

4. Vortragsblock 3

4.1 Materialeffizienz durch den Einsatz von Technischer Keramik

- Friedrich Moeller
Rauschert GmbH
Pressig

Die Folien finden Sie ab Seite 321.

4.1.1. Einleitung

Die Unternehmen sind im globalen Wettbewerb einem hohen Kostendruck ausgesetzt.

Bei hoch legierten Stählen haben sich in den letzten 3 Jahren die Rohstoffpreise von Chrom, Nickel, Kobalt mehr als verdoppelt. Die Verknappung dieser strategischen Rohstoffe führt nicht nur zu höheren Beschaffungskosten sondern auch zu langen Lieferzeiten. Vom dramatischen Anstieg der Rohstoffpreise ist die Technische Keramik weitgehend verschont geblieben. Es lohnt sich daher, über den Einsatz der Technischen Keramik bei der Entwicklung neuer Produkte nachzudenken. Auch eine Werkstoffsubstitution bei bestehenden Produkten kann in Betracht bezogen werden.

Nicht nur mit der Energie sondern auch mit den Rohstoffen muss sorgsam umgegangen werden. Materialeffizienz ist das Gebot der Stunde.

4.1.1.1. Wie ist die Materialeffizienz definiert?

Materialeffizienz ist das Verhältnis vom mengenmäßigen Ertrag an qualitätsgerechten Produkten zum Materialaufwand.

Das Streben nach Materialeffizienz ist eine unternehmerische Aufgabe. Bei einem Materialanteil von 60 % ist eine Kosteneinsparung im

Einkauf von 3 % hinsichtlich der Rendite äquivalent zu einer Umsatzsteigerung von 80 %.

Strategien zur Materialeffizienz sind:

- die Verlängerung der Standzeiten von Maschinenbauteilen durch Verschleißschutz,
- die Verringerung des Materialverschnitts durch endkonturnahe Formgebung,
- die Einsparung von Bauteilen durch Multifunktionalität und
- geringeren Materialverbrauch durch Miniaturisierung.

4.1.1.2. Beispiel Sprüheinrichtung

Anhand des Beispiels einer Sprüheinrichtung für abrasive Stoffe soll demonstriert werden, wie durch den Einsatz von Technischer Keramik eine bessere Materialeffizienz erreicht wurde. Wichtig war die Aufrechterhaltung eines definierten Sprühbilds über die gesamte Fertigungszeit hinweg. Die Sprüheinrichtung bestand komplett aus rostfreiem Stahl und musste im 3-Schichtbetrieb nach jedem Werktag ersetzt werden. Die Aufgabe bestand nun darin, die verschleißanfälligen Komponenten der Sprüheinrichtung durch Keramik zu ersetzen.

Die Sprüheinrichtung besteht aus einem Sprühkopf, der mit Chromoxid keramikbeschichtet wurde, einem Spiralling aus Zirkonoxid, einem Führungsring aus braunem Aluminiumoxid und einer Führungsbuchse aus weißen Aluminiumoxid Rapal.

Mit dem Einsatz von Technischer Keramik konnte die Standzeit maßgeblich verlängert werden. Die Sprüheinrichtung läuft mehrere Monate ohne jegliche Beanstandung dank der vorteilhaften Eigenschaften keramischer Werkstoffe.

Aluminiumoxid ist hart und verschleißfest, hat einen hohen elektrischen Isolationswiderstand, ist korrosionsbeständig und formbeständig auch bei hohen Temperaturen. Typische Formgebungsverfahren sind Trockenpressen und Keramikspritzguss. Aluminiumoxid kann auch als Keramiksicht auf Maschinenbauteile aus Stahl und Aluminium aufgetragen werden.

Im vorliegenden Fall wurde eine Schicht aus Chromoxid aufgespritzt. Chromoxid hat noch bessere Verschleißschutzeigenschaften als Aluminiumoxid, kann aber nicht als Vollkeramik in Form gebracht werden. Zirkonoxid hat außer der guten Verschleißfestigkeit eine hohe Kantenfestigkeit und Bruchzähigkeit

4.1.2. Materialeffizienz durch Keramische Beschichtungen

Schon 0,1 mm dicke Schichten aus Aluminiumoxidkeramik reichen aus, um auch große Bauteile aus hoch legiertem Stahl wirksam gegen Verschleiß zu schützen und damit die Standzeit von Maschinen um ein Mehrfaches zu verlängern. Dem Aluminiumoxid wird ein geringer Anteil Titandioxid zugesetzt, der der Keramikschiicht eine erhöhte Schlagzähigkeit verleiht.

