

Basiswissen Entgrattechnologie.

Praxisnaher Überblick aktueller Entgrat-
technologien und Präzisionsoberflächen.

Aktualisierte
Ausgabe

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort, Autorinnen und Autoren	5 – 6
 Mechanisches Entgraten mit Werkzeugen	8 – 11
 Bürstentgraten	12 – 14
 Gleitschleifen	16 – 19
 Thermisches Entgraten TEM	20 – 22
 Elektrochemische Metallbearbeitung ECM	23 – 25
 Hochdruckwasserstrahl-Entgraten HDW	26 – 27
 Kryogenes Entgraten	28 – 30
 Chemisches Badentgraten CBE	32 – 33
 Hochfrequentes Kugelroll-Entgraten	34 – 35
 Entgratverfahren Übersicht/Matrix	36 – 37
 Strahltechnik	
Strahlen mit abrasiven oder formgebenden Granulaten	38 – 40
CO ₂ -Schneestrahlen	41 – 43
CO ₂ -Trockeneisstrahlen	45 – 47
 Strömungsschleifen – Abrasive Flow Machining AFM	48 – 50
 Strömungsschleifen – Hydroerosive Bearbeitung HEG	52 – 54
 Laserentgraten	56 – 59
 Ultraschallentgraten	61 – 63
 Qualitätssicherung	64 – 67
 Automatisierung	68 – 70

Impressum

Herausgeber

fairXperts GmbH & Co. KG
Hauptstraße 7
72639 Neuffen
Deutschland
www.fairXperts.de

Konzept und Realisierung

WASSERBERG
Agentur für Kommunikation & Design GmbH
www.w-id.de

Wichtige Hinweise:

Der Nachdruck, auch auszugsweise, sowie jede gewerbliche oder sonstige Auswertung bedürfen der ausdrücklichen Zustimmung des Herausgebers. Jeder Haftungs- und Schadensersatzanspruch an die fairXperts GmbH & Co. KG ist ausgeschlossen bei fehlerhaften, unrichtigen oder versehentlich unterbliebenen Einträgen, gleichgültig ob die Ursache in den Unterlagen der Autor*innen, verspäteter Einsendungen oder in Fehlern bei der Broschürenbearbeitung bzw. -herstellung liegt.

Orientierungshilfe für maßgeschneiderte Entgratlösungen

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

nach DIN ISO 13715 ist ein Grat der Materialüberhang außerhalb der ideal-geometrischen Form einer Außenkante, der nach der mechanischen Bearbeitung oder einem Formgebungsprozess zurückbleibt.

Betrachtet man jedoch bereits die unzähligen Herstellungsverfahren, bei denen ein Grat entstehen kann, kommt man schnell zu dem Entschluss, dass man zur vollständigen Definition der Gratsituation technisch noch etwas tiefer in die Thematik einsteigen muss.

Ebenso wie die Herstellungsmethoden sind auch die Entgratverfahren selbst sehr vielfältig. Die Diskussion bezüglich technischer Machbarkeit vs. Zeichnungsvorgaben ist daher in vielen Fällen bereits vorprogrammiert.

Wie viel Entgratung benötigt mein Bauteil wirklich – Entschärfung, Entgratung oder Verrundung? Welche wirtschaftlichen Entgrattechnologien gibt es hierzu? Welche Anforderungen müssen neben der Entgratung am Bauteil noch erfüllt werden? Welche Messverfahren eignen sich zur Sicherung der Qualität?

Die Liste der Fragen im Verlauf einer Projektabwicklung ist nahezu unendlich.

In Zusammenarbeit mit Experten der Branche wurde erstmals zur **DeburringEXPO 2021** eine umfangreiche Broschüre herausgegeben, die Einflussfaktoren für die Auswahl des Entgratverfahrens, Stärken und Grenzen der Technologien, Nebeneffekte, die bei Entgratprozessen auftreten können sowie Möglichkeiten zur Qualitätssicherung und einiges mehr erörtert. Zusammen mit einer übersichtlichen Matrix unterstützt die Publikation Unternehmen dabei, schnell und einfach die für ihre individuelle Aufgabenstellung geeignete Methode zu finden.

