

## EINE NEUE KORONA-STATION FÜR DEN KABELDRUCK

Die Behandlung von Polyethylen- und Polytetrafluorethylen-Kabel mit dem Plasma atmosphärischer Korona-Entladungen direkt vor der Druckstation ist eine industriell weit verbreitete Methode zur Verbesserung der Haftung einer Bedruckung. Mit der neuen Korona-Station von TIGRES erfolgt diese Behandlung besonders schonend, da über die Isolation des Kabels keine elektrische Spannung abfällt. Mit der vorgestellten neuen Station können auch metallfreie Schläuche und optische Kabel behandelt werden.

### Gute Farbhftung erfordert gute Benetzbarkeit

Aus dem Alltagsleben ist unterschiedliches Verhalten von Flüssigkeiten auf festen Unterlagen bekannt. So perlt Wasser von fettigen Oberflächen ab, während es auf sauberen (=fettfreien) Metallflächen einen geschlossenen Film bildet. Zu den wasserabstoßenden Stoffen gehören alle Fette, Wachse und insbesondere auch die Kunststoffe, die zur Kabelisolation verwendet werden. Zwar netzen auf Lösungsmittel basierende Druckfarben und Tinten im Allgemeinen deutlich besser als Wasser, jedoch reicht ihre Benetzungsfähigkeit nur für polare Kunststoffe wie PVC und nicht für unpolare Werkstoffe wie Polyethylen (PE) und Polytetrafluorethylen (PTFE) aus. Wenn eine Tinte schon im flüssigen Zustand von der Druckunterlage abperlt, ist auch für die getrocknete Bedruckung keine Haftung zu erwarten.

Netzung kann physikalisch mit den Oberflächenspannungen resp. Oberflächenenergien der Flüssigkeit als auch des festen Substrates eindeutig beschrieben werden. Für die Praxis des Druckens ist folgende Faustregel von Bedeutung:

*Ein Bedruckstoff wird von einer Flüssigkeit benetzt, wenn seine Oberflächenenergie die Oberflächenspannung der Flüssigkeit übersteigt.*

Unterlagen mit zunehmender Oberflächenenergie werden immer besser benetzt, so dass für das Drucken eine möglichst große Oberflächenenergie der Bedruckstoffe angestrebt wird. Bei den Flüssigkeiten ist es genau umgekehrt: sie netzen umso besser, je geringer ihre Oberflächenspannung ist. Wasser weist mit 72 mN/m eine größere Oberflächenenergie auf als alle Lösungsmittel, Lacke und Tinten (38 mN/m), netzen also am schlechtesten. Reine Polyolefine wie z.B. PE haben Oberflächenenergien von 30-32 mN/m. Durch Fluorierung der Kohlenstoff-Ketten nimmt die Oberflächenenergie mit zunehmendem Fluor-Gehalt bis auf 18 mN/m (PTFE) ab. Die niedrigste Oberflächenenergie haben Silizium-haltige Substanzen (14 mN/m für PDMS. Werden in der C-H-Kettenstruktur des PE polare Gruppen hinzugefügt, steigt die Oberflächenenergie an. Im PVC sind soviel Chlor-Atome enthalten, dass PVC (39 mN/m) mit üblichen Druckfarben direkt bedruckbar ist. Die Wirkung einer Vorbehandlung mit einer Korona-Entladung an Luft beruht darauf, dass die Oberfläche des Kunststoffes in dem Plasma der Luft von den dort gebildeten Sauerstoff-Radikalen oxidiert wird. Die gebildeten Hydroxyl- (OH-) und Keto- (=O) Gruppen bilden Angriffspunkte für chemische

## Eine neue Korona-Station für den Kabeldruck

Reaktionen zwischen der Tinte und dem Substrat. Dies führt zu einer erhöhten Oberflächenenergie und verbesserten Haftung des Druckes.

