



Teilerreinigung im Wandel

Immer mehr Branchen müssen die Sauberkeit auf ein neues Level heben – dafür braucht es sowohl neue Ansätze als auch mehr Grundlagenwissen

Hohe Anforderungen hinsichtlich filmischer oder feinstpartikulärer Sauberkeit gehören schon seit längerem zum Alltag der Halbleiter- und optischen Industrie sowie der Medizintechnik. Seit einiger Zeit zeigen sich jedoch klare Tendenzen eines industriellen Strukturwandels mit direkten Auswirkungen auf die Anforderungen an die Bauteil- und Prozesssauberkeit aller Branchen.

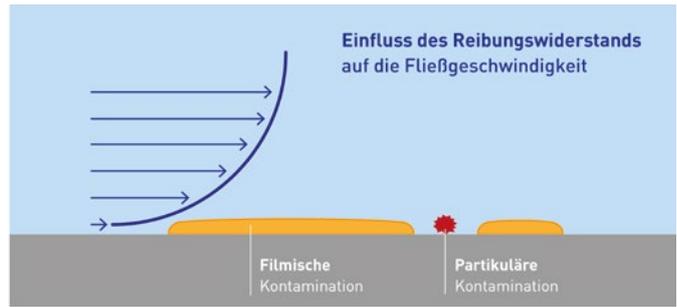
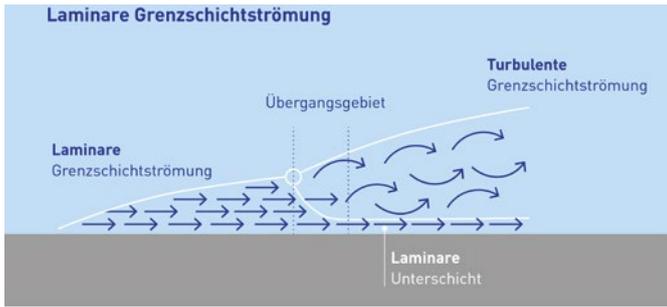
Die Forderung nach validierbarer Bauteilsauberkeit besteht seit vielen Jahren. Die Branche hat sich in den vergangenen zwei Jahrzehnten im Wesentlichen mit den partikulären Verunreinigungen beschäftigt. Gerade jene Bauteile, die in Fluidprozessen zum Einsatz kommen (Antriebsstrang, Hydraulik und ähnliche Anwendungen), standen im Fokus. Auch die Beseitigung von Restorganiken vor Wärmebehandlungs-, Lackier-, Klebe- und Beschichtungsprozessen waren von Relevanz. Doch nicht

nur die Automobilindustrie hat durch die neuen Mobilitätskonzepte (Antriebstechnik, Connectivity und autonomes Fahren) veränderte Anforderungen an die Produkt- und Prozessqualität. Auch klassische HighPurity-Branchen stecken im Wandel. Die Medizintechnik stellt sich auf neue Regularien bei der Herstellung von Medizingeräten (MDR 2020) und veränderte Aufgabenstellungen durch neue Fertigungsverfahren (additiv produzierte Implantate) ein. Der Bedarf an hochwertigen optischen Systemen, wie

Steigende Anforderungen an die partikuläre und filmische Sauberkeit von Bauteilen erfordern zunehmend auch die Betrachtung der Prozess- und Umgebungssauberkeit bezüglich möglicher Cross-Kontaminationen.

kamerabasierte Sensoren oder neue optische Laser, oder auch die stetig steigenden Reinheitsanforderungen an die Produktionsmittel in der Halbleiterindustrie gestalten diese Entwicklungen mit.