Das Basiswissen Entgrattechnologie wird von den Anwendern aus allen Industriebranchen als Orientierungshilfe sehr geschätzt.

Vor Ihnen liegt die aktualisierte und im Bereich Verfahren, Automatisierung und Qualitätssicherung ergänzte Ausgabe 2023. Wir danken den beteiligten Autorinnen und Autoren sehr für ihre Mitarbeit und ihr praktisches Wissen.

Nutzen Sie unter Vorbehalt der Vollständigkeit, Entwicklungen und Machbarkeit bei konkreten Bedarfsfällen diese Orientierungshilfe zur maßgeschneiderten und wirtschaftlichen Lösung Ihrer Anforderungen.

Autorinnen und Autoren

Mechanisches Entgraten mit Werkzeugen

M.Sc. Christopher Krebs

Technische Universität Darmstadt PTW

Bürstentgraten

Tanja Frey

KULLEN-KOTI GmbH

Gleitschleifen

Michael Striebe

Rösler Oberflächentechnik GmbH

Thermisches Entgraten TEM

Ralf Krieger

Extrude Hone GmbH

Elektrochemische Metallbearbeitung ECM

Dipl.-Ing. (FH) Hans Joachim Konietzki

stoba Sondermaschinen GmbH

Hochdruckwasserstrahl-Entgraten HDW

Thomas Esche

BENSELER Entgratungen GmbH & Co. KG

Kryogenes Entgraten

Dipl.-Ing. Ralf Sinner

MEWO GmbH & Co. KG

Chemisches Badentgraten CBE

Thomas Esche

BENSELER Entgratungen GmbH & Co. KG

Hochfrequentes Kugelroll-Entgraten

Dipl.-Ing. Michael Krause

2K Maschinenbau GmbH

Strahlen mit abrasiven und formgebenden Granulaten

Michael Striebe

Rösler Oberflächentechnik GmbH

CO₂-Schneestrahlen

Dr.-Ing. Günther Schmauz

acp systems AG

CO₂-Trockeneisstrahlen

Christiane Rach, Sebastian Brenzinger

Cold Jet Deutschland GmbH

Strömungsschleifen – Abrasive Flow Machining AFM

Dr.-Ing. Detlef Bottke

4MI GmbH

Strömungsschleifen – Hydroerosive Bearbeitung HEG

Werner Riederer

Sonplas GmbH

Laserentgraten

Dipl.-Ing. (FH) Hans Joachim Konietzki

stoba Sondermaschinen GmbH

Ultraschallentgraten

Dipl.-Ing. Günter Hiedels, Dieter Münz

Weber Ultrasonics AG, ultraTEC innovation GmbH

Qualitätssicherung

M.Sc. Christopher Krebs

Technische Universität Darmstadt PTW

Automatisierung

M.Sc. Daniel Mayer

SCHUNK SE & Co. KG

Mechanisches Entgraten mit Werkzeugen

Verfahren

Das mechanische Entgraten mit Werkzeugen mit geometrisch bestimmter und mit geometrisch unbestimmter Schneide zählt zu den gezielt wirkenden Entgratverfahren. Es kommen dabei unterschiedliche Methoden zum Einsatz. Das manuelle Entgraten nutzt verschiedene handgeführte Spezialwerkzeuge. Automatisierte Lösungen auf Bearbeitungszentren oder mit Industrierobotern lassen sich in weggebundene und kraftgebundene Lösungen einteilen. Die Gemeinsamkeit der mechanischen Entgratverfahren liegt im spanabhebenden Trennen des Grats vom Werkstück.

