
Reinigen von Formnestern



Fraunhofer Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik

Reinigen von Formnestern

Agenda

- Einführung
- Stand der Technik Reinigungsverfahren
- Zusammenfassung / Gegenüberstellung
- Ausblick

Seite 2 / 44

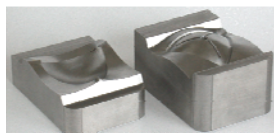
Agenda

Einführung

- Spritzgusswerkzeuge
- Kunststoffe
- Verunreinigungen
- Folgen von Verunreinigungen

Seite 3 / 44

Spritzgusswerkzeuge und Formnester



Quelle: cemec

- Negatives Abbild des jeweiligen Formteils
- Einfach- oder Mehrfachwerkzeug
- Ort der Formteilbildung: Formt und kühlt die einströmende Schmelze
- Typische Werkzeugwerkstoffe:
 $21\text{MnCr}5$, $\text{X}19\text{NiCrMo}4$, $40\text{CrMnMo}7$, u.a.



Quelle: boehl-kunststofftechnik

Seite 4 / 44

Kunststoffe



Quelle: Staub AG



Quelle: Jäger GK

- Lange Kettenmoleküle, die sich je nach Kunststoffart unterschiedlich anordnen
- Unterschiedlichste Formen möglich
- Lösen in vielen Bereichen metallische Werkstoffe ab
- Drei Gruppen:
Duroplaste, Elastomere, Thermoplaste

Seite 5 / 44

Verunreinigungen

- Kondensationskeime (Öl, verunreinigte Luft...) haften an Werkzeugoberfläche
- Kunststoffgase können an kalten Oberflächen der Spritzgusswerkzeuge kondensieren
→ Ansammlung der kondensierten Kunststoffe in Kavitäten
- Rückstände von thermisch verkohlten oder abgesetzten Kunststoffen
→ Verbackung der Kunststoffe durch dauerhafte thermische Belastung
- Weitere Verunreinigungen:
Trennmittel, Fett, Rost, Kalk, etc.

Seite 6 / 44

Folgen von Verunreinigungen

- Schlierenbildung an den Spritzgießprodukten
- Einlagerung der Verunreinigung in die Produktoberfläche
- Ungenügende Oberflächenqualität
- Allgemeine Qualitätsminderung
- Vermehrter Ausschuss
- Negative Beeinflussung der Maßhaltigkeit
- Beeinflussung der optischen Eigenschaften

Seite 7 / 44

Agenda

- Einführung
- Stand der Technik Reinigungsverfahren
- Zusammenfassung / Gegenüberstellung
- Ausblick

Seite 8 / 44

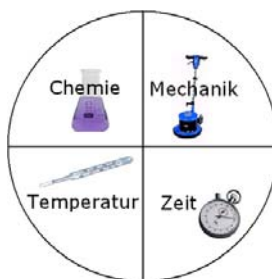
Agenda

■ Stand der Technik Reinigungsverfahren

- Bestimmende Faktoren
- Strahlverfahren
- Laserstrahlen
- Chemische Reinigung
- Ultraschall
- Thermisches Reinigen

Seite 9 / 44

Bestimmende Faktoren der Reinigung



- Chemie
 - Mechanik
 - Zeit
 - Temperatur
- Sinnerscher Kreis

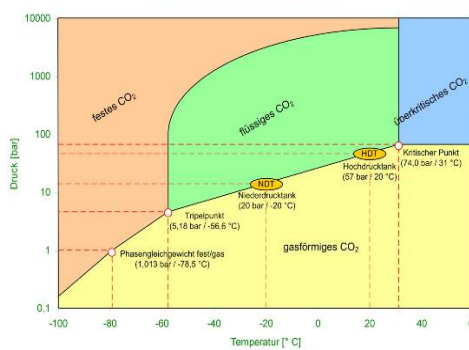
Seite 10 / 44

Überblick verschiedener Reinigungsverfahren

- Strahlverfahren
(Trockeneis, Wasser, beständige Strahlmittel)
- Laserstrahlen
- Chemische Reinigung
- Ultraschall
- Thermische Reinigung

Trockeneisstrahlen – Eigenschaften von Kohlendioxid

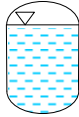
Phasendiagramm von Kohlendioxid (CO₂)