Daraus resultiert derzeit eine tiefgreifende und alle Branchen betreffende Veränderung. Die bekannten und bewährten Prozesse bleiben bestehen, es ist jedoch zu erwarten, dass diese aktuell und in naher Zukunft keine signifikanten technologischen Fortschritte machen und außerdem durch den steigenden Wettbewerbsdruck wirtschaftlich zunehmend unattraktiver werden. Wichtig ist außerdem zu berücksichtigen, dass die Fertigungs-, Handlings- und Montageabläufe ganz wesentlich den Grad der Sauberkeit bestimmen. Die Frage nach der direkten oder auch zeitlich versetzten Re- oder Crosskontamination durch feinstpartikuläre oder filmische Verunreinigungen in der Prozesskette und der letztendlichen Funktion rückt zunehmend in den Vordergrund. Reinigungsverfahren haben sich danach auszurichten, stellen häufig jedoch nur einen Baustein in der Gesamtaufgabenstellung an den Teilefluss dar. Hier ist eine ganzheitliche Betrachtung nötig sowie das Inkludieren aller systemrelevanten Faktoren.



Auch bei turbulenten Reinigungsverfahren verbleibt eine abgegrenzte sowie strömungsarme laminare Unterschicht, welche das Lösen filmischer oder feinstpartikulärer Kontaminationen erschwert.

Der Reibungswiderstand der Oberfläche hat direkten Einfluss auf die Fließgeschwindigkeit und somit auf die mechanische Kraft des Mediums und damit auf die Reinigungswirkung.

Grenzschicht schirmt feinste Kontaminationen ab

Die FiT-Richtlinie „Filmische Verunreinigungen beherrschen“ versteht unter einer filmischen Verunreinigung eine dünne, zusammenhängende, nicht-partikuläre Schicht aus unerwünschten, fremdartigen Bestandteilen auf Teil- und Vollflächen von Bauteilen. Gerade diese dünnen filmischen aber auch feinstpartikulären Schichten lassen sich im Sub- μm -Bereich durch einfaches Durch-/Vorbeiströmen von Gasen oder Flüssigkeiten nicht so ohne weiteres abreinigen. Dies gilt auf einfachen zweidimensionalen Oberflächen und verstärkt auf dreidimensionalen Geometrien mit verdeckten oder kapillaren Bereichen.

Je nach den strömungsmechanischen Gegebenheiten kommt es bei der Umströmung eines Körpers zunächst zu einer laminaren Grenzschicht, auf die im weiteren Verlauf ein Übergangsbereich folgt, bevor sich eine vollständig turbulente Grenzschicht ausbildet. In deren Verlauf in Richtung Oberfläche sinkt die Geschwindigkeit des strömenden Mediums auf Null – auch unter einer turbulenten Grenzschicht. Dort entsteht eine sehr dünne, sogenannte viskose Unterschicht, die die Oberfläche und darauf

haftende Verunreinigungen von dem intensiven Medienaustausch und den strömungsmechanischen Kräften einer turbulenten Grenzschicht abschirmt.

Das bedeutet, bei konventionellen Reinigungsverfahren nimmt die Reinigungseffektivität mit zunehmender Nähe zur Oberfläche ab. Je dünnlagiger und feiner eine Verschmutzung ist, desto mehr müssen mögliche Reinigungsverfahren danach beurteilt werden, ob und wie sie diese Grenzschicht durchbrechen können. Hierbei geht einerseits darum, die waschmechanische Wirkung zu entfalten und die Chemie mit ihren spezifischen Eigenschaften zur Verunreinigung zu bringen und andererseits Verunreinigung von der Oberfläche abzutransportieren. Die Betrachtung des Chemie-Faktors ist deshalb wichtig, da viele filmische Kontaminationen nicht nur frei auf der Oberfläche liegen, sondern häufig zusätzlich durch Zerspanungs- und/oder Umformprozesse in die Oberfläche eingearbeitet werden.