Die Keramikschiichten werden durch thermisches Spritzen auf die durch Sandstrahlen vorbereitete Metalloberfläche aufgetragen. Es entsteht dabei eine lamellare und poröse Keramikschiicht. Die Oberfläche wird je nach Anwendung anschließend hartbearbeitet. Durch Schleifen und Polieren können R_a -Werte bis $0,2\mu$ erreicht werden.

Die Keramikschiichten werden mit Nanocomposites versiegelt. Bei Temperaturen von 180°C wandeln sich die Nanocomposites in einen glasartigen Zustand um und hindern durch ihr hydrophobes Verhalten das Eindringen korrosiver Medien.

Reparaturbeschichtungen sind möglich. Sie dienen der Materialerhaltung.

Große kostenaufwendige Maschinen -Bauteile aus rostfreiem Stahl können auch reparaturbeschichtet werden. Die verbrauchte Keramikschiicht wird abgestrahlt, die Metalloberfläche wenn nötig überarbeitet und eine neue Keramikschiicht aufgebracht. Die Stahlbauteile brauchen nicht verschrottet zu werden.

4.1.3. Materialeffizienz durch den Keramikspritzguss

Der Keramikspritzguss ist ein innovatives Verfahren. Während der Hannover Messe 2008 wurde der Expertenkreis Keramikspritzguss gegründet, der sich die Aufgabe gestellt hat, dieses Formgebungsverfahren zu einer Marke weiter zu entwickeln.

Beim Keramikspritzguss werden keramische Versatzrohstoffe plastifiziert und auf verschleißgeschützten Spritzgussmaschinen verspritzt. Anschließend wird die Plastifizierung thermisch entbindert und der Grünling gesintert. Erst durch den Sinterprozess entsteht der Werkstoff Keramik und das das Bauteil erreicht dann seine diamantartige Härte. Durch Hartbearbeitungsprozesse werden die Oberflächenstruktur und die Toleranzen den jeweiligen Anwendungen angepasst.

4.1.3.1. Wie trägt der Keramikspritzguss zur Materialeffizienz bei?

Durch den Keramikspritzguss können Bauteile eingespart werden, weil die Bauteile mit größerer Komplexität im 3D-Design realisiert werden können. Die verbleibenden Komponenten übernehmen dann die Funktionen der wegfallenden Bauteile.

Das Beispiel eines Fadenölers zeigt, wie ein Spritzgussteil ein trocken gepresstes Teil und ein rostfreies Stahlrohr ersetzen kann. Hinzu kommt, dass die störungsanfällige und aufwendige Klebeverbindungstechnik wegfällt.

Der Keramikspritzguss ist ein endkonturnahes Verfahren, deshalb können Zerspanungsprozesse entfallen. Damit wird Materialeinsatz reduziert. Das ist wichtig, wenn es werden hochwertige Rohstoffe verarbeitet.

Der Fadenöler wird aus unterschiedlichen Aluminiumoxid-Qualitäten hergestellt, die sich im Rohstoffpreis stark unterscheiden. So gibt es im Textilmaschinenbau bei der Verarbeitung der Mikrofasern hohe Anforderungen an das Gefüge und die Oberflächenqualität. Fasern dürfen nicht geschädigt und die Bildung von Schnee muss verhindert werden. Deshalb müssen die Umlenkorgane aus submikronem Aluminiumoxid gefertigt werden.

Angüsse werden aufgemahlen und als Granulat wiederverwendet.

Durch den Keramikspritzguss können Bauteile kleiner dimensioniert werden. Damit werden in der Serie Kosten reduziert, da gerade bei hochwertigen Werkstoffen die Rohstoffkosten voll durch schlagen. Wenn der Verschleißbereich oder die elektrische Trennung auf kleinen Raum beschränkt ist, dann kann der Mikrokeramikspritzguss in Betracht gezogen werden. Bei der endkonturnahen Formgebung kann auf die CNC-Bearbeitung vor dem Brand, die eine sorgfältige Handhabung erforderlich macht, weitgehend verzichtet werden.