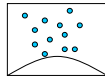
- Ungefährlicher Stoff (GefStoffV)
- Nicht brennbar, nicht giftig, farblos, geruchlos (MAK-Wert 5000 ppm), nicht elektrisch leitend, bakteriostatisch, chemisch inert
- Temperatur (1 bar): - 78,3 °C; Dampfdruck (20 °C): 57,3 bar
- Bei Umgebungsdruck nur fest oder gasförmig
- Direkter Übergang von fest nach gasförmig (Sublimation)
- Keine Nässe → **Trockeneis**

Reinigen von Formnestern

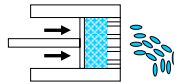
Trockeneisstrahlen – Strahlmittel CO₂



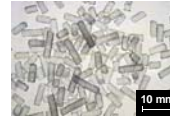
Flüssiges CO₂
 T = 20 °C, -20 °C
 p = 57,3 bar, 20 bar



CO₂-Schnee
 T = -78,3 °C,
 p = 1 bar



Trockeneispellets
 T = -78,3 °C,
 p = 1 bar



l_p = 5-15 mm
 d_p = 3,0 mm
 T_p = -78,3 °C
 r_p = 1100 kg/m³
 $r_{Schütt}$ = 821 kg/m³
 Härte = 1,5 Mohs

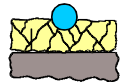
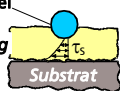
Seite 13 / 44

Reinigen von Formnestern

Trockeneisstrahlen – Wirkmechanismen

Trockeneispartikel

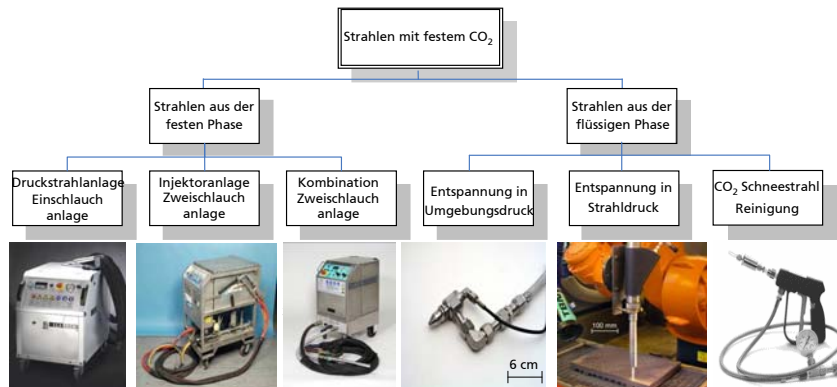
Verunreinigung



- Thermischer Effekt
 - ▶ Temperaturunterschied zwischen Substrat und zu entfernender Schicht
 - ▶ Thermische Spannungen
- Mechanischer Effekt
 - ▶ Impulsübertragung durch Partikel und Druckluft auf die Oberfläche
 - ▶ Mechanische Spannungen
- Sublimationseffekt
 - ▶ Unterstützung des mechanischen Effektes durch Druckwelle bei Volumenvergrößerung während Sublimation
 - ▶ Unterstützung des thermischen Effektes durch Wärmeentzug durch Sublimation
 - ▶ Thermische und mechanische Zusatzspannungen

Seite 14 / 44

Trockeneisstrahlen – Anlagentechnik



Trockeneisstrahlen – Nachteile

- Hoher Schalldruckpegel
- Trockeneis pellets begrenzte Zeit in Isolierbehältern lagerfähig
- Hohe Betriebskosten (Druckluftaufbereitung, Trockeneis pellets)
- Absaugtechnik erforderlich

Trockeneisstrahlen – Vorteile



Quelle: Airliquide

- Sublimation des Trockeneises: gasförmiges CO₂ kann als natürlicher Bestandteil in die Atmosphäre entlassen werden
- Kein Eintrag von Sekundärverunreinigungen
- Geringe Entsorgungskosten aufgrund des geringen Abfallvolumens
- Kurze Reinigungszeiten ohne Demontage
- Selektiver Reinigungsprozess mit geringer abrasiver und korrosiver Substratbeeinflussung
- Einfache Anlagentechnik