Bei dieser Betrachtung ist zu beachten, dass für Netzung und Haftung der Druckfarben die chemische Zusammensetzung der allerersten Schichten des Bedruckstoffes ausschlaggebend ist. Kunststoffoberflächen werden häufig von Schichten maskiert, die von Additiven, die sich an der Oberfläche angereichert haben, gebildet werden. Diese täuschen dann ein untypisches Verhalten vor. Mit Hilfe der Oberflächenenergie lässt sich sehr anschaulich die Wirkung von Silikon-Ölen beschreiben: Silikon-Öl hat die geringste Oberflächenenergie aller Stoffe: Es netzt sogar so gut, dass es auf alle Unterlagen spreitet. Als Sprühöl in ein verhartetes Kugellager eingebracht, kriecht es auf allen metallischen Oberflächen und kann Verkrustungen lösen. Gelangt es auf einen zu bedruckenden Kunststoff, bildet ein sehr kleiner Tropfen aufgrund der hervorragenden Spreitfähigkeit einen großen Fleck. Dieser kann aber mit Lösungsmittel nicht entfernt werden, da die höhere Oberflächenspannung der Lösungsmittel eine Netzung auf der niederenergetischen silikonisierten Oberfläche nicht erlaubt. Eine Bedruckung kann hier nicht haften. Auch mit einer Korona-Behandlung sind diese silikonisierten Bereiche nicht leicht zu entfernen.

### Oberflächenenergien mit dem Plasma atmosphärischer Korona-Entladungen erhöhen

Wenn die Oberflächenenergie eines Kunststoffes für einen haftesten Druck nicht ausreicht, kann sie sehr bequem, sparsam und ökologisch unbedenklich mittels einer Behandlung mit dem Plasma einer atmosphärischen Korona-Entladung direkt vor der Druckstation vergrößert werden. Das Plasma wird elektrisch in einer Entladung erzeugt. Hierzu werden zwei Elektroden mit einer so hohen elektrischen Spannung beaufschlagt, dass zwischen den Elektroden elektrische Überschläge auftreten. Die Parameter der Entladung müssen so eingestellt sein, dass sich eine sogenannte Korona-Entladung einstellt. Heiße Kurzschlussfunken müssen sicher vermieden werden, damit eine Schädigung der thermischen empfindlichen Substrate verhindert wird.

Wird der Gasdruck im Entladungsraum zwischen den Elektroden mit einer Vakuumpumpe verringert, treten stabile, sehr elegant kontrollierbare Entladungen auch bei großen Elektrodenabständen schon bei relativ geringen Spannungen von ca. 1000 V oder weniger auf. Da zur Aufrechterhaltung des Vakuums ein geschlossener Reaktor notwendig ist, kann gleichzeitig die chemische Zusammensetzung des Plasmas ohne großen Aufwand eingestellt werden. Diese verfahrenstechnischen Möglichkeiten der gezielten Steuerung des Plasmas sind die Grundlage für die weite Verbreitung der Niederdruck-Plasma-Technologie in vielen industriellen Bereichen.

Für die Behandlung kontinuierlich laufender Kabel ist die Aufrechterhaltung einer Niederdruck-Entladung viel zu aufwändig. Für die „in-line“-Kabelbehandlung haben sich atmosphärische Korona-Entladungen durchgesetzt. Diese Entladungen finden an Luft bei Atmosphärendruck statt, so dass sich offene Stationen ohne Druckschleusen realisieren lassen. Im Prinzip lässt sich auch hier die chemische Zusammensetzung der

Entladungsumgebung einstellen, in der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass für die meisten Anwendungen „Luft“ die ideale Entladungsumgebung bildet. Da bei Atmosphärendruck die Entladung schlechter als bei reduzierten Drücken zündet, sind hier Elektrodenabstände von nur wenigen Millimetern und hohe Zündspannungen von etwa 10 kV notwendig. Allerdings muss sehr sorgfältig die Bildung von (heißen) Kurzschlussfunken vermieden werden. Dies wird durch eine geeignete elektrische Ansteuerung der Entladung im Mittelfrequenzbereich erreicht. Die Korona-Technologie hat sich in den letzten 40 Jahren als ein fester Bestandteil der kunststoffverarbeitenden Industrie – vor allem im Folienbereich - etablieren können.