Aufgabe/Einsatzbereiche

Das mechanische Entgraten wird in der industriellen Praxis nach wie vor am häufigsten zur Gratbeseitigung an Außen- und Innenkonturen eingesetzt. Anwendungen sind in nahezu jeder Branche zu finden. Im Vergleich zu ungezielt wirkenden Verfahren, beispielsweise thermisches Entgraten oder Gleitschleifen, wird nicht die komplette Werkstückoberfläche einer Wirkung ausgesetzt, sondern nur der jeweils betrachtete Teil einer Werkstückkontur. Während Bauteilaußenkonturen gut zu erreichen und somit einfach zu entgraten sind, ist die Zugänglichkeit bei Innenkonturen, wie sie bei Bohrungsverschneidungen (vgl. Bild 1 a) vorliegen, deutlich erschwert.

Anforderungen und Ziele

Die Bandbreite der mechanischen Verfahren reicht von einfachen Werkzeugen verbunden mit manuellen Tätigkeiten bis hin zu komplexen Lösungen. In der Einzelteil- oder Kleinserienfertigung reicht ein handgeführtes Entgraten in der Regel aus. Ab einer Mittelserienfertigung sollten jedoch im Interesse einer hohen und gleichbleibenden Qualität, automatisierte Entgratlösungen in Betracht gezogen werden. Aufgrund kluger weg- oder kraftgebundener Werkzeugkonzepte und Bahnberechnungsprogramme kann sich eine Fertigbearbeitung direkt auf einer Werkzeugmaschine lohnen.

Auf diese Weise würden lange Transport und Liegezeiten zu Lohnentgratern entfallen. Für nahezu alle Anwendungsfälle liefert das mechanische Entgraten unterschiedliche Lösungen, je nach spezifizierten Anforderungen an den Kantenzustand eines Bauteils. Aus diesen Gründen ist eine Einteilung bzw. eine Eingrenzung für das mechanische Entgraten kaum möglich.

Technische Lösungen

Beim manuellen Entgraten, Anfasen oder Gussputzen kommen handgeführte Schab-, Feil- oder Druckluftwerkzeuge zum Einsatz. Sie können je nach Gegebenheit mit unterschiedlichen Fräsern oder auch Werkzeugen mit geometrisch unbestimmter Schneide, z.B. Bürsten und Schleifstiften, bestückt sein.

Bei Werkzeugkonzepten, die einen automatisierten Einsatz auf Bearbeitungszentren, Dreh-Fräszentren, Industrierobotern oder getrennt konzipierten Entgratstationen erlauben, wird zwischen **kraftgebundene** und **weggebundene** Lösungen unterschieden.

Das Wirkprinzip kraftgebundener Werkzeuge beruht auf einer elastischen Biegung. Die Werkzeuge arbeiten rotierend, wobei die Schneide oder die Schneiden nicht starr, sondern beweglich gelagert sind.

Die eingesetzten Werkzeuge folgen dabei dem gleichen Wirkprinzip. Die Funktionsweise kann daher wie folgt beschrieben werden: Das Entgratwerkzeug wird unter Rotation mittig durch Quer- oder Hauptbohrung eingeführt, wobei der Bohrungseintritt wahlweise entgratet und das Schneidteil zum Bohrungszentrum hin unter Kraftwirkung eingelenkt wird. Die Entgratschneide gleitet im eingelenkten Zustand unter Federvorspannung beim Durchfahren der Bohrung an der Bohrungswand entlang. Sobald dieser Flächenkontakt in der Bohrungskavität verloren geht, klappt die Entgratschneide wieder aus. Bei der rotierenden Rückzugbewegung des Werkzeugs aus der Querbohrung gelangt die rückseitig schneidende Entgratschneide mit der gratbehafteten Kante in Eingriff, nimmt im Idealfall den Grat ab und er-