Seite 17 / 44

Wasserstrahlen / Strahlen mit beständigen Strahlmitteln



Quelle: W+I Oberflächen-Systeme GmbH



Quelle: W+I Oberflächen-Systeme GmbH

- Strahlmedien: Kunststoffe, Korund, Soda, Schlacke, Glasperlen, Edelstahl, Hartguss, Basalt, etc.
- Beschleunigung des Strahlmittels durch Druckluft oder Wasser
- Düsenaustrittsgeschwindigkeit etwa Schallgeschwindigkeit
- Hohe kinetische Energie des Strahls: Heraussprengung des Materials
- Spezialstrahlmittel „Vera-Soft“

Seite 18 / 44

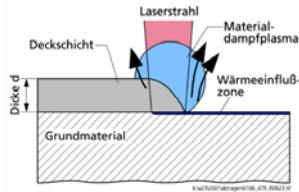
Wasserstrahlen – Nachteile

- Ausbau der Formen
- Oberflächenschädigung (beständige Strahlmittel)
- Zeitintensiv
- Produktionsstörung durch Strahlgutrückständen
- Umweltbelastend
- Aufwändige Entsorgung
- Hoher Schalldruckpegel
- Trocknung erforderlich (Wasserstrahlen)

Wasserstrahlen – Vorteile

- Hohe Abrasivität
- Geeignet für hartnäckige Verunreinigungen (Rost)
- Einfache Handhabung

Laserstrahlen – Wirkmechanismen

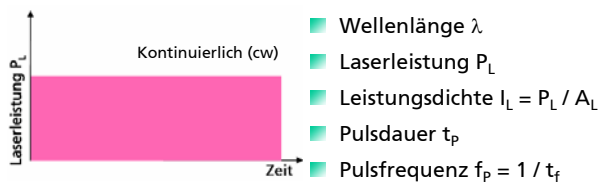


- Fokussierter Laserstrahl wird über die Oberfläche geführt
- Energie des Laserstrahls wird direkt in thermische Energie umgewandelt
- Abtrag durch thermisch induzierte Spannungen
- Verdampfung der Deckschicht
- Schockwellenerzeugung bei schlagartiger Verdampfung
- Auch nicht verdampfbare Partikel werden entfernt

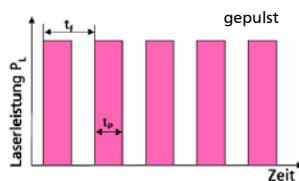
„Reinigen mit Laserstrahlen“, C. Johnigk, 8.IAK

Seite 21 / 44

Laserstrahlen – Charakteristische Strahlparameter

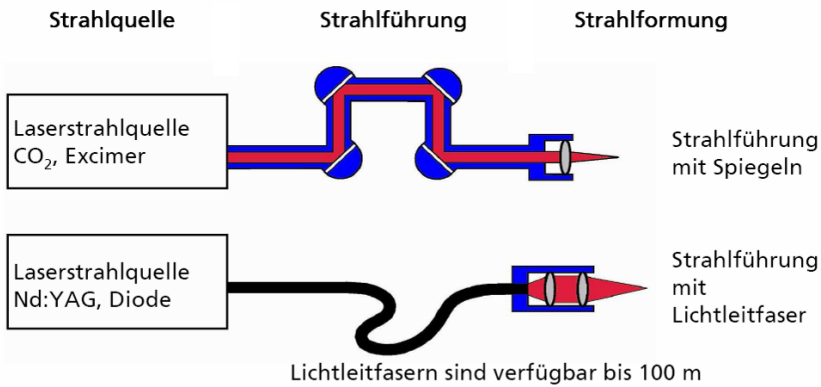


- Wellenlänge λ
- Laserleistung P_L
- Leistungsdichte $I_L = P_L / A_L$
- Pulsdauer t_p
- Pulsfrequenz $f_p = 1 / t_f$



Seite 22 / 44

Laserstrahlen – Strahlführung und Formung



Seite 23 / 44

Laserstrahlen – Nachteile

- Hohe Investitionskosten
- Hohe Sicherheitsbestimmungen
- Entfernung lediglich dünner (<100 µm), homogener Verunreinigungen
- Komplexe Handhabung
- Ausbau des Werkzeugs erforderlich

