

Runde Sache

Rotationsplasma sichert Haftung von UV-Digitaldruck auf Freiformobjekten

Vom Nutzen rotierender Plasmastrahlen profitierte ein führender Druckmaschinenhersteller bei der Entwicklung einer Weltneuheit. Vor dem individuellen Bedrucken werden dabei dreidimensionale Gegenstände im Drucksystem mit Atmosphärendruckplasma vorbehandelt.

Das gelbliche Plasma (rechts und links des violetten Lichtbogens) tritt aus der mit hoher Geschwindigkeit rotierenden Plasmadüse aus. Es reinigt und aktiviert den Kunststoff auf der zu bedruckenden Äquatorlinie (© Heidelberger Druckmaschinen)



Die Hülle ist die meistbeanspruchte Komponente eines Balls und ihre Aufdrucke sollen lange halten. Bei modernen Fußbällen ist sie aus mehreren Schichten oder Schalen aufgebaut und besteht beispielsweise aus einem Kunststofflaminat, das sich aus einer segmentierten Außenhülle mit Fünf- oder Sechsecken, einer Schaumgummi-, einer Latex- und einer Textilschicht zusammensetzt. Sie werden miteinander verklebt oder verpresst und gemeinsam auf der Gummibläse aufgebracht. Vor dem Vernähen der ausgestanzten Segmente der Außenhülle wird der Kunststoff in noch flachem Zustand mit grafischen Elementen zumeist im Siebdruck bedruckt oder durch laminierte Folien optisch gestaltet. Ein aufgespritzter klarer Kunststoff-Schutzfilm sichert meist als äußerste Schicht die Haftung des Aufdrucks und verhindert den Abrieb der Druckfarben.

Individuell gestaltetes Massenprodukt

Im Digitalzeitalter kann die ehrwürdige Kugel nun als Massenprodukt durch eine personalisierte Bedruckung zum individuellen Objekt der Begierde werden. Bei der Heidelberger Druckmaschinen AG („Heidelberg“) entstand die Idee, ein Drucksystem zu entwickeln, mit dem sich erstmals runde und freigeformte Einzelobjekte im UV-Inkjet-Digitaldruck innerhalb von Minuten individuell dekorieren lassen. Zwar gab es bereits Drucker für flache oder zylinderförmige Objekte wie Dosen und Flaschen, aber runde Objekte ließen sich bis dahin nur im Rundsieb- oder Tamponverfahren bedrucken oder mit Folien laminieren – altbewährte Verfahren, die für hohe Stückzahlen Standard sind, für kleine Mengen und Einzelstücke jedoch ungeeignet: Die Rüstzeiten wären zu hoch, Produktions- und Trocknungszeiten zu

Bild 1. „4D“-Druckverfahren: Die UV-Digitaldruckmaschine Omnifire 250 mit integriertem Plasmasystem dekoriert dreidimensionale Einzelstücke bis zu 300 mm Durchmesser auf Knopfdruck
(© Heidelberger Druckmaschinen)



Bild 2. Vierfarbiger UV-Inkjet-Digitaldruck: Ein energiesparendes UV-LED-System sorgt für die sekundenschnelle Aushärtung der Tinten in der Omnifire (© Heidelberger Druckmaschinen)

lang, Handling und Logistik unwirtschaftlich und die Herstellung von Filmen, Schablonen und Klischees zu teuer. Zusätzlich werden zur Vorbehandlung der zu bedruckenden Körper häufig wenig umweltfreundliche, lösemittelhaltige Primer eingesetzt.

Beim „4D“-Druckverfahren von Heidelberg (**Bild 1**) vermisst ein Laser-Ultraschallsensor das von einem Saugnapf gehaltene Objekt. Mithilfe dieser Daten positioniert eine 4-Achs-Robotik-Steuerung das Objekt so, dass vollautomatisch an genau definierten Stellen zunächst die Oberflächenvorbehandlung, anschließend der Drop-on-demand-Inkjetauftrag, dann das Pinning (Zwischenhärtung der einzelnen Farben) sowie die UV-Schlusshärtung erfolgen (**Bild 2**).

