Optimierung der elektrostatisch unterstützten Lackierung

Einleitung

Die Elektrostatik in der Lackapplikation stellt eine zentrale Methode zur Effizienzsteigerung in der Spritzlackierung dar. Sie ermöglicht es, Lacktröpfchen effizient auf Bauteilen zu lenken, wodurch die Verluste an Material reduziert und der Energieaufwand minimiert werden. Obwohl der elektrostatische Lackierprozess seit Jahrzehnten bekannt ist, besteht immer noch eine Wissenslücke hinsichtlich der detaillierten physikalischen Prozesse, die bei der Tropfenaufladung und -übertragung beteiligt sind. Dieses Whitepaper fasst die Ergebnisse eines mehrjährigen Forschungsprojekts zusammen, in dem die komplexen Interaktionen von elektrostatischen Feldern, Lackmaterialien und Zerstäubungsprozessen untersucht wurden. Ziel des Projekts war es, den Auftragswirkungsgrad deutlich zu erhöhen, Lackverluste zu minimieren und gleichzeitig Anlagenverschmutzungen durch Lacknebel zu reduzieren.

Hintergrund und Ziele

Die Hauptfunktion der Elektrostatik im Lackierprozess besteht darin, den Wirkungsgrad zu verbessern. Durch die gezielte elektrostatische Aufladung der Lacktröpfchen soll sichergestellt werden, dass ein größerer Teil des zerstäubten Lacks auf dem Werkstück landet, während die Verluste durch Lacknebel reduziert werden. Insbesondere in Anwendungen, bei denen hochwertige oder kostenintensive Lacke verwendet werden, ist dies von großer Bedeutung.

Das zentrale Ziel des Projekts war es, ein tieferes Verständnis der Mechanismen zu entwickeln, die die elektrostatische Aufladung und Übertragung der Lacktröpfchen beeinflussen. Dabei wurden sowohl experimentelle Untersuchungen als auch numerische Simulationen eingesetzt, um die verschiedenen Einflussgrößen zu analysieren und letztlich den Lackierprozess effizienter zu gestalten.

Verwendete Technologien und Methoden

Das Forschungsprojekt umfasste eine umfassende Untersuchung des elektrostatischen Lackierprozesses unter Verwendung eines Hochrotationszerstäubers. Dieser Zerstäuber, bei dem der Lack über eine sich schnell drehende Glocke zerstäubt wird, stellt einen der am häufigsten verwendeten Applikatoren in der Automobil-Industrie dar. Die Lackzerstäubung erfolgt hier mechanisch durch die Rotationsbewegung der Glocke, während die elektrostatische Aufladung dafür sorgt, dass die Tröpfchen besser auf das zu lackierende Objekt geleitet werden.

Zusätzlich zu praktischen Versuchen wurden detaillierte numerische Simulationen durchgeführt, um die physikalischen Prozesse, die während der Aufladung der Lacktröpfchen auftreten, besser zu verstehen. Die Simulationen konzentrierten sich vor allem auf die Untersuchung der Tropfenaufladung und die Wechselwirkungen zwischen den Materialeigenschaften der Lacke und den elektrostatischen Feldern, die in der Umgebung des Zerstäubers auftreten. Ziel war es, die Mechanismen hinter der Tropfenaufladung vollständig zu verstehen und Parameter wie die Leitfähigkeit und Permittivität der Lacke systematisch zu erfassen.

Ergebnisse der Experimente

Die experimentellen Untersuchungen zeigten, dass der Strom, der während des Lackierprozesses fließt, in direkter Relation zur angelegten Hochspannung steht. Dies ist insofern nicht überraschend, als dass höhere Spannungen zu stärkeren elektrischen Feldern führen, die den Ladungstransfer auf die Lacktröpfchen begünstigen. Ebenso zeigte sich, dass der Lackierabstand, also die Distanz zwischen dem Zerstäuber und dem Werkstück, eine entscheidende Rolle für den Aufladeprozess spielt. Hier wurde ein Eins-durch-Abstand-Gesetz festgestellt, das verdeutlicht, dass der Ladungstransfer proportional zum inversen Abstand verläuft.

Eine der größten Überraschungen in den Experimenten war die Tatsache, dass die Lackmenge und die Drehzahl des Zerstäubers nur einen geringen Einfluss auf den Ladungstransfer hatten. Obwohl die Menge des aufgetragenen Lacks deutlich erhöht wurde, blieb die Ladungsmenge nahezu konstant. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die elektrische Ladung über die Oberfläche des Lackfilms auf der Hochrotationsglocke übertragen wird, so dass eine dickere Schicht auf der Glockenoberfläche nicht zu mehr Ladung führt.