Seite 24 / 44

Lasers



nische

Seite 25 / 44

Chemische Reinigung – Wirkmechanismen

- Reinigungsverfahren mittels Reinigungsflüssigkeit
- Kombination zweier Verfahrensschritte
 - ▶ Lösen der Verunreinigung durch Lösemittel
 - ▶ Strömungstechnisches bzw. mechanisches Entfernen der Verunreinigung (z. B.: Bürsten, Spritzen, Ultraschall, Tauchen)
 - ▶ Entfernung des Prozessprodukts durch Spül- und Trocknungsprozess

Seite 26 / 44

Chemische Reinigung – Reinigungsmedien

- Die am häufigsten eingesetzten Reiniger
- Wässrige Reiniger
 - Neutralreiniger
 - Alkalische Reiniger
 - Saure Reiniger
 - Modifizierte Alkohole
 - Kohlenwasserstoffe
 - Salzschnmelzen
 - Pflanzenölbasierte Reiniger
 - MPC-Reiniger

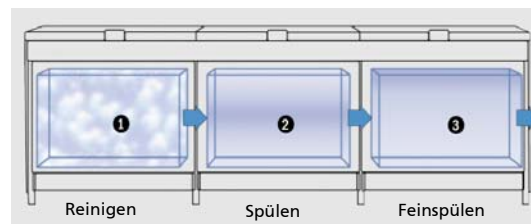
! Viele Reiniger sind Bedenklich bezüglich

- Giftigkeit
- Umweltschädlichkeit
- Brennbarkeit

Seite 27 / 44

Chemische Reinigung – Anlagen

- Einkammer, Mehrkammer, Durchsatz
- Bürsten, Wischen, Schaben



Seite 28 / 44

Chemische Reinigung – Nachteile

- Ausbau der Formen
- Schädigung des Materials möglich
- Umweltbelastend (je nach Art des Mediums)
- Hohe Betriebskosten
- Zeitintensiv

Chemische Reinigung – Vorteile

- Entfernung starker Verunreinigungen
- Reinigung von Kühlkreisläufen
- Feinstreinigung möglich
- Hohe Durchsatzraten
- Hohe Chargengewichte
- Zuverlässige Anlagentechnik

Ultraschallreinigung – Wirkmechanismen I

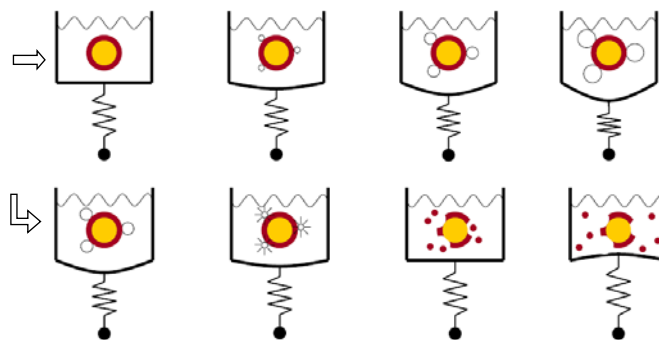


- Ultraschall erzeugt abwechselnd Druck- und Unterdruck-Phasen
- Unterdruck-Phase: Bildung von winzigen Bläschen in der Flüssigkeit → Kavitation
- Druck-Phase: Implosion der Bläschen beim Kontakt mit der Bauteiloberfläche → Abtragung der Verunreinigung
- Saure, alkalische oder neutrale Lösungen im Ultraschallbad zur unterstützenden Reinigung



Seite 31 / 44

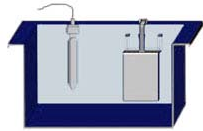
Ultraschallreinigung – Wirkmechanismen II



Quelle: Hans-Meitner-Institut Berlin

Seite 32 / 44

Ultraschallreinigung – Anlagentechnik



- Wannen unterschiedlicher Größe
- Bodenschall
- Seitenschall (ein oder beidseitig)
- Boden- und Seitenschall



Quelle: Weber-Ultrasonics

Seite 33 / 44

Ultraschallreinigung – Nachteile

- Ausbau der Formen
- Zeitintensiv
- Trocknung notwendig
- Entfernung lediglich schwacher Verunreinigungen
- Hohe Investitionskosten