Eine Frage der Vorbehandlung

Wenn sich Kunststoffe trotz sauberer Oberfläche schlecht bzw. gar nicht bedrucken, verkleben oder beschichten lassen, so liegt der Grund meist in ihrer zu geringen Oberflächenenergie. Sie ist das wichtigste Maß für die Beurteilung der voraussichtlichen Benetzbarkeit. Eine homogene Benetzung und der daraus resultierende gleichmäßige Farbverlauf sowie eine gute Haftung setzen voraus, dass zum einen die Materialoberfläche feinstgereinigt ist, zum anderen die Oberflächenenergie des Festkörpers größer als die Oberflächenspannung der flüssigen Beschichtung ist, sei es eine Druckfarbe, ein Klebstoff oder ein Lack.

Im Gegensatz zu wässrigen und lösemittelhaltigen Tinten, die zeitaufwendig an der Luft trocknen, wo also erst Flüssigkeit verdampfen muss, setzt bei einer UV-härtenden Tinte auf Acrylatbasis sofort nach der Bestrahlung mit ultraviolettem Licht die Vernetzung bzw. Polymerisation ein. Produkte lassen sich dank der sekundenschnell zu einer festen Schicht aushärtenden Tinte sofort nutzen oder weiterverarbeiten. Gerade ein Fußball muss ein mechanisch hoch beanspruchbares Druckbild aufweisen. Die PUR-Außenschicht muss deshalb für eine stabile Haftung der UV-Tinten vorbehandelt werden, da der UV-Aufdruck keinen zusätzlichen Schutzfilm (etwa einen Klarlack) mehr erhält.

Eine Coronavorbehandlung lässt sich nicht universell für alle Substrate einsetzen und wurde vor allem für 2D-Anwendungen entwickelt, sodass diese Methode ausschied. Der integrierte Einsatz einer Nano-Flamme wäre zwar möglich, aber auch mit einem stark erhöhten Sicherheitsaufwand (z. B. Explosionsschutz) verbunden. Auch eine Vorbehandlung im Niederdruckplasma war keine Option, da eine solche Anlage nicht in die Maschine hätte eingebaut werden können und der verringerte Außendruck den Ball ausgedehnt hätte. Technisch sprach nichts »



Bild 3. In zweieinhalb Minuten personalisiert: Das plasmabehandelte Balleristo-Sortiment umfasst inzwischen praktisch alle Sportballarten, aber auch Trinkflaschen, Schienbeinschoner und andere nicht runde Objekte (© balleristo.eu)

dagegen, ein nass-chemisches Verfahren in das Drucksystem zu integrieren, doch sollte es Fällen vorbehalten bleiben, in denen andere Verfahren zu geringe Haftung garantieren. Die Entscheidung fiel schließlich für die Atmosphärendruckplasmatechnik der Plasmatrete GmbH, deren Zuverlässigkeit dem Maschinenbauer durch eine 10 Jahre zuvor erworbene und noch immer laufende Laboranlage bereits bekannt war.

Rotierende Plasmadüsen

Soll die Druckanlage eine Banderole auf die Äquatorlinie eines Balls drucken, muss er sich während des gesamten Vorbehand-