Das Plasma der Korona-Entladung an Luft ist stark oxidierend. Es entfernt bei moderaten Temperaturen in einer kalten Verbrennung störende dünne Schichten von den Oberflächen eingebrachter Substrate und oxidiert Kunststoffe bis in eine Tiefe von typischerweise fünf Atomlagen. Diese Modifikation erfolgt bei Kabel – auch bei Geschwindigkeiten über 1000 m/min – ohne jede Änderung der elektrischen, mechanischen oder optischen Eigenschaften. Z.B. können behandelte Kabel visuell nicht von unbehandelten Kabeln unterschieden werden.

Da das Ausmaß der Erhöhung der Oberflächenenergie vom Grad der Oxidation abhängt, kann das Ergebnis der Korona-Behandlung – im Prinzip – sehr genau eingestellt werden. Für den Kabeldruck ist diese Eigenschaft der Korona-Behandlung jedoch nicht relevant, da hier ein Zuviel nicht schädlich ist.

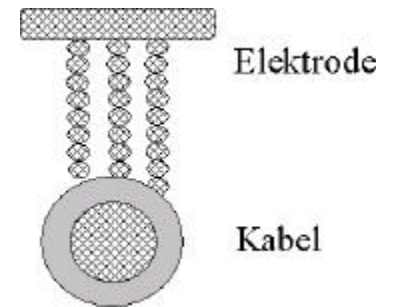
Die benötigte Größe einer Korona-Station hängt von der elektrischen Leistung ab, die zur Erzielung der notwendigen Oberflächenenergie benötigt wird. Die Leistung hängt wiederum von der Geschwindigkeit des Kabels und von der Art des Kunststoffes der Isolation ab. Für ein schwierig zu behandelndes Kabel, z.B. mit einer Fluor-haltigen Isolation, muss im Vergleich zu einer olefinischen Isolation entweder die Kabelgeschwindigkeit reduziert, oder es muss mit einer größeren Station gearbeitet werden. TIGRES bietet Korona-Stationen in den Baulängen 200 mm, 400 mm und 600 mm und deckt somit alle Anwendungen ab.

Die Wirkung der Korona-Behandlung kann lange anhalten. Es ist aber sinnvoll, die saubere, aktivierte Oberfläche vor jeglicher Verunreinigung und Reibung, die bei mechanischer Beanspruchung des Kabels auftreten, zu schützen. Um eine hohe Zuverlässigkeit der Vorbehandlung zu erhalten, wird eine “in-line” Behandlung direkt vor der Druckstation empfohlen. Alle Rollen zwischen der Korona-Station und dem Drucker müssen sauber sein und dürfen nicht auf dem Kabel reiben.

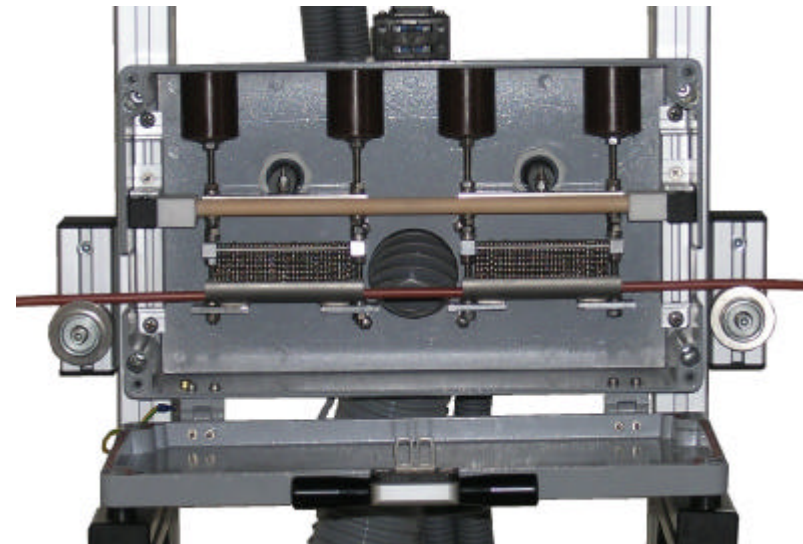
#### **Metallische Elektroden gegen keramische Elektroden**