Unterschiedliche Reinigungsverfahren im Überblick

Zur Reinigung von Oberflächen stehen die unterschiedlichsten verfahrenstechnischen

Ansätze zur Verfügung. Sie unterscheiden sich grundsätzlich darin, ob sie fluidbasiert sind, also zum Beispiel als Medium Wasser oder Lösemittel verwenden, oder ob Laserlicht, CO_2 oder Plasmen zum Einsatz kommen. Die Laser- und in der Regel auch die Niederdruckplasmareinigung sind insofern vergleichbar, da sie organische Verunreinigungen in gasförmige und damit flüchtige Produkte überführen und aus dem Bereich des Bauteils abtransportieren. Anorganische Rückstände können jedoch durch Kreuzkontaminationen in geringer Menge zurückbleiben. Grenzen zeigt die Niederdruckplasmavariante bei der Abreinigung von in die Oberfläche eingearbeiteten organischen Verschmutzungen. Bei Niederdruckplasma handelt es sich klar um ein Feinstreinigungsverfahren, während Laser zu den partiellen Reinigungsmethoden zählt, welche auch in der Lage sind, in die Grenzschicht einzudringen. Vorteil beider Verfahren ist, dass sie keine nachfolgenden Trocknungsprozesse erfordern.

Die CO_2 -Schneestrahlinreinigung eignet sich hervorragend zur Abreinigung von feinstpartikulären und filmischen Kontamination. Das Verfahren ist bedingt für komplexe Geometrien geeignet und kommt bei kapillaren Strukturen, aber auch bei in

Ein Piiiiieeep für mehr Sicherheit.

Bei ausgelaufenen Gefahrstoffen minimiert eine frühzeitige Reaktion Ihr Unfallrisiko, Gesundheitsgefahren, Folgekosten und rechtliche Konsequenzen.

SpillGuard® – das weltweit erste autarke Warnsystem für gefährliche Leckagen.

www.denios.de/my-spillguard



die Oberfläche eingearbeiteten Kontaminationen, an sein Limit. Gelöste Partikel lassen sich aufsaugen oder abfegen. Auch hier ist keine anschließende Trocknung erforderlich.

Bei den fluidbasierten Verfahren spricht man von den klassischen Flut- oder Spritzvarianten. Die reinen auf Strömung beruhenden Flutverfahren sind nur schwer in der Lage, bis unmittelbar auf und in die Grenzschicht vorzudringen. Lösemittelbasierte Prozesse sind hier, bedingt durch ihre geringe Oberflächenspannung, klar im Vorteil gegenüber den wasserbasierten. Es braucht dennoch bei beiden Medienarten eine geeignete Waschmechanik, um die laminare Unterschicht zu durchbrechen, die Kontamination in das Medium aufzunehmen und vom Bauteil wegzutransportieren. Diese Waschmechanik kann durch Druckwechsel, wie beim Injektionsfluten oder durch Ultraschall-/Megaschall, erzeugt werden. Doch mit steigender Bauteilkomplexität stoßen diese Verfahren an Grenzen. Neue unter-/überdruckbasierte Technologien (CNP/DCNP oder CNX/Hyperbaric) erlauben die Reinigung unmittelbar auf der Grenzschicht, indem sie die laminare Unterschicht durchbrechen. Die Wasserdampfblasen entstehen auf der reaktiven Oberfläche und verdrängen das noch flüssige Medium an dieser Stelle. Mit der zerfallenden Dampfblase beim Druckwechsel kommt neben dem mechanischen Effekt eine turbulente Strömung auf, die den Transport der Kontamination unterstützt und frisches waschaktives Fluid heranzführt. Das geschieht auf der gesamten Bauteiloberfläche in gleicher



Bei der Implosion einer Kavitationsblase in Wandnähe, hier bei einer Ultraschallanwendung, durchbricht der Microjet die laminare Unterschicht und erzeugt neben der direkten Kraft auf der Grenzfläche zudem eine Vermischung der Medien und erhöht so deutlich die Reinigungseffektivität.

Art. In engen Kanälen (< 10 mm) und kapillaren Strukturen (< 1 mm) kommt zudem noch ein kontinuierlicher Medienfluss zustande, der den Austrag des belasteten Mediums unterstützt und auch entsprechende hochwertige Spülprozesse erlaubt. Diese Verfahren sind zudem bei wasserbasierten Technologien in der Lage, über die beigefügte Chemie gezielte Oberflächenangriffe zu erzeugen und durch die Spülprozesse auch gezielt zu beenden. Klarer Nachteil dieser fluidbasierten Prozesse ist die teilweise aufwändige Trocknung.

