

CO₂-Strahlen in Maschinen- und Anlagentechnik

S. Motschmann, M. Bilz; Berlin

Das ökonomische Bedürfnis zur Steigerung von Effektivität und Effizienz, neue gesetzliche Vorgaben und steigende Qualitätsanforderungen erfordern moderne Reinigungsverfahren. Suboptimale Reinigungsprozesse stellen für praktisch jedes Unternehmen eine finanzielle Belastung dar. Ein modernes Reinigungsverfahren ist das Strahlen mit festem Kohlenstoffdioxid, das sich in unterschiedlichen Branchen etablieren konnte. Die Wirkung und Einsatzgebiete dieses Verfahrens sowie dessen Vor- und Nachteile im Vergleich zu konventionellen Verfahren werden in diesem Beitrag erläutert.

1 Vorstellung des Verfahrens

Kohlenstoffdioxid (CO₂) ist ein farb- und geruchloses Gas, das unter anderem bei Verbrennungs- und Atemvorgängen entsteht. Charakteristisch ist seine hohe Dichte (2 kg/m³ bei 15 °C), weshalb es in abgeschlossenen Räumen Sauerstoff verdrängen kann. Die öffentliche Wahrnehmung von Kohlenstoffdioxid wird stark durch die Problematik des Treibhauseffekts dominiert. Zwar hat es einen Anteil von etwa 20 % am gesamten und rund 60 % am vom Menschen verursachten Treibhauseffekt, wird aber aufgrund von zahlreichen technischen Vorteilen in vielen industriellen Bereichen oder im Haushalt umweltneutral eingesetzt. Die am Markt erhältlichen Strahlsysteme haben eine neutrale CO₂-Bilanz, da das für sie verwendete CO₂ nicht extra erzeugt wird, sondern als Neben- bzw. Abfallprodukt in der chemischen Industrie und Energiewirtschaft entsteht.

Wie im Phasendiagramm in Bild 1 erkennbar, tritt CO₂ bei Umgebungsdruck in Abhängigkeit von der Temperatur nur als Feststoff oder Gas auf. Da festes Kohlenstoffdioxid beim Umgebungsdruck von 1 bar eine Temperatur von -78,5 °C aufweist und kontinuierlich in Gas übergeht (sublimiert), wird es als Trockeneis bezeichnet.

Beim Strahlen mit CO₂ wird das Strahlmittel beschleunigt und auf die zu bearbeitende Fläche des Strahlguts aufgebracht. Die abtragende Wirkung des Strahlverfahrens beruht auf den in Bild 2 dargestellten drei Effekten:

- einem thermischen Effekt aufgrund der Verpöndung und unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen Verunreinigungen und Substratwerkstoff;

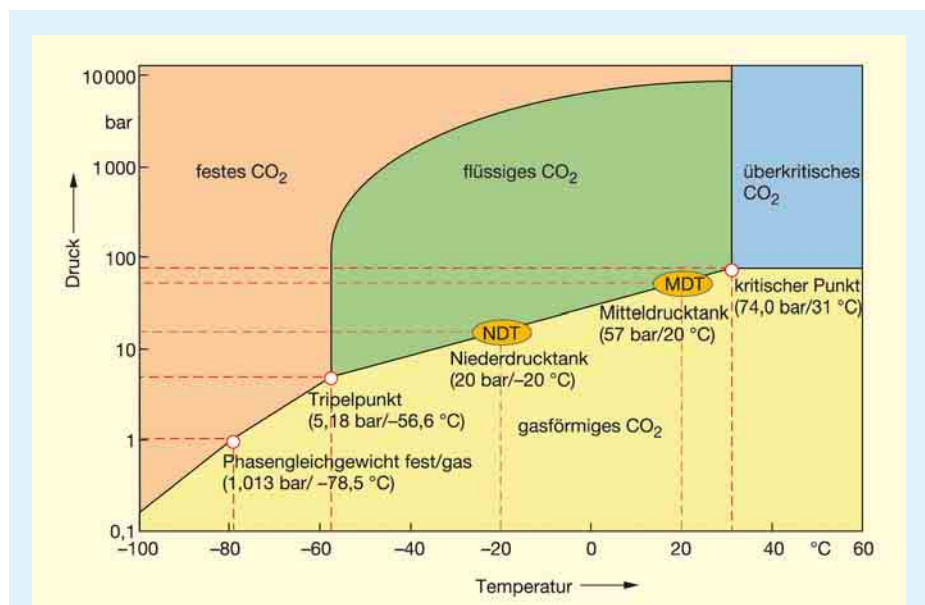
- einem mechanischen Effekt aufgrund des mit hoher Geschwindigkeit auf das Strahlgut auftreffenden Strahlmittels sowie
- einem Sublimationseffekt aufgrund des Druckstoßes durch die schlagartige Volumenvergrößerung beim Phasenübergang des Kohlenstoffdioxids.