4.1.4. Materialeffizienz durch Prototyping in 3D-Präzision ohne Werkzeuge

Wenn Bauteile aus Metall oder Kunststoff substituiert werden sollen, dann werden vor der Einrichtung eines Werkzeugs Prototypen möglichst 1:1 benötigt. Mit dem Ultrasonic-Verfahren können aus vorhandenen gesinterten Halbzeugen die gewünschte Form in einer Präzision von 0,01 einzeln herausgearbeitet werden. Es ist möglich Geometrievarianten und Werkstoffvarianten in einer Aufspannung zu bearbeiten. Damit werden dem Konstrukteur Varianten für Versuche angeboten, bevor das Serienwerkzeug gebaut wird.

Die aufwendige Herstellung von Kleinserien wird weitgehend vermieden.

4.1. 5. Ausblick

Ein Beispiel für ein neuentwickeltes Produkt mit hoher Material- und Energieeffizienz ist ein Pelletzünder. Auf einem Rohr aus preisgünstigem Aluminiumoxid wird eine mit Platin bedruckte dünne Folie aus hochreinem Aluminiumoxid laminiert. Die Leiterbahn aus Platin ist so ausgelegt, dass die 220 V Stromversorgung direkt angeschlossen werden kann. Innerhalb von wenigen Sekunden erwärmt sich das Rohr auf ca. 1.000 °C glühend rot. Ein Ventilator entfällt durch das Saugluftprinzip. Die Luft wird auf 700 °C erwärmt und zündet die Pellets nach einer kurzen Verpuffungszeit. Die Energieverluste können, gegenüber herkömmlichen Systemen, durch dieses Konstruktionsprinzip reduziert werden.

Dieses Beispiel zeigt, dass durch gezielten Werkstoffeinsatz und passende Herstellungsverfahren die Materialeffizienz wesentlich gesteigert und damit die Kosten reduziert werden können.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 25) finden sich auf den folgenden Seiten.

**Material-effizienz
durch den Einsatz von
Technischer Keramik**

Friedrich Moeller
Rauschert GmbH
Pressig

Materialeffizienz durch Technische Keramik

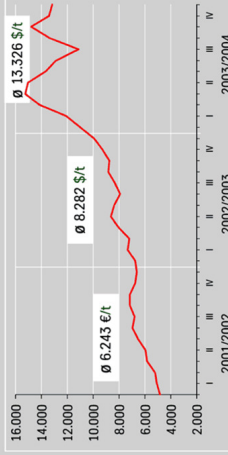


Überblick

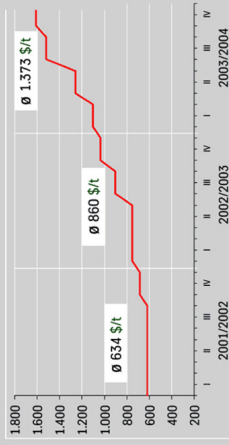
- Kostenentwicklung bei den Rohstoffen
- Definition der Materialeffizienz
- Strategien zur Materialeffizienz
- Keramische Beschichtungen
- Keramikspritzguss
- Mikrokeramikspritzguss
- Prototyping
- Ausblick

Preisentwicklung bei den strategischen Rohstoffen für rostfreien Stahl

Deutlich gestiegene Rohstoff- und Energiepreise
Nickel mit Preissteigerung um 61 % in 2003/2004
\$/t



Deutlich gestiegene Rohstoff- und Energiepreise
Chrom mit Preissteigerung um 60 % in 2003/2004
\$/t





Die Preisentwicklung bei den strategischen Rohstoffen und ihre Verknappung durch den Markteintritt Chinas und Indiens erfordern neue Strategien.

Materialeffizienz ist das Gebot der Stunde

Definition von Materialeffizienz

Das Verhältnis von mengenmäßigen Ertrag zum mengenmäßigen Materialaufwand.

Dem Anstieg der Arbeitsproduktivität um + 3.5 %
In den letzten Jahren steht ein Anstieg der
Materialproduktivität von nur + 2 % entgegen.

Quelle : Wikipedia

Materialeffizienz als Unternehmerische Aufgabe



Bei 60 % Materialkostenanteil
hat eine Kostenreduzierung von 3 %
den gleichen Effekt hinsichtlich der Rendite wie
eine Umsatzsteigerung von 60 %.

