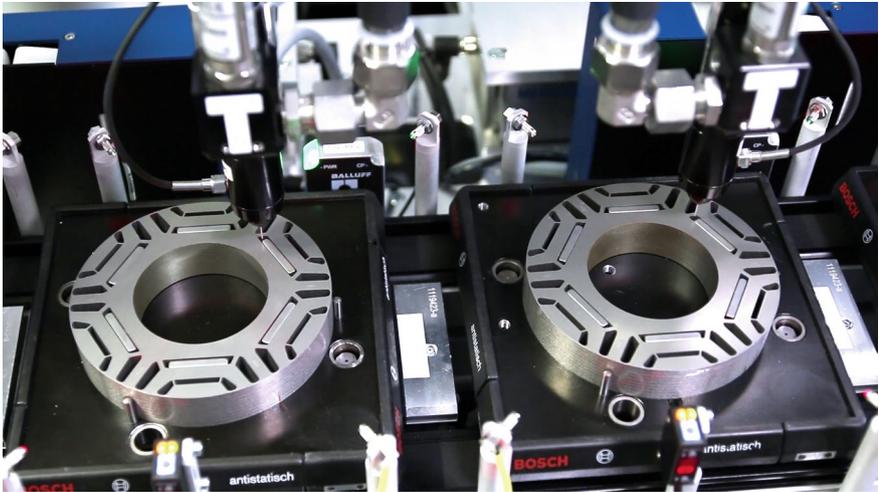
Heißnieten als effektive Fügemethode

Bei der Verarbeitung von Batteriemodulen gibt es zahlreiche Heißnietanwendungen (Bild 8). Die Stromschienen (englisch Busbars) werden über Nietpunkte fixiert. Die Isolatoren, Kühlplatten oder Rahmen und Seitenteile beziehungsweise Versteifungsplatten und Distanzplatten werden verstemmt. Es sind verschiedene Materialpaarungen zu finden: Kunststoff-Metall, Kunststoff-Kunststoff, Kunststoff-FR4 und Kunststoff-isotherme Werkstoffe. Aufgrund der Bauteilgröße und der erforderlichen Haltekraft sowie der Stabilität ist eine große Anzahl von eng beieinanderliegenden Nietpunkten erforderlich. Je nach Anwendung variieren die Anforderungen und die ideale Prozessmethode, die zum Einsatz kommt.

Beim Fügen der Baugruppe muss die Ausdehnung der Batteriezellen berücksichtigt werden. Die komplexen Baugruppen weisen daher große Toleranzen auf und müssen ohne kritischen Temperatureintrag in die Zellen sicher gefügt werden. Gleichzeitig müssen die Fügeapplikationen auch große Festigkeiten aufweisen. Je nach Anwendung und Spezifikation kommen unterschiedliche thermische Fügeverfahren zum Einsatz. Insgesamt werden nur thermische Nietverfahren angewendet, da sowohl die elektronischen Bauteile als auch die Bleche vibrationsfrei verarbeitet werden müssen. Aufgrund der Größe und des Gewichts der Module und der hohen Anzahl von Nietpunkten in kurzen Abständen wurde eine spezielle Anlagenplattform für Batterieanwendungen für Prototyping und Serienfertigung entwickelt.

Praxisbeispiel Zellkontaktiersystem

Eine typische Anwendung ist das Fügen einer Leiterplatte mit dem Gehäuserahmen und gleichzeitig das Fixieren des Zellverbinders mit den Stromschienen. Verarbeitet werden sollte ein Kunststoff mit hohem Glasfaseranteil, weshalb die BHS Hot Air-Technologie zum Einsatz kam. Bei diesem Heißluftverfahren werden die Prozessschritte Aufheizen und Umformen getrennt und können so durch zwei Module in zwei Stationen parallel durchgeführt werden. Dadurch kann die Taktzeit der Maschine signifikant verringert werden. Zudem lassen sich auch über hohe bauteiltoleranzbedingte Volumenschwankungen immer gleichbleibende maximal gute Niertergebnisse ohne Schmelzeaustritt sicherstellen. Insgesamt sollten zehn Nietpunkte



© bctronic

Bild 9 > Das Verkleben von Magneten ist eine komplexe Aufgabe in der Elektromotorproduktion.

verarbeitet werden, die jeweils individuell gesteuert werden und zudem auf verschiedenen Ebenen lagen. Für eine derart komplexe Aufgabenstellung ist die Einbindung eines Kamerasystems zur Ergebnisprüfung zwingend. Durch vorhergehende umfangreiche Versuche im Technologiezentrum wurden die Prozessparameter festgelegt, die dann in der Serienanlage zum Einsatz kamen.