Die Unterteilung der Verfahrensvarianten beim Strahlen mit CO₂ ist in Bild 3 dargestellt. Überwiegend erfolgt die Beschleunigung des Strahlmittels mit Druckluft oder einem Schutzgas, wobei zwischen dem Strahlen aus der festen Phase – allgemein als Trockeneisstrahlen bezeichnet – und dem Strahlen aus der flüssigen Phase – dem CO₂-Schneestralen – unterschieden wird. Bei letzterem Verfahren wird das CO₂ unter Druck flüssig in Tanks vorgehalten und dem Druckluftstrahl entweder in einer Agglomerationskammer oder einer Zweistoffringdüse

2 Einsatzgebiete

Kohlenstoffdioxid ist seit langem eines der wichtigsten industriellen Gase. Die für eine Vielzahl von Anwendungen günstigen chemisch-physikalischen Eigenschaften haben dazu geführt, dass CO₂ für immer mehr Bereiche außerhalb der Chemie-, Lebensmittel- und Pharmaindustrie nachgefragt wird.

Das CO₂-Strahlen ist ein trockenes Reinigungsverfahren mit wenig anlagentechnischem Aufwand. Neben dem Einsatz zur Reinigung sensibler Oberflächen wird es aufgrund seiner Rückstandsfreiheit bevorzugt dann eingesetzt, wenn das Vermeiden von Sekundärverunreinigungen durch Stäube – etwa beim Schleifen – oder Reinigungsflüssigkeiten – wie beim Einsatz von Tauchbädern



1 Phasendiagramm von Kohlenstoffdioxid

Trockeneis wird hergestellt, indem flüssiges CO₂ in eine Kolbenkammer expandiert wird, wobei es sich abkühlt und dadurch CO₂-Schneepartikel entstehen. Durch die anschließende Komprimierung der Partikel und Pressen durch eine Matrice entstehen die festen Trockeneispellets.

Autoren

Dipl.-Ing. Simon Motschmann und Dipl.-Ing. (FH), M.Sc. Martin Bilz arbeiten und forschen am Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, Berlin.

– erforderlich ist. Das Trockeneisstrahlen eignet sich zum Entschichten, Entlacken und Reinigen, wohingegen das weniger abrasive CO₂-Schneestrahlen beispielsweise zur Reinigung fein strukturierter, hoch empfindlicher Bauteile der Mikroelektronik und Optik sowie zum selektiven Reinigen von Funktionsflächen vor dem Kleben oder Löten eingesetzt wird. Außerdem kann es für die Vorbehandlung von Kunststoffen vor dem Lackieren und Kleben eingesetzt werden. Die Strahlanlagen bieten zudem den Vorteil, dass sie direkt in Lackieranlagen integriert werden können und bei der Spritzlackierung der gleiche Manipulator wie für die Lackierdüse genutzt werden kann.

3 Vor- und Nachteile

Das Reinigen mit Kohlenstoffdioxid hat eine Vielzahl von Vorteilen. Beim CO₂-Strahlen wird ein ungiftiges, nicht brennbares, nicht leitendes sowie chemisch inertes Strahlmittel eingesetzt. Es sublimiert beim Auftreffen auf die zu reinigende Oberfläche, weshalb kein Reinigungsmedium aufwändig aufbereitet bzw. entsorgt werden muss. Außerdem kann die anschließende Nachbehandlung des Strahlguts – z. B. die Trocknung – entfallen. Nach dem Reinigungsprozess fällt lediglich die entfernte Verunreinigung an. Das gasförmige CO₂ kann als natürlicher Bestandteil der Luft in die Umgebung entlassen werden. Bei vergleichbaren Ergebnissen lassen sich etwa 50–70 % kürzere Bearbeitungszeiten erreichen als bei konventionellen Strahlverfahren [1]. Das CO₂-Strahlen ist selektiv und flexibel hinsichtlich Verunreinigungsart und -dicke. Somit ist durch die geringe Härte des Strahl-

mittels die gezielte Entfernung von Schichten – z. B. keramische Wärmedämmschichten oder aufgetragene Lacke – möglich, ohne das eigentliche Strahlgut zu beschädigen.