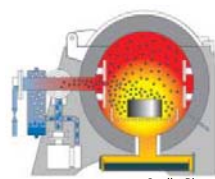
Seite 34 / 44

Ultraschallreinigung – Vorteile

- Berührungsfreie Technik
- Keine Beschädigung der Oberflächen
- Kurze Reinigungszeiten
- Für komplexe Geometrien geeignet durch Hinterspülungen
- Halb- und vollautomatische Reinigung
- Umweltschonend beim reduzierten Einsatz von Lösemitteln
- Niedrige Betriebskosten

Seite 35 / 44

Thermische Reinigung – Wirkmechanismus



- Reinigung durch Wärmezufuhr
- Erhitzen der Werkzeuge
- Kunststoffe werden thermisch verdampft, chemisch umgewandelt und zersetzt

Seite 36 / 44

Thermische Reinigung – Nachteile

- Ausbau der Formen
- Reinigungszeit steigt mit Menge der Verschmutzung
- Energiebedarf steigt mit Größe der Werkzeuge
- Gefügebeeinflussung bei zu hoher Wärme
- Ggf. Feinreinigung erforderlich

Thermische Reinigung – Vorteile

- Umweltfreundlich
- Niedriger Anlagenaufwand
- Kurze Reinigungszeiten
- Entfernung sortenreiner Verunreinigung

Agenda

- Einführung
- Stand der Technik Reinigungsverfahren
- Zusammenfassung / Gegenüberstellung
- Ausblick

Zusammenfassung / Gegenüberstellung I

Trockeneisstrahlen	Strahlen mit beständigen Strahlmitteln / H ₂ O	Laserstrahlen
<ul style="list-style-type: none">■ Online-Reinigung möglich■ Substratschonend■ Umweltneutral■ Kurze Reinigungszeiten■ Keine Trocknung, keine Strahlmittelverschleppung■ Entfernung starker Verunreinigungen	<ul style="list-style-type: none">■ Ausbau der Formen■ Materialschädigung■ Umweltbelastend durch aufwändige Entsorgung■ Kurze Reinigungszeiten■ (Keine) Trocknung■ Entfernung starker Verunreinigungen	<ul style="list-style-type: none">■ Online-Reinigung möglich■ Substratschonend■ Umweltfreundlich■ Kurze Reinigungszeiten■ Keine Trocknung■ Entfernung lediglich dünner, homogener Verunreinigungen

Zusammenfassung / Gegenüberstellung II

Chemische Reinigung	Ultraschallreinigung	Thermische Reinigung
<ul style="list-style-type: none">Ausbau der FormenMaterialschädigungUmweltbelastendZeitintensiv	<ul style="list-style-type: none">Ausbau der FormenSubstratschonendUmweltfreundlichZeit variabel	<ul style="list-style-type: none">Ausbau der Formengeringe OberflächenbeeinflussungUmweltfreundlichKurze Reinigungszeiten (abhängig von Verschmutzung)Keine Trocknung
<ul style="list-style-type: none">Trocknung, EntsorgungEntfernung starker Verunreinigungen	<ul style="list-style-type: none">Trocknung, EntsorgungEntfernung schwacher Verunreinigungen	<ul style="list-style-type: none">Entfernung starker Verunreinigungen möglich

Seite 41 / 44

Agenda

- Einführung**
- Stand der Technik Reinigungsverfahren
- Zusammenfassung / Gegenüberstellung**
- Ausblick**

Seite 42 / 44

Ausblick

- Easy-to-Clean und Self-Clean Oberflächen
- Beschichtungen (DLC – diamond-like-carbon, Plasma)
- Reinigbarkeit im Konstruktionsprozess berücksichtigen

Seite 43 / 44

Kontakt



Fraunhofer-Institut für
Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK)
Pascalstraße 8 – 9
10587 Berlin
Deutschland



Dipl.-Ing. (FH) Martin Bilz
fon: +49 (0) 30 / 3 90 06-147
fax: +49 (0) 30 / 3 91 10 37
mail: martin.bilz@ipk.fraunhofer.de
web: www.ipk.fhg.de
www.strahlverfahren.de
www.allianz-reinigungstechnik.de

Seite 44 / 44