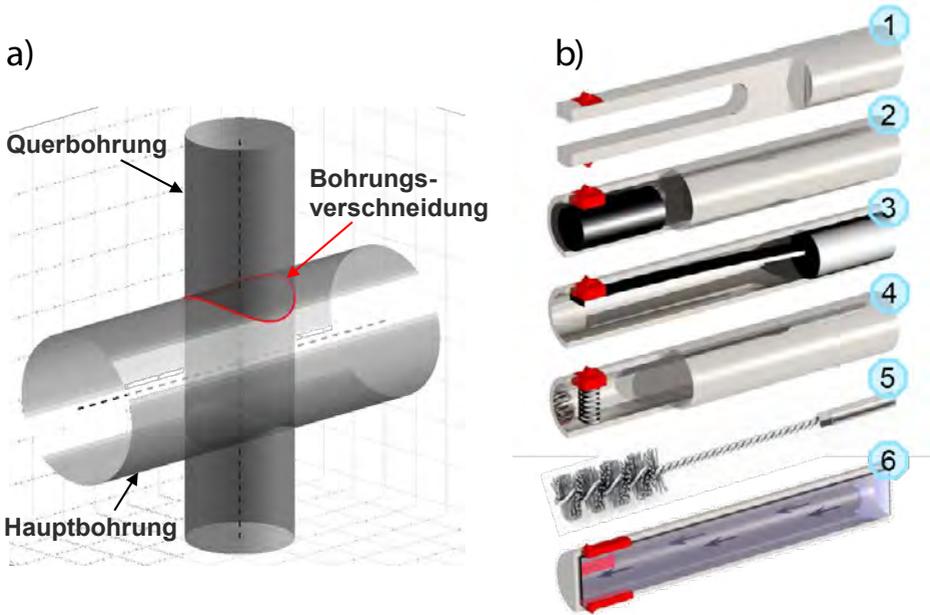


Bild 1: a) Darstellung einer typischen Kreuzbohrung aus Haupt- und Querbohrung b) Unterschiedliche Konzepte zur Realisierung der elastischen Schneidenlagerung: (1) Biegeträger (Gabel), (2) Elastomerlagerung, (3) Biegefeder, (4) Spiralfeder, (5) Mikro-Biegeträger (Bürste), (6) fluidisches Druckmedium (Quelle: PTW TU Darmstadt nach H.-M. Beier, Praxisbuch Entgrattechnik, Hanser 2015)

zeugt eine Fase. Der weitere Rückzug des Werkzeugs führt zu einer Erhöhung der Kontaktkräfte, bis schließlich das Schneidteil wieder in Richtung Bohrungsmitte einklappt und rotierend aus der Bohrung geführt wird. Die Entgratleistung und Fasenbreite wird hierbei durch die Federstärke des jeweiligen Biegeelements bestimmt.

Das Ausweichen der Schneide erfolgt hierbei entweder durch elastische Biegeträger (1), durch Elastomerlagerung (2), als Biege- (3) oder Spiralfeder (4), durch Mikro-Biegeträger wie bei Bürsten (5) oder über eine Medienzufuhr mit Luft oder Emulsion (6) (vgl. Bild 1 b). Für Bohrungsverschneidungen existieren Entgratlösungen, welche durch die Quer (vgl. Bild 2)- oder durch die Hauptbohrung (vgl. Bild 3) arbeiten, wobei die Wirkweise, der eines Bohrers ähnelt (hohe Drehzahlen, kleiner Vor-

schub in Bohrungsrichtung). Der Werkzeugdurchmesser ist nur geringfügig kleiner, als der jeweilige Bohrungsdurchmesser und somit unflexibel bezüglich unterschiedlicher Anwendungsfälle.

Weggebundene Lösungen auf Bearbeitungszentren oder mit Industrierobotern nutzen hingegen angepasste Fräs- werkzeuge unterschiedlicher Form. Die Werkzeuge werden dabei entlang einer vorher exakt berechneten Bahn geführt, die mit definierter Zustellung wiederholgenau den Grat abnehmen und eine Fase anbringen. Durch die starre Bahnführung erfordert der Einsatz von Fräs- werkzeugen zum Engraten oder Anfasen Werkstücke mit geringen Lagetoleranzen.