Die eingesetzten Strahldüsen lassen sich sowohl manuell als auch durch einen Roboter führen, sodass eine Automatisierung realisierbar ist. Weiterhin ist die einfache Reinigung von empfindlichen oder auch montierten Teilen möglich.

Nachteile des CO₂-Strahlens sind die noch hohen Kosten für das Strahlmittel und je nach Verfahren die Kosten für die Druckluftbereitstellung. Weiterhin entsteht aufgrund der hohen Düsenaustrittsgeschwindigkeit auch ein hoher Lärmpegel und beim Einsatz von Trockeneispellets – wie bei jedem Druckluftstrahlen mit festem Strahlmittel – die Möglichkeit einer elektrostatischen Aufladung. Die Abrasivität des Verfahrens ist begrenzt und kann somit nicht universell zur Reinigung eingesetzt werden. Im Gegensatz zur Reinigung mit flüssigen Medien können keine Hinterschneidungen erreicht werden.

4 Normen, Vorschriften und Gesetze

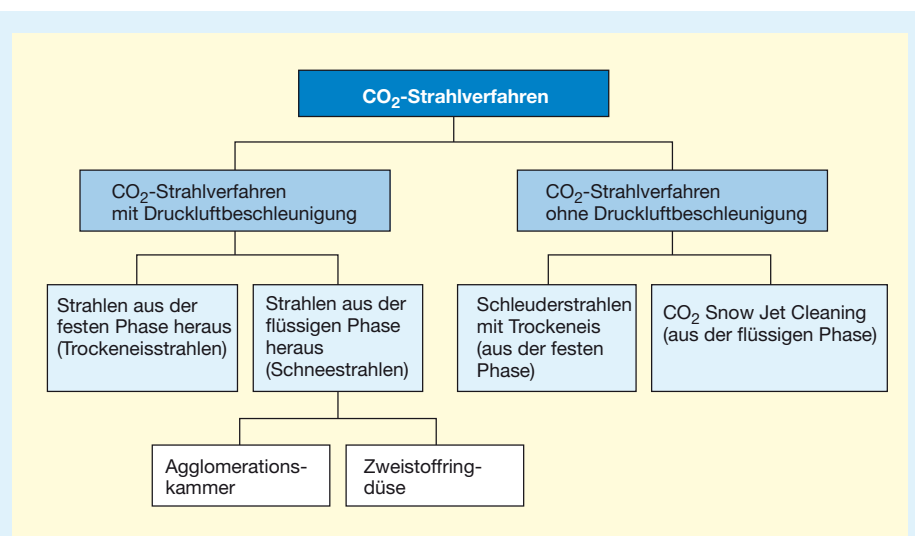
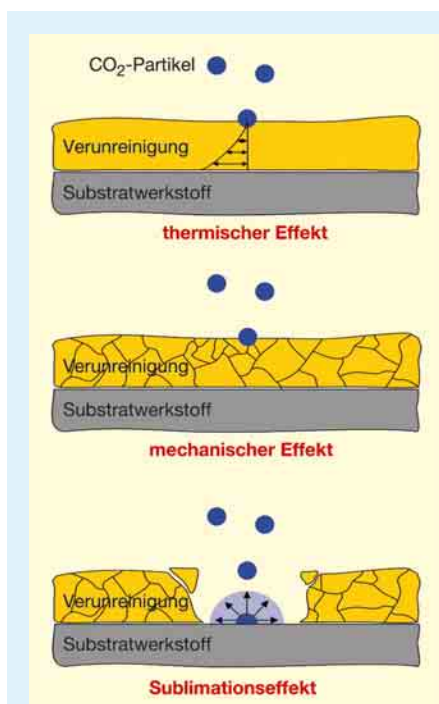
Derzeit existiert keine normative Einteilung des CO₂-Strahlens. Die DIN 8200 zur Strahlverfahrenstechnik wurde vor einigen Jahren zurückgezogen. Auch für das Trockeneis selbst existieren keine einheitlichen Definitionen, sodass dessen Qualität in Abhängigkeit von Alter und Zulieferer schwankt. Beim Strahlen mit CO₂ sind die allgemeinen Strahlrichtlinien zu beachten. Zusätzlich ist der Anlagenbediener aufgrund der niedrigen

Temperatur des Strahlmittels auch im Umgang mit tiefkalten Gasen zu schulen.