Zur Ausbildung einer Korona-Entladung ohne die Bildung der störenden heißen Funken ist es notwendig, dass mindestens eine der beiden Entladungs-Elektroden mit einer dielektrischen Barriere beschichtet ist. Diese Barriere begrenzt den elektrischen Strom und verhindert die heißen Funken. Da die Kabelisolation selbst ein wirkungsvolles Dielektrikum ist, können die Elektroden als Vorhang flexibler metallischer Ketten ausgebildet werden, sofern die Kabelisolation hinreichend dick ist und der anstehenden Spannung von 9 kV widerstehen. Diese Ketten reagieren flexibel auf alle Bewegungen des Kabels und ermöglichen eine kleinstmögliche Betriebsspannung der Entladung, da die Weite des Entladungspaltes gering

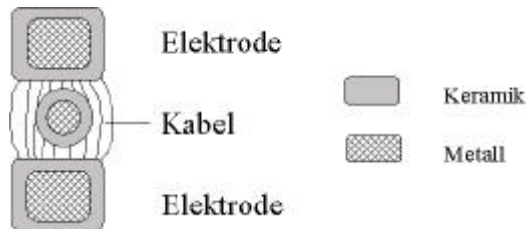
ist, wenn die Ketten das Kabel berühren. Die Kettenelektroden werden paarweise eingesetzt, so dass in dem Kabel außerhalb der Station keine signifikanten elektrischen Ströme und Spannungen auftreten. Es ist auch nicht notwendig, die Ader oder die Adern des Kabels elektrisch zu erden.



In dem hier beschriebenen Korona-System der Behandlung von Kabel mit metallischen Elektroden sind die zu behandelnden Kabel aktives Element der elektrischen Ansteuerung der Entladung, da die elektrische Impedanz dieser Anordnung vom Kabeldurchmesser und Dicke und Art der Isolation abhängt. Die Korona-Station muss sich automatisch bei Kabelwechsel auf die sich ändernden Impedanzen einstellen und die Entladungsparameter nachregeln. Gleichzeitig muss die Station Schwachstellen in der Isolation erkennen. Diese Schwachstellen führen zu einer lokalen Stromerhöhung der Entladung, die mit einer erhöhten lokalen thermischen Belastung des Kunststoffes verbunden ist. In der Regel erkennt das Versorgungsgerät eine plötzliche Stromerhöhung, so dass bei Auftreten von Isolationsfehlern die Leistung innerhalb von Mikrosekunden automatisch reduziert wird. Mit dieser Regelung lässt sich die Vergrößerung von Pinholes sicher vermeiden, aber prinzipiell wird jede Schwachstelle erst einmal belastet. Erfahrungsgemäß sollte für die Korona-Behandlung mit metallischen Elektroden die Dicke der Isolierung mindestens 0,5... 0,7 mm betragen.



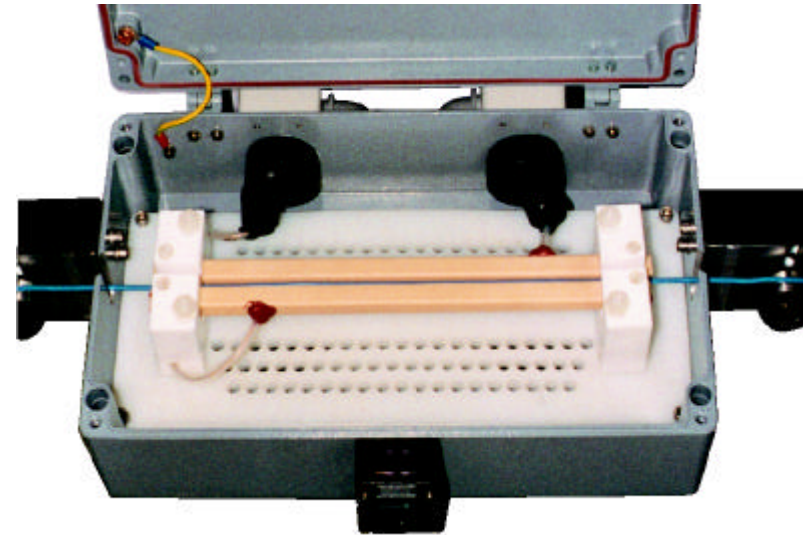
Bei einer Behandlung mit zwei parallelen keramischen Elektroden wird eine elektrische Belastung der Kabel-Isolierung prinzipiell vermieden, so dass auch Kabel mit dünnster Isolation behandelt werden können. Die Entladung brennt zwischen den beiden Elektroden und erzeugt im Entladungsspalt das Plasma. Die Entladung brennt unabhängig vom zu behandelnden Kabel, so dass eine Justage nicht notwendig ist, wenn Kabel mit einem anderen Durchmesser oder mit einem anderen Isoliermaterial behandelt werden sollen. Die Strombegrenzung durch die dielektrische Barriere der keramischen Elektroden-Beschichtung verhindert lokale Stromkonzentrationen und somit das Einbrennen von Löchern sogar in dünnste Isolierungen. Die keramischen Elektroden ermöglichen auch die Behandlung unbeschichteter Drähte, so dass keine Probleme auftreten, wenn beim Start des Extruders unbeschichtete Stellen durch die Station laufen. Auch können mit dieser Anordnung metallfreie Kunststoff-Schläuche, Kunststoff-Fäden, optische Kabel und Metall-Drähte (auch im Wechsel) behandelt werden.