Simulationen und ihre Bedeutung

Neben den experimentellen Untersuchungen spielten numerische Simulationen eine entscheidende Rolle in diesem Forschungsprojekt. Ziel der Simulationen war es, die physikalischen Mechanismen hinter der Zerstäubung und der elektrostatischen Aufladung der Lacktröpfchen im Detail zu verstehen. Dazu wurde die gesamte Zerstäubung des Lacks von der Rotationsbewegung der Glocke bis hin zur Tropfenbildung und -aufladung simuliert.

Eine der wichtigsten Erkenntnisse aus den Simulationen war, dass die Ladung der Tröpfchen proportional zu ihrem Volumen ist. Dies widerspricht der bisherigen Annahme, dass die Ladungsverteilung hauptsächlich von der Oberfläche der Tröpfchen abhängt. Diese Erkenntnis hat weitreichende Konsequenzen für die zukünftige Auslegung von Lackieprozessen, da nun klar ist, dass die Volumenverteilung der Tröpfchen eine entscheidende Rolle für die Effizienz des Ladungstransfers spielt.

Die Simulationen zeigten zudem, dass die Aufladung der Tröpfchen fast ausschließlich an der Oberfläche des Lackfilms stattfindet, der über die Glocke fließt. Das bedeutet, dass eine Erhöhung der Farbmenge zwar zu einer dickeren Schicht führt, jedoch nicht automatisch zu einer höheren Ladungsmenge. Dies erklärt, warum die Effizienz des Ladungstransfers bei höheren Lackmengen abnimmt.

Optimierung des Auftragswirkungsgrads

Eines der wichtigsten Ergebnisse des Projekts war die Erkenntnis, dass der Auftragswirkungsgrad durch gezielte Optimierung der Hochspannung signifikant gesteigert werden kann. Durch die Anwendung von Hochspannungen von bis zu 60.000 Volt konnte der Wirkungsgrad von etwa 50 % auf bis zu 90 % erhöht werden. Dies bedeutet, dass nur noch 10 % des Lacks verloren gehen, was zu erheblichen Einsparungen bei Material und Energie führt.

Die Untersuchung der Leitfähigkeit des Lacks zeigte, dass diese ebenfalls eine wichtige Rolle für den Auftragswirkungsgrad spielt. Es stellte sich heraus, dass die Hochspannung erst ab einer bestimmten Leitfähigkeit ihre volle Wirkung entfalten kann. Eine weitere Erhöhung der Leitfähigkeit brachte jedoch keinen zusätzlichen Vorteil, was darauf hindeutet, dass die Leitfähigkeit nur bis zu einem bestimmten Punkt optimiert werden muss.

Praxisnahe Anwendungen und Empfehlungen

Die Ergebnisse des Projekts lassen sich direkt in die Praxis umsetzen. Für die Anwendung in der industriellen Lackierung ergeben sich folgende Empfehlungen:

1. Hochspannungseinsatz optimieren: Die Anwendung von Hochspannungen um 60.000 Volt ist der effektivste Weg, um den Auftragswirkungsgrad zu maximieren. Höhere Spannungen führen zu stärkeren elektrischen Feldern, die die Aufladung und Übertragung der Lacktröpfchen verbessern.

2. Leitfähigkeit des Lacks: Die Leitfähigkeit des Lacks sollte optimiert werden, um sicherzustellen, dass die Hochspannung ihre volle Wirkung entfalten kann. Es ist jedoch nicht notwendig, die Leitfähigkeit über einen bestimmten Mindestwert hinaus zu erhöhen.

3. Lackmenge beachten: Bei hohen Lackauftragsmengen nimmt die Effizienz des elektrostatischen Prozesses ab. Daher sollte die Lackmenge sorgfältig angepasst werden, um optimale Ergebnisse zu erzielen.

Zusammenfassung und Ausblick

Das Forschungsprojekt zur Optimierung der elektrostatischen Lackierung hat gezeigt, dass durch eine gezielte Anpassung der Hochspannung und der Materialeigenschaften signifikante Verbesserungen erzielt werden können. Die experimentellen Daten und

numerischen Simulationen haben neue Erkenntnisse über die physikalischen Prozesse der Tropfenaufladung geliefert.

Danksagung

Dieses Forschungsprojekt wurde durch die Unterstützung der AIF, des BMWK sowie der Forschungsvereinigung DFO und FPL ermöglicht. Unser besonderer Dank gilt allen beteiligten Institutionen, die die Durchführung dieses Projekts ermöglicht haben.