Atmosphärendruckplasma

Das heute in praktisch allen Industriezweigen weltweit genutzte Openair-Plasma-Verfahren ist ein trockener Prozess, der sich durch die Doppelwirkung von mikrofeiner Reinigung und simultaner Aktivierung auszeichnet. Das Plasma wird von einer atmosphärischen Hochspannungsentladung im Inneren der Düse generiert und mittels Luftströmung auf die Oberfläche des zu behandelnden Teils transportiert. Trifft das Plasma auf eine Kunststoffoberfläche, so werden dabei sauerstoff- und stickstoffhaltige Gruppierungen in die meist unpolare Polymermatrix eingebaut. Die Plasmaaktivierung bewirkt, dass die Oberflächenenergie ansteigt und das Substrat polar wird. Möglich wird dieser Effekt durch im Plasma vorhandene energiereiche Radikale, Ionen, Atome und Molekülfragmente, die ihre Energie an die Oberfläche des zu behandelnden Materials abgeben und dadurch chemische Reaktionen initiieren. Die entstandenen funktionellen Hydroxyl-, Carbonyl- und Carboxylgruppen (aber auch Sauerstoffverbindungen des Stickstoffs) gehen mit Beschichtungen teils sehr feste chemische Bindungen ein und tragen so zu einer bedeutenden Verbesserung der Haftung bei. Die typischen Erwärmungen von Kunststoffoberflächen während der Behandlung betragen weniger als 30 °C. Der Plasmaeffekt führt zu einer homogenen Benetzbarkeit der Oberfläche – ein wichtiger Aspekt für das Inkjet-Druckverfahren, bei dem Aufprall und Ausbreitung der Tintentropfen auf dem Substrat von entscheidender Bedeutung für das Druckresultat sind. Atmosphärendruckplasma ist umweltfreundlich: Für seinen Betrieb sind allein Druckluft und elektrische Energie nötig; eine Emission von leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffen (Volatile Organic Compounds, VOC) lässt sich so von vorneherein vermeiden.

lungsprozesses um seine eigene Achse drehen. Dafür musste sichergestellt werden, dass der von oben auf die Kunststoffoberfläche auftreffende Plasmastrahl die ebenen Bereiche und die nach außen abfallenden Randbereiche gleichermaßen stark aktiviert. Mit statischen Einzeldüsen, die nur einen relativ kleinen Austrittswinkel haben, wäre die hier erforderliche großflächige Aktivierung nicht möglich. Die Verwendung der patentierten Rotationsdüsen (**Titelbild**) homogenisiert die Aktivierungsintensität jedoch, weil die Rotationsspuren am Rand des Behandlungsfelds überlappen, wo der Abstand zur Fläche etwas größer ist und der Plasmaeintrag einer Düse daher etwas schwächer ausfällt.

In einer dreimonatigen Versuchsphase mit einer Plasmatrete-Mietanlage testete Heidelberg die Wirksamkeit der Plasmavorbehandlung auf unterschiedlichen Werkstoffen. Die Ergebnisse waren eindeutig. Nicht nur die Haftung hatte sich gegenüber unbehandelten Substraten deutlich erhöht, auch insgesamt war die Qualität höher: Schärfe und Farbbrillanz des Druckbilds selbst hatten sich verbessert. Darüber hinaus brachte dieses Plasmaverfahren eine sehr hohe Prozesssicherheit mit sich, die für Heidelberg von größter Bedeutung war.

Druckbild im Praxistest

Die BVD Druck+Verlag AG, Spezialist für Offset-, Digitaldruck und Werbetechnik, war das erste Unternehmen, das das 4D-Druckverfahren für seine Zwecke entdeckte (**Bild 3**). Zunächst mit einer nur schwarz druckenden Anlage, doch seit Januar 2016 mit einer zusätzlichen vierfarbigen Omnifire 250. Bedruckt werden fast ausschließlich Markenfußbälle, bei denen der Hersteller für das im Siebdruck erstellte Druckbild auf dem PUR-Obermaterial einen klaren Schutzfilm aus demselben Material aufgebracht hat. Diese oberste Schicht gilt es nun mit UV-härtenden Tinten zu bedrucken, die nach der Aushärtung von sich aus gut haften müssen, weil sie selbst keinen eigenen Schutzfilm mehr erhalten. „Labortests sind unverzichtbar. Aber ob ein Fußball-Aufdruck der hohen Spielbelastung tatsächlich standhält oder abblättert, zeigt sich letztendlich erst auf dem Platz“, schmunzelt Reto Knecht, Projektleiter Balleristo bei BVD und selbst begeisterter Vereinsfußballer. Zunächst erhielten die PUR- und PVC-Bälle jeweils drei unterschiedlich lange Plasmabehandlungen bei mehr-



Bild 4. Sechs-Achs-Robotik: Die Omnifire 1000 kann Freiformobjekte in beliebiger Geometrie bis zu 1,4 m Länge bedrucken, etwa Eishockeyschläger oder Reisekoffer (© Heidelberger Druckmaschinen)

Bild 5. Personalisiert:
Ein in der Omnifire
1000 bedruckter
Motorradhelm ©
Heidelberger Druckmaschinen)



fachen Ballumdrehungen. Nach dem Druck testete Knecht unter Realbedingungen: zweimal zwei Stunden Balltraining, Elfmeterschießen inklusive. Nur Bälle, deren Druckbild danach mindestens so gut wie das Hersteller-Siebdruckbild war, kamen zum dreimonatigen Spielfeld-Test. Die anschließende optische Prüfung im Labor ergab, dass das UV-Druckbild die vorgegebenen Anforderungen an die Haftung erfüllt hatte.