Die Bedeutung des Fräsens für das Entgraten nimmt durch die Entwicklungen der Steuerungen bei Bear- beitungszentren und Industrierobotern stetig zu. Für



Bild 2: Beispielhafte Auswahl an kommerziell erhältlichen Entgratwerkzeugen mit Arbeitsweise über Querbohrung, a) Gühring – Entgratgabel, b) Cogsdill – Burr-Off, c) Cogsdill – Burraway, d) Heule – Snap, e) Heule – Cofa, f) Heule – Cofa-X, g) JW Done – Orbitool, h) BRM – Flex-Hone, (Quelle: PTW TU Darmstadt)

Außenkanten existieren CAM-Berechnungsmodule zur Bahnführung von Kugelkopffräsern. Bei innenliegenden gratbehafteten Kanten stellt die Bahngenerierung für Entgratfräser die eigentliche Herausforderung dar.

Eine manuelle Ableitung einer Bahn aus dem CAD-Modell ist möglich, aber äußerst zeitaufwendig und qualitativ minderwertig. Da kommerzielle CAM-Softwareanbieter dafür bisher keine Lösungen geliefert haben, existieren Spezialisten. Sie stellen in Abhängigkeit der Verschneidungssituation eigens generierte Werkzeugbahnen zur Verfügung (vgl. Bild 4). Auf diese Weise lassen sich auch Werkzeugbahnen für komplexe Bohrungsaustritte generieren. Aufgrund der hohen Anforderungen an die Positionier- und Wiederholgenauigkeit werden diese Lösungen vorwiegend auf Bearbeitungszentren eingesetzt.

Beim Einsatz von Industrierobotern erfolgt die Bahnprogrammierung überwiegend durch Teachern der Roboterbahnen (Online-Programmierung) oder durch rechnergestützte Offline-Programmiersysteme. Dabei wird zwischen einer Werkstückhandhabung und einer Werkzeughandhabung unterschieden. In der Praxis realisierte Entgratlösungen mit Robotern umfassen größtenteils außenliegende Konturen. Bei der Außenkonturbearbeitung existieren auch Lösungen, die mit Toleranzausgleich ausgestattet sind. Diese Konzepte entsprechen einer Kombination aus weg- und kraftgebundenen Lösungen. Dadurch, dass Industrieroboter die hohen Anforderungen an die Positionier- und Wiederholgenauigkeit oft nicht erreichen, werden flexible Elemente (mechanische oder pneumatische Auslenkspindeln) genutzt. Sie regulieren den Anpressdruck auf die Kante und gleichen Positionsabweichungen aus.

Stärken und Grenzen

Das handgeführte Entgraten bietet oftmals Vorteile aufgrund hoher Flexibilität und geringem technologischen Aufwand und Equipment. Nachteile zeigen sich im hohen Zeitaufwand, in der schlechten Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und in einer geringen Prozesssicherheit. Das automatisierte Entgraten auf Bearbeitungszentren oder mit Industrierobotern zeichnet sich durch Wiederholgenauigkeit und hohe Prozesssicherheit aus. Eine Herausforderung bei der Entgratung innenliegender, gratbehafteter Kanten stellt die die Bahngenerierung für Entgratfräser dar.

Einflussfaktoren

- Wesentlichste Einflussfaktoren sind in der Matrix (Seite 36 – 37) aufgeführt
- Grattyp
- Grattyp
- Werkstoff

Qualitätssicherung

Abhängig von den Anforderungen an die entgratete Kontur, wie eine scharfkantig gratfreie Kante, eine definiert angebrachte Fase oder eine Verrundung kommen unterschiedliche Qualitätsparameter in Betracht. Gängige Werte sind beispielsweise eine Restgrathöhe von 50 µm oder eine Fasenbreite von wenigen Zehntelmillimeter. Wenn die Gratstelle zugänglich ist, kommen zur Überprüfung teilweise Mikroskope zum Einsatz. In der Praxis erfolgt jedoch zumeist eine manuelle, bzw. visuelle Kontrolle mit dem Finger, Auge oder mit Hilfe von optischen Endoskopen. Durch die Subjektivität des