Batterie-Management-System und Leistungselektronik

Das Batterie-Management-System (BMS) ist eine weitere entscheidende Komponente des Akkus. Damit keine Feuchtigkeit in das Batteriemanagementsystem eintritt, wird eine Flüssigdichtung zwischen Gehäuse und Deckel aufgetragen. Zuvor werden Gehäuse und Deckel mit Plasma vorbehandelt, um die Oberflächenspannung von Deckel und Gehäuse zu erhöhen und mittels Heißniettechnologie im Gehäuse vernietet. Die Leistungselektronik ist für die Verbindung von Akku und Motor verantwortlich. Die Anschlussstecker des DC/DC-Wandlers und Inverters müssen gegen Feuchtigkeitseintritt geschützt werden. Dabei wird der Stecker mit einer Vergussmasse vergossen. Damit keine Feuchtigkeit zwischen Gehäuse und Deckel des Wandlers und Inverters eintritt, wird eine Dichtungsraupe aufgetragen. Um eine Überhitzung des Wandlers und Inverters zu vermeiden, wird zwischen Leiterplatte und Aluminium-Kühlkörper eine thermisch leitfähige Paste aufgetragen, um die entstehende Energie in Form von Wärme abzuführen.

Elektromotorproduktion als weiteres Anwendungsfeld

Auch bei der Produktion von Elektromotoren für Elektro- und Hybridfahrzeuge gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Dosieranwendungen. Die Kupferwicklungen des Stators werden imprägniert, um die Wärmeabfuhr zu erhöhen, die Leistungsfähigkeit zu steigern und Kurzschlüsse zu vermeiden. Der Verschaltungsring eines Stators verfügt über diverse Stromschienen, die isoliert werden müssen. Dazu wird der Schaltring mit einem speziellen Reaktionsgießharz vergossen. Für ein sehr gutes Vergussergebnis werden die Statoren oftmals vorgereinigt, vorgewärmt und die Oberfläche durch Plasmatechnologie aktiviert. Die

Verschaltung wird in einem vorgelagerten Prozess mit einer Heißnietverbindung am Stator mechanisch fixiert.

Eine weitere Anwendung ist das Kleben von Magneten in Rotoren (*Bild 9*). Wichtig ist hier eine präzise Dosierung in Hinblick auf Dosiermenge und Dosierkontur. Die Nadelgröße ist ein limitierender Faktor: Aufgrund der geringen Größe muss das eingesetzte Dosiersystem in der Lage sein, sehr hohe Drücke zu bewältigen, um eine gute Dosierleistung zu erreichen. Damit die in der Automobilindustrie geforderten kurzen Zykluszeiten erreicht werden können, wird ein komplexes Maschinenkonzept mit zwei parallelen Transportbändern und vier Dosierköpfen eingesetzt.

Batteriefertigung bald in Europa?

Die Automobilindustrie stellt seit jeher hohe Ansprüche an ihre Zulieferbetriebe. Neben höchsten Qualitätsansprüchen, die nur durch hohe Präzision und Wiederholgenauigkeiten von > 99 % erreicht werden können, spielt auch die lückenlose Rückverfolgbarkeit eine wichtige Rolle. Eine vollumfängliche Prozessüberwachung ist erforderlich, um auch bei hohen Stückzahlen und hoher Taktzeit die Anforderungen erfüllen zu können. Die Elektromobilität ist ein sehr dynamischer Markt der sich ständig weiterentwickelt. Kurze Entwicklungszyklen und nach kurzer Zeit rasch steigende jährliche Stückzahlen stellen zahlreiche Anbieter auf die Probe. Zudem übernehmen immer mehr Automobilhersteller einzelne Produktionsprozesse selbst, sodass die klassische Kette der Zulieferbetriebe mit Tier1-, Tier2-, Tier3-Betrieben aufgebrochen wird.

Im Bereich der Batteriefertigung dominieren aktuell noch asiatische Anbieter den Markt. Unterstützt von der Politik und mit den Lehren aus zweieinhalb Jahren Covid-19-Pandemie mit den einhergehenden Schwierigkeiten in der Lieferkette, findet allmählich ein Umdenken statt. Neben dem Unternehmen Tesla, das auch in diesem Bereich wieder Vorreiter ist und in Grünheide neben Autos auch Batteriezellen fertigt, gibt es derzeit zahlreiche Initiativen, die Batteriefertigung nach Europa zu holen. BMW eröffnet im Herbst östlich von München ein neues Kompetenzzentrum für Batteriezellfertigung, Northvolt möchte in Norddeutschland in Kooperation mit VW sowie in Schweden gemeinsam mit Volvo ein Batteriewerk errichten.

Daimler, Porsche und zahlreiche weitere Unternehmen ziehen nach.

Fazit

Die Transformation in der Automobilindustrie hin zu alternativen Antrieben bietet insbesondere Firmen mit europäischer Produktion zahlreiche Chancen, aber auch Herausforderungen. Die Automobilhersteller sowie ihre Zulieferunternehmen investieren hohe Summen in die Umstellung ihrer Produktionsstandorte – weg vom klassischen Antriebsstrang und hin zur Fertigung von Elektromotoren und Batterien. Dabei kommen zahlreiche Dosieranwendungen zum Einsatz. Um erfolgreich zu sein, kommt es auf die richtige Mischung von langjähriger Erfahrung und Innovationsfreude sowie die Fähigkeit an, schnell auf aktuelle Entwicklungen reagieren zu können. Eine enge Kooperation zwischen Kunde, Materialproduzent und Dosiertechnikhersteller ist der Schlüssel zum Erfolg. //

Das Autorenteam

Carolin Gachstetter

- korrespondierende Autorin -
(carolin.gachstetter@bdtronic.de)

Markus Rieger

Andreas Olkus

Frank Verduyts

bdtronic
Weikersheim