Quelle : Markt + Einkauf 4/2008

Strategien zur Materialeffizienz

- Standzeitverlängerung durch Verschleißschutz
- Materialerhaltung durch Reparaturbeschichtungen
- Bauteileinsparung durch 3D-Design beim Keramikspritzguss
- Geringer Materialabfall durch endkonturnahe Formgebung
- Geringer Materialaufwand durch Mikrokeramikspritzguss
- Prototyping in 3D-Präzision ohne Werkzeug

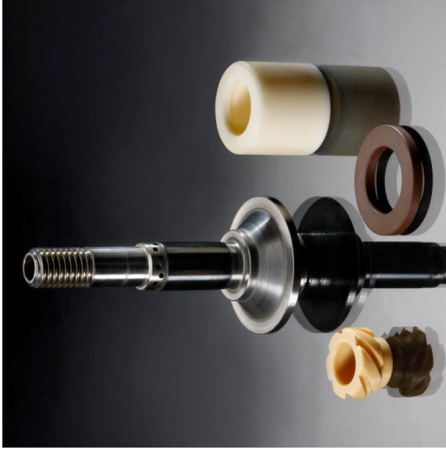
Materialeffizienz durch Verschleißschutz



Beispiel:

Sprüheinrichtung für abrasive Medien

- Standzeit vorher: 1 Arbeitstag
- Standzeit nachher: 3 Monate



Sprühkopf mit keramischer Beschichtung
Führungsbuchse aus weißen Aluminiumoxid Rapal
Führungsbuchse aus braunen Aluminiumoxid Rapox
Spiralring aus Zirconia M

Materialeffizienz durch Verschleißschutz

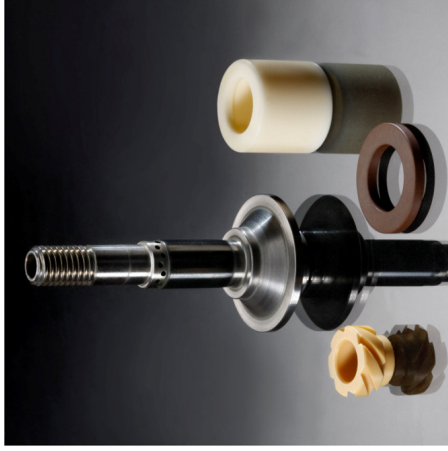
Eigenschaften der keramischen Werkstoffe

Aluminiumoxid ist

- hart und verschleißfest
- elektrisch Isolierend
- korrosionsbeständig
- formbeständig

Zirkonoxid ist

zusätzlich kantenfest und bruchzäh



Chromoxid als Beschichtungswerkstoff ist verschleißfest

Material-effizienz d. Keramische Beschichtungen



Prinzip des Thermischen Spritzens

In einer Plasmaflamme wird bei 10.000 °C bis 15.000 °C das zugeführte Keramikpulver innerhalb von 0,5 ms aufgeschmolzen und mit Schallgeschwindigkeit auf die durch Sandstrahlen aktivierte Metalloberfläche aufgespritzt.

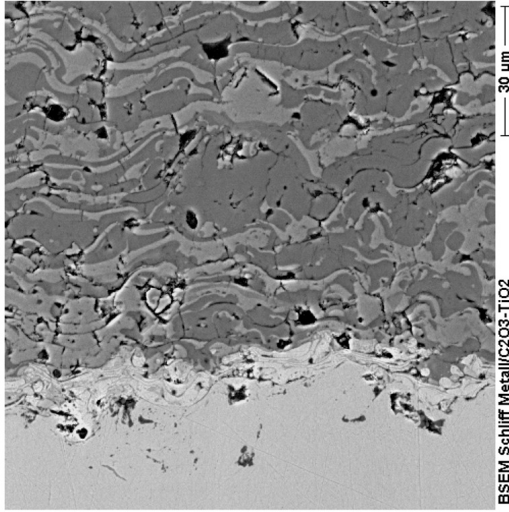


Typische Keramikwerkstoffe sind:
 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, Cr_2O_3 / TiO_2 , ZrO_2

Struktur der Keramikschicht

Die Keramikschicht hat eine poröse, lamellare Schichtstruktur mit einer Schichtdicke von $100\mu\text{m} \pm 30\mu\text{m}$.

Zur Verbesserung der Kantenfestigkeit wird eine Haftschrift aus CrNi auf die durch Sandstrahlen aufgeraute Metalloberfläche aufgespritzt.