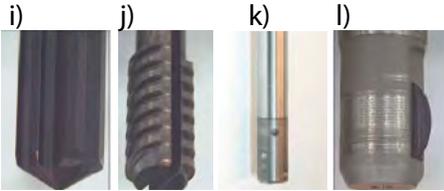


Bild 3: Beispielhafte Auswahl an kommerziell erhältlichen Entgratwerkzeugen mit Arbeitsweise über Hauptbohrung, i) Gühring – Entgratreibahle, j) Gühring – Entgratspirale, k) Dr.Beier-Entgrattechnik – HSD-Werkzeug, l) Heule – Snap-X, (Quelle: PTW TU Darmstadt)

Betrachters liefern diese Methoden jedoch keine objektiven Ergebnisse.

Automatisierung

Mechanische Entgratverfahren können sowohl durch den Einsatz von Werkzeugmaschinen als auch Industrierobotern automatisiert werden. Der Einsatz von Robotersystemen ist aufgrund ihrer vergleichsweise geringeren Investitionskosten und der Möglichkeit einer hauptzeitparallelen Einbindung in den Fertigungsprozess in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Die Nachteile der Robotersysteme, wie niedrigere Steifigkeiten und schlechtere Positioniergenauigkeit, können durch

entsprechende Ausgleichsmechanismen (vgl. Kapitel Automatisierung) kompensiert werden.

Die Automatisierung des mechanischen Entgratens stellt durch den notwendigen Programmieraufwand für Bearbeitungszentren und Industrieroboter gerade für kleine und mittelständische Unternehmen eine initiale Hürde dar, welche durch die Ausdehnung des Fachkräftemangels verstärkt wird. Um dieser Problematik entgegenzuwirken, entwickeln verschiedene Unternehmen in Zusammenarbeit mit Wissenschaft und Forschung neue Ansätze der automatisierten Programmierung mit einem speziellen Augenmerk auf der Einzelteillfertigung sowie der Kleinserie.

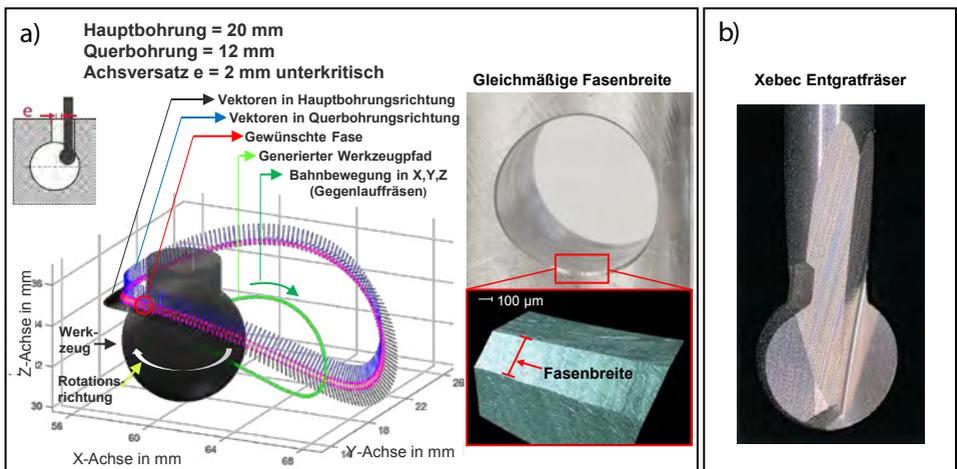


Bild 4: a) Werkzeugbahnsimulation für Kreuzbohrung mit 20 auf 12 mm b) Kugelkopf-Entgratfräser von Xebec, (Quelle: PTW TU Darmstadt)

Bürstentgraten



KULLEN-KOTI GmbH

Verfahren

Bürstentgraten ist ein rein mechanisches Verfahren für das Entgraten und Verrunden unterschiedlicher Werkstücke. Grate an den Bauteilen werden durch angetriebene Bürstwerkzeuge entfernt.