5 Umwelt-, Arbeits- und Anlagenschutz

Wie eingangs bereits erwähnt, verdrängt Kohlenstoffdioxid durch seine hohe Dichte Sauerstoff, sodass bei einer zu hohen Konzentration in geschlossenen Räumen die Gesundheit geschädigt wird. Ab einer Anhäufung von rund 5 % CO₂ in der eingeatmeten Luft können Kopfschmerzen und Schwindel auftreten. Bei einer noch höheren Konzentration tritt Bewusstlosigkeit und schließlich der Tod ein. Deshalb ist in abgeschlossenen Räumen eine Absaugung in Kombination mit einem CO₂-Konzentrationsmesser notwendig, sodass der MAK-Wert (MAK, maximale Arbeitsplatzkonzentration) von 0,5 % nicht überschritten wird. Beim Strahlen mit CO₂ – insbesondere beim Einsatz von Druckluft zur Beschleunigung – ist auf den Gehörschutz zu achten, da die bereits erwähnten hohen Düsenaustrittsgeschwindigkeiten einen sehr hohen Lärmpegel erreichen können.

Weiterhin sind durch die Sublimation des Strahlmittels entsprechende Vorsichtsmaßnahmen zum Explosionsschutz zu treffen. So dürfen z. B. keine gasundurchlässigen Behälter zur Aufbewahrung der Trockeneispellets verwendet werden, da sich das Gasvolumen bei Raumtemperatur permanent erhöht. Beim Umgang mit dem Strahlmittel selbst sind Schutzkleidung und Handschuhe zu tragen, da sonst durch die extreme Kälte binnen sehr kurzer Zeit die Gefahr von verbrennungsartigen Schäden an den in Kontakt befindlichen Körperteilen besteht.



3 Einteilung der CO₂-Strahlverfahren

2 Wirkmechanismen beim CO₂-Strahlen

6 Chancen und Grenzen des Trockeneisstrahlens

Dass Kohlenstoffdioxid ein hohes Entwicklungspotential im Bereich der industriellen Reinigungstechnik hat, stellte die „Markt- und Trendanalyse in der industriellen Reinigungstechnik“ der Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik vom Dezember 2007 eindrucksvoll unter Beweis. In einer separaten Befragung von Herstellern und Anwendern industrieller Reinigungstechnik ließen sich durch die Studie fundierte Informationen über wirtschaftliche und technologische Trends in dieser Branche gewinnen. Dabei wurde deutlich, dass sich der technologische Trend bedingt durch die zunehmenden Einschränkungen gesundheits- und umweltbedenklicher Stoffe durch den Gesetzgeber stark in Richtung gesundheitlich unbedenklicher und umweltfreundlicher Reinigungstechnologien verschiebt. Dieser Trend zeichnet sich schon länger in den steigenden Verkaufszahlen von Strahlanlagen ab, da sich CO₂ seit einiger Zeit in unterschiedlichen Branchen als Strahlmittel etabliert hat und immer häufiger Anwendung findet. Auch im Bereich der wässrigen und lösemittelbasierten Reinigungsverfahren, die den Großteil des Marktes ausmachen, ist unter hohem Druck komprimiertes, flüssiges bzw. überkritisches Kohlenstoffdioxid eine vielversprechende Alternative und liegt im Trend der Entwicklung.

7 Forschung zur Eignung in der Elektrotechnik

Eine besondere Herausforderung stellt die Reinigung elektrotechnischer Anlagen dar. Sie muss in regelmäßigen zeitlichen Abständen erfolgen, da durch Verschmutzungen unter anderem die Gefahr von Spannungsüberschlägen ausgeht.

Erforderliche Reinigungsarbeiten im Rahmen der Wartung und Instandhaltung von Maschinen und Anlagen sind oft technisch komplex sowie zeit- und kostenintensiv, da zum Teil lange Produktionsausfälle in Kauf genommen werden müssen. Können aus diesen Gründen elektrische Anlagen nicht freigeschaltet werden, gibt es in Deutschland derzeit drei bewährte Verfahren für die Reinigung unter Spannung: die Trocken-, Feucht- und Nassreinigung. Beim Trockenreinigen werden die Verschmutzungen mit vollisolierten Werkzeugen abgebürstet bzw. abgesaugt, wobei lediglich leicht anhaftende Verschmutzungen entfernt werden können. Für die Feuchtreinigung gibt es z. B. ergänzend steckbare Reinigungsköpfe, die mit einem Schwamm versehen werden können. Bei der Nassreinigung werden beispielsweise nicht leitende, flüssige Reiniger oder Spezialöle auf die zu reinigenden Bauteile aufgebracht und die gelösten Verunreinigungen anschließend abgesaugt oder durch

Putztücher an isolierenden Stangen aufgenommen.