Plasma auch für große Flächen

Was das 250-er Modell im Kleinen kann, schafft die von Heidelberg im Herbst 2016 präsentierte Omnifire 1000 (**Bild 4**) im Großen. Dank einer Sechs-Achs-Robotik können mit ihr Freiformobjekte in beliebiger Geometrie und aus unterschiedlichen Materialien bis zu 1,4m Länge bedruckt werden. In ihr lassen sich beispielsweise Motorradhelme (**Bild 5**) und Eishockeyschläger aus Kompositwerkstoffen oder Reisekoffer aus Polycarbonat personalisieren. Sie ist aber auch geeignet für industrielle Produktionsprozesse, etwa für Teile der Automobil-Innenausstattung oder für Gepäckablageflächen in Flugzeugen. Sowohl Serien- als auch After-Sales-Teile lassen sich nach einer Reinigung und Aktivierung der Oberfläche durch Openair-Plasma mit individuellen farbigen Dekoren aufwerten. Für große Flächen wird die Plasma-Rotationsdüse so gesteuert, dass die Vorbehandlung bahnenweise verläuft.

Fazit

Die Entscheidung für Atmosphärendruckplasma hat sich für Heidelberg gelohnt, fasst Produktmanager 4D-Printing Ivar Emde zusammen: „Das Rotationsplasma von Plasmatreteat ist für uns ein wesentlicher Baustein, um schnell und effizient auf unterschiedlichsten Materialien eine gute Haftung und Benetzung der Tinte zu erzielen.“ Das trocken arbeitende Verfahren sei prozesssicher und reproduzierbar, die Technik wartungsarm und die Vorbehandlung umweltfreundlich. ■

Materialien für moderne Fußbälle

Rund 3000 Jahre lang dienten Leder und Schweinsblase der Menschheit zum Kicken, doch gegen Ende der 1960er-Jahre begann der große Umschwung: Kunststoffe ersetzen die Außenhülle des Fußballs, Latex- und Butylkautschuk sein luftgefülltes Innenleben. Nachdem mit dem Anpfiff zur Weltmeisterschaft 1986 in Mexiko der erste vollsynthetische Fußball seine Premiere und offizielle Anerkennung feierte, stand einer Massenproduktion der Kunststoffkugel nichts mehr im Wege.

Die Verwendung elastischer Kunststoffe aus weichem Polyvinylchlorid (PVC) und Polyurethan (PUR) machte den Ball nicht nur strapazierfähiger, wasserabweisend, luftdichter und schneller, das neue Material erlaubte auch die großindustrielle Bedruckung. Erstmals gab es nun schneeweiße und bunte Bälle mit Aufdrucken in allen Farben und Mustern. Der Fußball wurde Hingucker und Massenartikel in einem und zu einem Produkt, von dem heute in Asien über 40 Millionen Stück pro Jahr für die Welt gefertigt werden.

Die Autorin

Inès A. Melamies arbeitet als Fachjournalistin.

Ansprechpartner

Ansprechpartner für die in diesem Beitrag vorgestellte Technik sind:

- Peter Langhof, Market Manager bei der Plasmatreteat GmbH in Steinhagen; peter.langhof@plasmatreteat.de
- Ivar Emde, Produktmanager 4D-Printing bei der Heidelberger Druckmaschinen AG in Heidelberg; ivar.emde@heidelberg.com
- Reto Knecht, Projektleiter Balleristo der BVD Druck+Verlag AG in Lichtenstein; reto.knecht@balleristo.com

Service

Digitalversion

- Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/3368963

English Version

- Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com