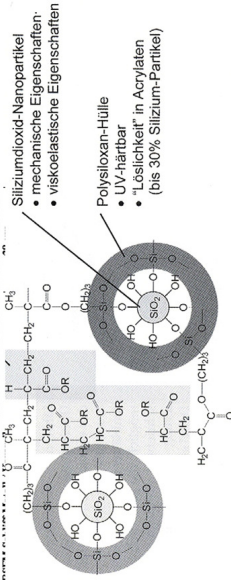
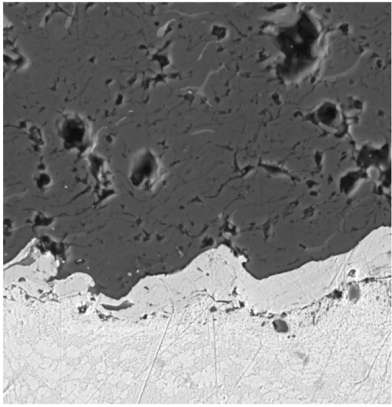
Zusätzlicher Korrosionsschutz: Nanocomposites



Mit neuer Nanotechnologie werden die Poren versiegelt.

Die Nanocomposites bestehen aus einem organischen Netzwerk mit SiO₂-Liganden.

Nach thermischer Nachbehandlung entsteht eine glasähnliche Struktur mit hydrophoben Eigenschaften.



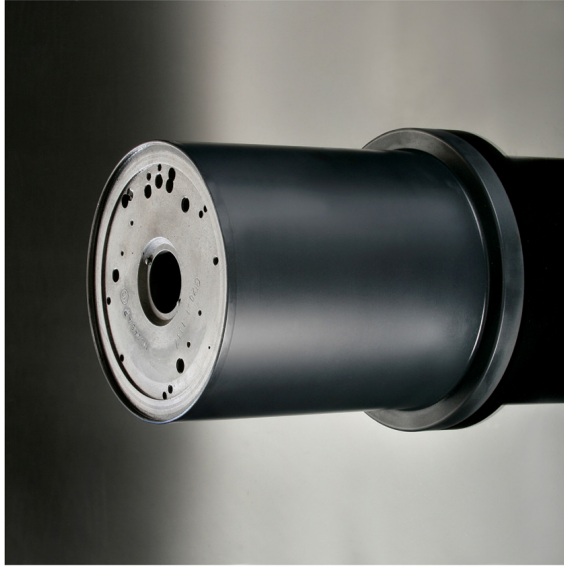
Materialeffizienz durch Materialerhaltung



**Beheizte Galette
für Textilmaschinen**

Reparaturbeschichtung

Schichtwerkstoff:
 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$
poliert



Material-effizienz durch



Elektrische Isolation bei $>200\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf kleinstem Raum

Bauteile für
Heißkanalsysteme

Keramikbeschichtung

Schichtwerkstoff:
 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$
mit geläppter Dichtfläche



Düsenkörper, Heizleiter, Isolerring

Material-effizienz durch



Elektrische Isolation bei >200 °C auf kleinstem Raum

Bauteile aus dem
Maschinenbau
mit filigranem Design

Keramikbeschichtung
Schichtwerkstoff:
99% Al_2O_3
weiß



Keramikbeschichtete Spulenkörper

Materialeffizienz durch Keramikspritzguss



Verfahren:

Keramikpulver plastifizieren,
spritzen
thermische entbindern,
Sintern bei $> 1.500^{\circ}\text{C}$
hartbearbeiten,
polieren,
montieren



Drallstopper für Textilmaschinen

Expertenkreis Keramikspritzguss



Der Expertenkreis hat sich die Aufgabe gestellt, den Keramikspritzguss als Marke zu etablieren.

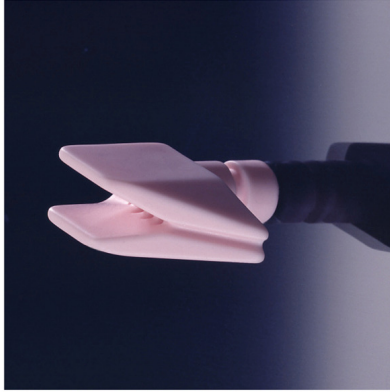
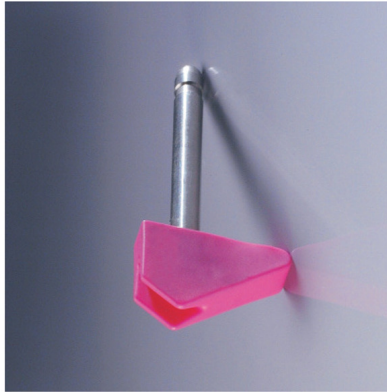
Die Vorteile des Keramikspritzgusses:

- komplexes 3D- Design
- endkonturnahe Formgebung
- filigrane Struktur
- Serienfertigung
- spart Bauteile ein
- spart teure Rohstoffe ein
- spart Raum und Gewicht
- spart Kosten

www.keramikspritzguss.eu

Materialeffizienz durch Keramikspitzguss

**3D-Komplexität
spart Bauteile ein**



Fadenöler an Spinnmaschinen

Material-effizienz durch Mikro-Keramikspitzguss



Spart

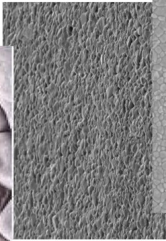
Raum und Gewicht

Konstruktionsbeispiele aus dem Maschinenbau, der Medizintechnik, der Sensortechnik und der Antriebstechnik.

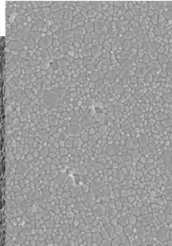
Materialeffizienz durch Mikro-Keramikspitzguss



99,7% Al_2O_3
Kristallitgröße:
50 μm



RAPAL 200
Kristallitgröße:
20 μm



RAPAL 300
Kristallitgröße:
2 μm



Rohstoffkosten: 1 : 3 : 30

Materialeffizienz durch Mikro-Keramikspitzguss



**Endkonturnahe
spart
teuere Rohstoffe**



**Konstruktionsbeispiele
aus dem Maschinenbau**

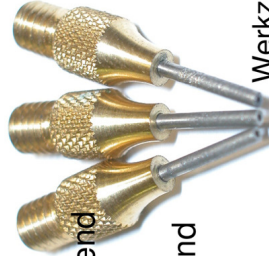
Materialeffizienz

beim Prototyping in 3D Präzision

Beim Ultrasonic-
Verfahren werden mit
Hilfe des inversen
Piezoeffekts mit
rotierenden

Diamantwerkzeugen
Materialpartikel schonend
abgetragen

Toleranzen von $\pm 0,1$ und
Ra-Werte von $0,3\mu\text{m}$
werden erreicht,

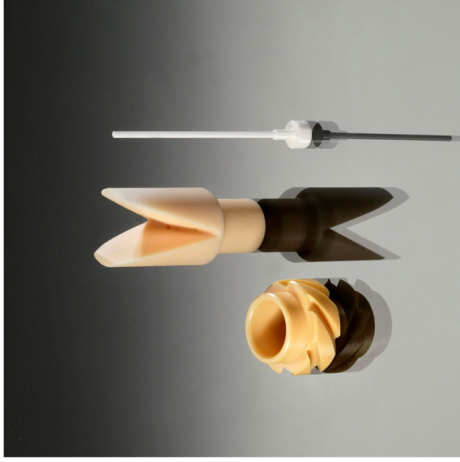


Werkzeuge für die Bearbeitung von
Prototypen

Materialeffizienz beim Prototyping

Das Ultrasonicverfahren ist im Gegensatz zu den generativen RP-Verfahren werkstoffkompatibel, d. h. Die Werkstoffeigenschaften haben Serienqualität.

In einer Aufspannung können Werkstoffvarianten ohne Rücksicht auf unterschiedliche Schwindungen endbearbeitet werden.



Konstruktionsbeispiele:
Spiralring, Ventilstößel, Fadenöler

Materialeffizienz beim Prototyping



In einer Aufspannung können geometrische Varianten (verschiedene Freiformflächen oder Bohrungen) spanend bearbeitet werden, ohne dass unterschiedliche Werkzeuge gebaut werden müssen. Damit werden Varianten erzeugt und optimiert.



Konstruktionsbeispiele:
Zahnrad für Rennrad,
Motorlamelle aus Zirkonoxid

Zusammenfassung und Ausblick



Materialeffizienz und
Energieeffizienz
am Beispiel eines innovativen
Pelletzünders aus
Aluminiumoxid.



Vorteile:

- kompaktes Design mit
geringem Materialaufwand
- preiswerter Keramikwerkstoff Aluminiumoxid
- geringere Regelaufwand