Da die Aufnahme der gelösten Schmutzstoffe meist sehr aufwändig ist und die eingesetzten Reinigungsmittel vielfach umweltbedenklich sind, untersuchte das Fraunhofer IPK (Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik) bis 2005 im Rahmen des Forschungsprojektes ReinSpann CO₂-Strahlverfahren als Möglichkeit der Reinigung unter Spannung [2]. Hierzu wurde mit Anlagenentwicklern und -herstellern, Reinigungsdienstleistern, Forschungseinrichtungen sowie Maschinen- und Anlagenbetreibern aus einer am Markt verfügbaren Trockeneisstrahlanlage ein Prototyp zur Reinigung spannungsführender Anlagen bis 30 kV Nennspannung aufgebaut. Eine besondere Herausforderung an das Reinigungsverfahren stellt die Vielzahl der unterschiedlichen Materialien in elektrotechnischen Anlagen dar. Sie reicht von Metallen über Keramiken bis zu Kunststoffen unterschiedlichster Spezifikationen. Während sich in dem Forschungsprojekt Metalle und Keramiken als sehr resistent gegen abrasive Effekte bei der Bestrahlung mit Trockeneis erwiesen haben, reagierten Kunststoffe empfindlicher und auch sehr unterschiedlich auf das neue Verfahren. Durch eine prototypische Anpassung der Düsenteknik auf die umfangreiche Materialpalette konnte im Projekt eine schädigungsfreie Reinigung sämtlicher Oberflächen erreicht werden.

Um zu verhindern, dass sowohl das zu reinigende Bauteil als auch das Strahlrohr und die Strahldüse abkühlen und somit Umgebungsfeuchte kondensiert, ist der Prototyp eines Strahlrohres entwickelt worden, der doppelwandig ausgeführt und mit einer Druckluftheizung verbunden ist. Somit wurde erstmalig die notwendige Isolierstrecke bis zu einer Nennspannung von 30 kV für das Trockeneisstrahlen realisiert.

Als Fazit ist festzustellen, dass das Forschungsprojekt die prinzipielle Möglichkeit einer Reinigung von spannungsführenden Anlagen mittels Trockeneisstrahlen erfolgreich bestätigen konnte.

Für einen breiten Einsatz in der Praxis liegt es an den beteiligten Projektpartnern, die gewonnenen Erkenntnisse zu verwerten und in entsprechenden Normen bzw. Richtlinien festzuhalten, sodass ein sicherer Einsatz des Verfahrens gewährleistet ist.

Literatur

- [1] Uhlmann, E.; Axmann, B.; Elbing, F.: Reinigen mit Trockeneisstrahlen in der Austauschmotorfertigung. VDI-Z 140 (1998), Nr. 9, S. 70–72.
- [2] Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben ReinSpann – Entwicklung einer ökoeffizienten Reinigungstechnologie für die Instandhaltung spannungsführender Anlagen; ein Verbundprojekt von IPK (Fraunhofer Institut Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, IWF (Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb) der TU (Technische Universität) Berlin und BTU (Brandenburgische Technische Universität) Cottbus.

FLUKE®

VERNETZT!

Das Netbook-Paket

Netbook und Software im Wert von € 900,- inklusive*



Angebot nur gültig von 1.4. - 31.7.2010

*Gleich informieren: www.fluke.de/extra

light+building

Besuchen Sie uns
11. - 16. April 2010
Stand E07 · Halle 8.0

Fluke 1653B
Installationstester für Prüfungen nach aktuellster DIN VDE 0100-600

Fluke 6500
Gerätetester für Prüfungen nach aktuellster DIN VDE 0701-0702

Fluke 1653B

Fluke 6500



Fluke Deutschland GmbH
In den Engematten 14 · 79286 Glotttetal
Tel.: +49 (0) 69 222 22 02 05
Fax: +49 (0) 69 222 22 02 01
E-Mail: info@de.fluke.nl
Internet: www.fluke.de