

Optimale KSS-Düsenkonzepte mit additiv gefertigten Teilen

Jean-Claude Montandon

JCM ToolTec GmbH

Geschäftsinhaber

jc.montandon@jcm-tooltec.ch



Einleitung:

Forderungen aus der Großserien-Produktion mit Schleifprozessen und die Erkenntnisse, dass die **KSS (KühlSchmierStoff)**-Versorgung einer der großen Energieverbraucher in Schleifprozessen ist, aber auch das stark zunehmende Bewusstsein der Wichtigkeit des Kühlschmierens in der Industrie, waren die Hauptmotivation das Projekt "Entwicklung eines KSS-Düsenkonzepts" zu realisieren. Die zukunftssträchtige additive Fertigungstechnologie bietet dazu sehr gute Möglichkeiten. Für die Firma JCM ToolTec GmbH war es sehr wichtig das passende Team und Netzwerk auch mit Industriepartner zu bilden. Für die teils sehr aufwendigen Untersuchungen und für Applikationen ist zudem der Kontakt bzw. die Unterstützung von Instituten und den entsprechenden Kunden in der Industrie entscheidend. Der folgende Artikel basiert auf den in den letzten Jahren von uns gemachten Erfahrungen und weniger auf theoretischen Betrachtungen bzw. quantitativen Versuchsergebnissen.

Wie kann Energie gespart werden?

Umfangreiche Messungen in einer Großserien Produktion von Einspritzdüsenkörper haben gezeigt, dass die KSS Aufbereitung ein großer Anteil des Energieverbrauches am Schleifprozess darstellt. Es ist deshalb wichtig den gesamten KSS-Kreislauf zu prüfen bzw. optimal ausulegen. Wie diverse Untersuchungen aber auch die Erfahrung zeigen, kann abhängig von der Applikation nur eine gewisse Menge KSS durch den Schleifspalt und damit aktiv in den Schleifprozess gebracht werden. Diese Menge ist abhängig von der

Schleifscheibenspezifikation, der KSS-Düse, der Umfangsgeschwindigkeit sowie den KSS Parametern Austrittsgeschwindigkeit und Aufprallpunkt.

Folgend wichtige Punkte, welche für ein energieeffizientes KSS-System zu beachten sind:

- Nur so viel KSS wie nötig an den richtigen Ort im Schleifprozess
- Grundsätzlich sind Turbulenzen zu vermeiden
- Gut dimensionierte Zuführung mit möglichst wenig Schikanen, Ecken und Ventilen
- Passende KSS-Anlage
- Prozess optimale KSS Parameter (Verhältnis Umfangsgeschwindigkeit zu Austrittsgeschwindigkeit, Schleifspaltdurchlass)
- Strömungstechnisch optimale KSS-Düse.

Bewusstsein für Wichtigkeit des Kühlschmierens:

In den letzten Jahren hat das Bewusstsein der Industrie bezüglich Kühlschmierens insbesondere im Bereich der Düse stark zugenommen. In Verbindung mit der Energieeffizienz einer Maschine aber auch im Rahmen von Industrie 4.0 wird dem Thema KSS-Düsen und deren Prozessparameter immer mehr Stellenwert gegeben. Dabei geht es nicht nur um den Schleifprozess selbst sondern auch um Themen wie Modularität, Standzeit, Umrüstkfreundlichkeit etc.

Düsent Technologien:

Je nach Applikation und benötigten KSS-Parametern wird die Energie optimierte Freistrahldüsenteknik (FS) bzw. optimierte Schuhdüsenteknik (OS) angewendet. Die Düse wird grundsätzlich in die folgenden Bereiche unterteilt:

- Anschlussbereich
- Beruhigungsbereich
- Umformbereich
- Druckstufe
- Freistrah- bzw. Beschleunigungsbereich
- Windabweiser

Unter Berücksichtigung der Applikation und von gewissen Strömungsparametern kann die Düsenstruktur passend ausgelegt werden. Sehr oft kommt es vor, dass ein Kompromiss eingegangen werden muss, weil die Platzverhältnisse oder eine bestehende KSS Anlage kein optimales Design erlauben. Wichtig für die Auslegung ist der sogenannte Designraum (3D), welcher mit dem Schleifprozess bzw. Aufgabe die Hauptbasis für die Auslegung der Düse bildet. Bei neueren Maschinen können dazu oft bestehende 3D-Daten übernommen werden, bei bestehenden

bzw. älteren Maschinen müssen dieser zuerst mittels Checkliste und gemessenen Werte ermittelt und erarbeitet werden.