Neue Denkansätze und Herausforderungen

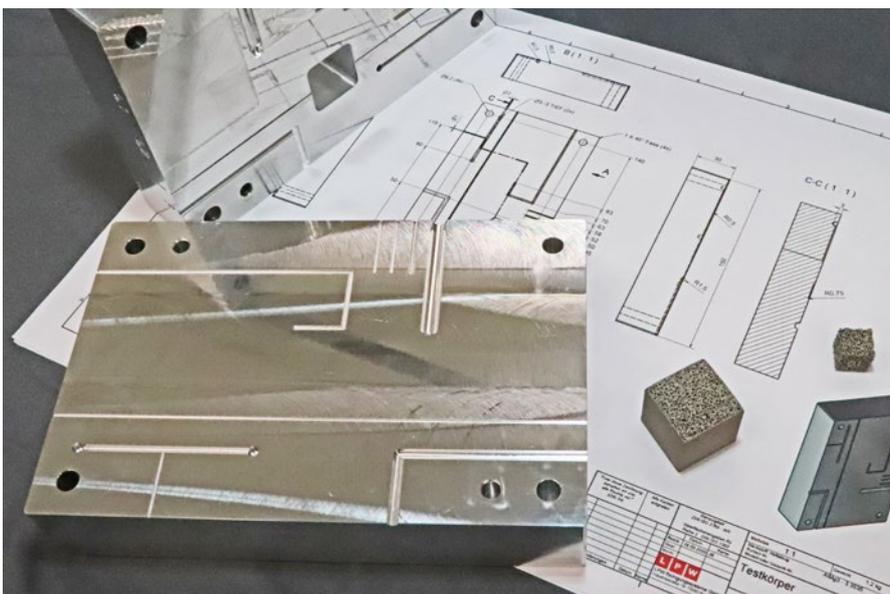
Die Aufgaben der zuverlässigen Abreinigung von filmischen und feinstpartikulären

Verschmutzungen betreffen vor allem das Lösen dieser spezifisch charakterisierten Kontamination an der Bauteiloberfläche sowie den Abtransport derselben aus der Grenzschicht. Erschwert wird der Prozess häufig durch die Komplexität der Geometrie und Zugänglichkeit der Kontamination.

Selten können die einzelnen Verfahren alles gänzlich alleine lösen. Mit der FiT-Richtlinie „Filmische Verunreinigungen beherrschen“ ist ein wichtiger erster Schritt getan, diese Problematik aufzuschlüsseln. Der Fachverband beschäftigt sich zudem innerhalb seiner Fachausschüsse intensiv mit der praktischen Umsetzung im Anlagenbau und in der Verfahrenstechnik. Zahlreiche Aktivitäten in Unternehmen, Forschungs- und Entwicklungsprojekten bringen die Versachlichung der Gesamthematik aktuell voran. Dennoch sind noch viele offene Fragen zu klären, zum Beispiel welche Kombinationen von Verfahren sich für welche Aufgabenstellung und für welchen Grad an Sauberkeit eignen oder wie Medienaufbereitungssysteme auszulegen sind. Bei komplexen Geometrien müssen die Extraktionsverfahren zur Probenerstellung für die Sauberkeitsanalytik geschaffen und validiert werden.

Den größten Herausforderungen sehen sich jene Unternehmen gegenüber, die ihre Prozessketten schon jetzt nach den neuen Kriterien ausrichten müssen. Die technische Sauberkeit als eine den Gesamtherstellungsprozess eines Produktes betreffende Aufgabenstellung auch im Sinne einer kontaminationsarmen oder sogar -freien Fertigung ist neu und erfordert eine andere Denkweise.

Gerhard Koblenzer



Für einen vergleichenden Eignungs-Test der verschiedenen Reinigungsverfahren und -medien bezüglich filmischer oder feinstpartikulärer Aufgabenstellungen bietet sich der Einsatz von Testkörpern an, die mit den entsprechenden geometrischen Ausformungen ausgestattet sind.

 LPW Reinigungssysteme GmbH
www.lpw-reinigungssysteme.de