Das Wirkprinzip basiert auf einer Rotationsbewegung des Werkzeugs, wobei die Vorschub- und Zustellungsbewegung sowohl werkzeug- als auch werkstückseitig erfolgen kann. Durch die Rotation des Bürstwerkzeugs dringen die Borsten in die Werkstückoberfläche ein und verformen das Werkstück elastisch. Die Ermüdung des Materials führt dabei zur klassischen Wirkweise einer Bürste: Kleine Partikel brechen aus dem Werkstück aus, die Entfernung der Grate wird dadurch erreicht.

Je nachdem, ob abrasive Filamente oder Drähte als Besatzwerkstoff des Werkzeugs zum Einsatz kommen, wird von einer abschleifenden oder abschlagenden Wirkung gesprochen.

Aufgabe/Einsatzbereiche

Entgraten und Kantenverrunden zählen neben anderen Aufgaben, beispielsweise Entlacken, Entrostern, Aufrauen, Reinigung und Ableiten elektrostatischer Aufladung, zu den Haupteinsatzbereichen angetriebener Bürstwerkzeuge. Abhängig von der Bürstengeometrie und dem Besatzmaterial können komplette Grate entfernt, Flittergrate gelöst oder Kanten verrundet werden, um eine störungsfreie Weiterverarbeitung der Bauteile zu gewährleisten und das Verletzungsrisiko durch scharfe Kanten zu minimieren.

Bearbeitbare Werkstoffe: weicher und gehärteter Stahl, Edelstahl, Hartmetall, Sintermetall, Teile aus Aluminium, Kupfer, Messing, Kunststoffe, gesinterte Werkstücke und viele mehr.



Vor dem Bürstentgraten / KULLEN-KOTI GmbH



Nach dem Bürstentgraten / KULLEN-KOTI GmbH

Anforderungen und Ziele

Die Anforderungen an Entgratprozesse haben sich in den letzten Jahren stark verändert, so werden heute immer häufiger Kantenverrundungen im µm-Bereich gefordert. Innovative Weiterentwicklungen bei Besatzmaterialien sowie kontinuierlich optimierte Bürstenkörper machen die Bürste zu einem heute in allen Bereichen der verarbeitenden Industrie eingesetzten, kostengünstigen und flexiblen Entgratwerkzeug.

Abrasives Filamente lassen sich durch verschiedenste Kornarten (beispielsweise SiC, AlO, Diamant und Keramik) und Korngrößen – von Korn 36 bis Korn 8000 – an die jeweilige Aufgabestellung anpassen. Bei drahtbestückten Bürstwerkzeugen erfolgt diese Abstimmung durch Drähte in unterschiedlichen Härten und Durchmessern (0,06 – 1,2 mm), die gewellt, verseilt oder gezopft sind. Damit lässt sich bei Bedarf eine hohe Abtragsleistung bei langen Standzeiten erreichen.

Technische Lösungen

Die technischen Lösungen beim Bürstentgraten reichen von handgeführten Maschinen für eine manuelle Bearbeitung über einfache Tischmaschinen bis zu vollautomatisierten Entgratzellen. Die Veränderung der Bürstenparameter (z. B. Geometrie und Besatzmaterial) ermöglicht, bei nahezu allen technischen Werkstoffen unterschiedlichste Anforderungen an Oberfläche, Kantenverrundung, Taktzeit und weitere Spezifikationen zu erfüllen.

Durch den Einsatz spezieller Anlagen lassen sich somit auch hochdynamische Feinstschleifprozesse realisieren, die als mechanisches Verfahren für das reproduzierbare Entgraten und Verrunden verschiedenster Schneidkanten von Wendeschneidplatten und Schaftwerkzeugen sowie eine Vielzahl von Präzisionsteilen Anwendung findet.