Wichtige Kriterien bei der Auslegung von KSS-Düsen:

Damit eine möglichst energieeffiziente, optimale KSS-Düse und somit ein optimaler KSS Strahl realisiert werden kann, müssen gewisse Kriterien bei der Auslegung der Düse beachtet werden:

- Grundsätzlich sind die strömungstechnischen Faktoren (Längen-/Querschnittverhältnisse, Form und Grösse der Druckstufe, innere Oberfläche etc.) zu beachten.
- Turbulenzen sollten unbedingt vermieden werden, d.h. keine hervorstehenden Kanten und keine abrupten Richtungsänderungen im Inneren der Düse.
- Die Druckstufe sollte der Applikation entsprechend gewählt werden. Grundsätzlich je grösser je besser.
- Der Beruhigungsbereich ist ebenfalls der Applikation anzupassen.
- Die Innenoberfläche ist der Strömungsgeschwindigkeit entsprechend möglichst fein auszulegen. Grundsätzlich je höher die Geschwindigkeit je feiner die Oberfläche.
- Der Freistrahلبereich ist ebenfalls den Anforderungen entsprechend auszulegen.
- Grundsätzlich wird die Austrittskante scharfkantig, gratfrei realisiert. Es kann aber auch ein feiner Radius zur Vermeidung des Einschnüreffektes beim KSS Strahl angebracht werden.
- Der Einsatz eines Windabweisers wird empfohlen.
- Der Designraum ist unbedingt zu beachten (Kollisionen)

Wie die Praxiserfahrung zeigt, kann eine Düse je nach Applikation nicht immer energiespar optimal ausgelegt werden (Restverschmutzung KSS, Werkstückkühlung etc.). Es ist deshalb sehr wichtig, sich bei der Aufgabenstellung bewusst zu werden, was die Düse alles erfüllen soll:

Mögliche Aufgaben einer KSS-Düse:

- Schleif- und Abrichtprozess kühl schmieren
- Werkstück kühlen
- Reinigen Schleifscheibe
- Funken löschen
- Späneabfuhr
- Spritzschutz

Additive Fertigungstechnologie (AM):

Die AM Technologie erlaubt ein schnelles und wirtschaftliches Herstellen im Besonderen von Strömung optimierten Düsen. Dabei werden die folgenden Hauptmethoden unterschieden:

- SLS (Selective Laser Sintering)
- SLA (Stereolithographie)
- SLM (Selective Laser Melting)

Es können diverse Kunststoffe, Metalle aber auch Mischungen verarbeitet werden.

Vor allem wegen den Oberflächenanforderungen im inneren Bereich haben wir uns im Moment auf das SLA und SLM Verfahren konzentriert. Es hat sich zudem gezeigt, dass die Düse in AM und konventionell hergestellte Teile aufgeteilt werden sollte. Zudem sind je nach Toleranzen und Anforderungen Nachbearbeitungen zwingend notwendig. Die AM technischen Bedingungen müssen bereits bei der Konstruktion berücksichtigt werden und sind je nach Verfahren unterschiedlich.

Vor allem bei den im SLM Verfahren hergestellten Metall-Düsen ist die Optimierung der Strömungs-Innenkontur die große Herausforderung. Je nach Kontur müssen dazu verschiedene Verfahren angewendet werden.

Um die Festigkeit von Kunststoff-Düsen zu erhöhen, können diese mit einem speziellen Verfahren metallisch beschichtet werden.

Als großen Vorteil der AM Technologie erachten wir Reproduzierbarkeit, die sehr kurze Herstellzeit, teils die Kosten und die fast unbeschränkten Designmöglichkeiten (Strömungstechnik, Platz).

Düsenvarianten:

Grundsätzlich wird zwischen Standard und applikationsspezifischen Düsen unterschieden. Bei den applikationsspezifischen Düsen ist die Ausgangsbasis immer der sogenannte Designraum, welcher die schleiftechnischen Bedingungen (Schleifscheibenprofil etc.) und die massgebenden Platzverhältnisse definiert. Weil die Applikationen meistens sehr unterschiedlich sind und wir Düsen spezifisch optimal auslegen, gibt es im Bereich Standarddüsen lediglich nur ein Produkt speziell für das Abrichten bzw. Werkzeugeschleifen.