Eine derartige Vorrichtung ist die Station-SKD-2,5<sup>2</sup> von TIGRES, mit der alle Kabel mit einem Durchmesser bis zu 4,0 mm (=2,5<sup>2</sup>) allseitig behandelt werden. Aufgrund ihrer Vielseitigkeit wird die Korona-Station-SKD-2,5<sup>2</sup> in Extruder-Linien, in Umwickelstationen und in Konfektionierungseinrichtungen auch im Wechsel eingesetzt. Da die Kabel von allen Seiten behandelt werden, ist die Anlage – im Wechsel - sowohl mit Ink-Jet- als auch mit Offset-Druckern verwendbar. Häufig wird die Station SKD-2,5<sup>2</sup> für die Behandlung von Kabel mit fluorhaltiger Isolation eingesetzt, da in diesem Bereich die dünnen Kabel auch nur sehr dünne Isolierungen besitzen. Neben der Behandlung von Kabel gibt es auch Anwendungen bei Schläuchen, (Angel-) Schnüren, Glasfaser Kabel und Kunststoffbändern.

#### Die neue Station SKD-7

Die neue Station SKD-7 ist eine Weiterentwicklung der bewährten Station SKD-2,5<sup>2</sup> für Durchmesser bis ca. 7 mm. Bei Vergrößerung des Elektrodenabstandes nimmt der Energieinhalt der Einzelfunken in der Entladung zu, und das Plasma wird unerwünschterweise heißer. Die Keramik-Umhüllung wirkt zwar als dielektrische Barriere und begrenzt den lokalen Strom, jedoch reicht diese Strombegrenzung bei Elektrodenabständen oberhalb 5 mm nicht mehr aus. Bei der Neuentwicklung von TIGRES wurde die notwendige zusätzliche Strombegrenzung auf elektronischem Wege, durch geeignete Modulation der erregenden Hochspannung erreicht. Das Korona-Werkzeug hat somit nur eine geringe Modifikation – nämlich eine Vergrößerung des Elektrodenabstandes – erfahren, während das Versorgungsgerät mit einer zusätzlichen Modifikation – der Lichtbogenunterdrückung – versehen wurde. Das Gebläse, mit dem die Elektroden gekühlt und das Ozon entfernt wird, blieb bei dieser Weiterentwicklung unverändert.



#### Die Wahl der richtigen Korona-Station

Die Korona-Technologie lässt sich auf eine Vielzahl von Produkten anwenden, jedoch sind ihrer Flexibilität physikalische Grenzen gesetzt. Mit der neuen Station SKD-7 wird eine neue Station vorgestellt, mit der alle Kabel, Schläuche und ähnliches bis zu einem Durchmesser von 7 mm allseitig behandelt werden können. Natürlich können mit anderen Stationen auch dickere Kabel oder Schläuche behandelt werden, aber diese Stationen sind in der Regel nicht so vielseitig wie die Station SKD-7 und eignen sich eher für Produktionslinien mit geringerer Produktionsvielfalt.

#### Kontakt:

Dr. Gerstenberg, TIGRES GmbH, Mühlenstraße 12, D-25462 Rellingen *bei Hamburg*,  
T 04101 - 7778 - 88, gerstenberg@tigres.de, www.tigres.de