Wir unterscheiden zu Zeit die folgenden Düsenvarianten:

Aufteilung nach Herstellverfahren:

- 2-teilige Kunststoff / Metall Düse (SLA / konventionell)
- 2-teilige Kunststoff / Metall Düse (SLA / konventionell) metallisch beschichtet
- 1-teilige Metalldüse (SLM)
- Mind. 2-teilige Metalldüse (SLM, AM / konventionell hergestellt)

Aktuelle Aufteilung nach Düsen-Typ:

- FS Düse (**Abbildung 1**)
- OS Düse (**Abbildung 2**)

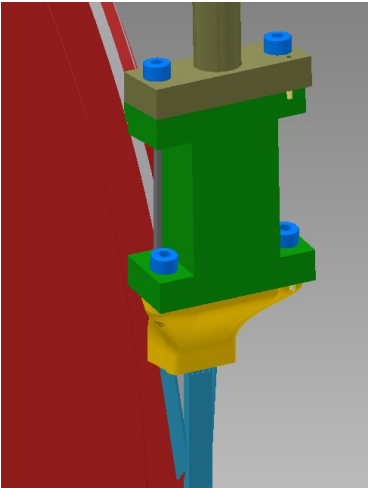


Abbildung 1: FS-Düse modular metallisch

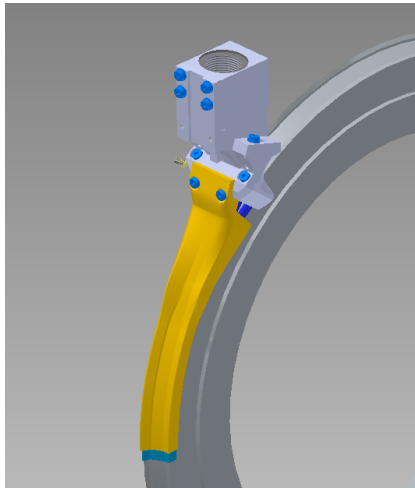


Abbildung 2: OS-Düse

Für die Wahl des Düsen-Typs bzw. Herstellverfahrens sind grundsätzlich die folgenden Entscheidungskriterien zu beachten:

- Schleifapplikation
- Aufgaben an Düse
- KSS-Druck und Volumenstrom
- Leistungs- und Schaltcharakteristik der KSS-Pumpe
- Platzverhältnisse
- Kosten

Strömungssimulationen:

Die Strömungssimulation erlaubt uns bestehende Konstruktionen zu analysieren / optimieren bzw. neue Applikationen zu beurteilen / auszulegen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine solche Simulation immer eine theoretische Betrachtung ist und die tatsächlichen Gegebenheiten nicht vollumfänglich abgebildet werden können.

Mittels Strömungssimulationen kann eine Konstruktion auch bezüglich Turbulenzen beurteilt und somit optimiert werden, da Turbulenzen meistens einen Energieverlust darstellen. Wir können mit der Simulation je nach Ausgangsgrößen auch Werte wie Austrittsgeschwindigkeit, Drücke und Volumenströme berechnen und farblich darstellen (**Abbildung 3**). In der Regel wird der Düseneingangsdruck als Basis genommen und daraus den Volumenstrom bzw. die Austrittsgeschwindigkeit berechnet. Bei geregelten Pumpen können mit mehreren Simulationsläufen auch Kennlinien einer Düse erarbeitet werden. Simulationen sind je nach Rechner sehr Zeit intensiv und aufwendig. In den Darstellungen in diesem Artikel stellen die Farbe jeweils die Strömungsgeschwindigkeiten dar (blau=tief, rot=hoch).

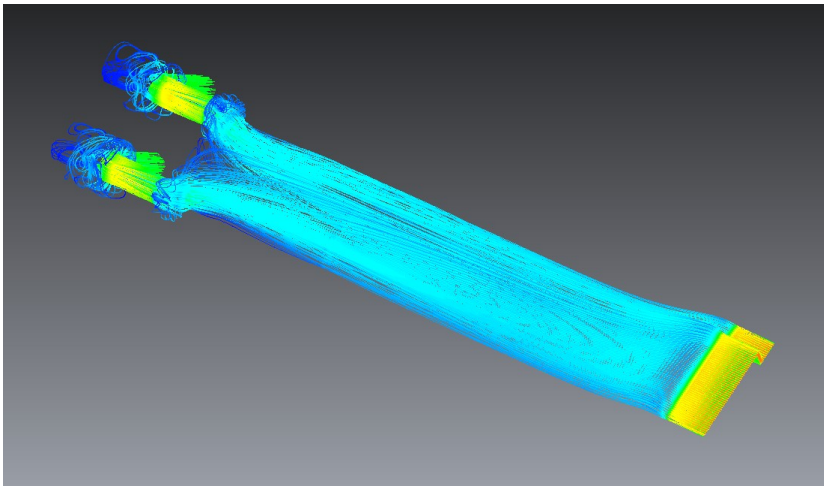


Abbildung 3: Strömungssimulation FS-Düse

Erfahrungsbasierende Konzentration JCM ToolTec GmbH:

Aus mehreren Jahren Erfahrung werden die folgenden Technologien bevorzugt eingesetzt:

- Modulare Struktur von KSS-Düsen (Anschluss, Grunddüse, Düseneinsatz, Windabweiser)
- Hauptsächlich mehrteilige Metaldüsen
- FS- und OS Düsen
- Multijet Strahlformen
- Einrichtkonzept Version metallische Einrichteinheit
- Schnellwechselsystem mit Bügel

Im folgenden Kapitel werden typische Applikationen vorgestellt:

Applikation Standard Düse für Abrichtwerkzeuge / Werkzeugschleifen, JCM ToolTec GmbH:

Wie die Praxis zeigt, wird das Kühlschmieren beim Abrichten sehr oft unterschätzt, jedoch für den folgenden Schleifprozess eminent wichtig. Um ein optimales und werkzeugschonendes Abrichten zu erreichen, ist ein optimales Kühlschmieren wichtig. Für das CNC mässige Abrichten mittels stehenden oder rotierenden Werkzeugen wurde ein modulares Konzept entwickelt. Es basiert auf drei verschiedenen Anschlussstücken sowie zwei klassischen INOX Rohren, welche individuelle eingestellt und unabhängig mit AM gefertigten Einsätzen bestückt werden können (**Abbildung 4/5**). Als Standard-Einsätze stehen verschieden Profile zu Verfügung. Es können aber auch in kurzer Zeit kundenspezifische Einsätze mit beliebigem Profil realisiert werden.

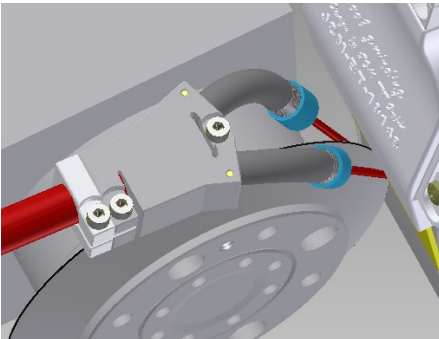


Abbildung 4: Standarddüse Formrolle



Abbildung 5: Standarddüsen modular

Applikation Centerless 4-fach Teile Aussenschleifen, Schaudt Mikrosa:

In Großserie werden auf einer Schaudt Mikrosa Centerless Schleifmaschine 4 Stk. gleiche Teile gleichzeitig mittels Einstechschleifen außengeschliffen. Die Herausforderung war vor allem im sehr beschränkten Platz optimale KSS-Düsen insbesondere für die kritischen Schulterbereiche zu realisieren (**Abbildung 6**). Die Aufgabe wurde mittels AM gefertigten Kunststoffdüsen metallisch beschichtet mit Alu Anschlussklemmstück erfolgreich gelöst (**Abbildung 7**).

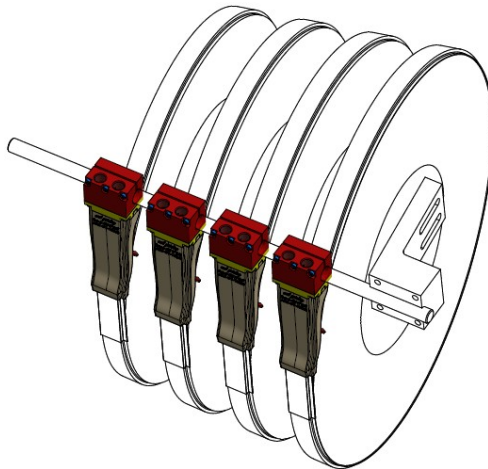


Abbildung 6: Applikation 4-fach Centerless Schaudt Mikrosa



Abbildung 7: FS-Düsen Kunststoff metallisch beschichtet

Applikation HSG Schleifen von Präzisionsteilen, FISCHER AG Präzisionsspindeln:

Auf einer Studer S41 Maschine werden hochgenaue Präzisionsteile vollautomatisch aussen rund geschliffen. Die Herausforderung waren vor allem die großen beidseitigen Schulterbereiche sowie die feine Oberfläche. Das Ziel war ein Düsenkonzept für das Vor- und Fertigschleifen für relativ hohen KSS Druck zu realisieren. Die Aufgabe wurde mittels modularen, metallischen KSS-Düsen gelöst. Dabei wurde der Anschluss als Rohr, die Grunddüse in Alu und die beiden spezifischen Düseneinsätze in AM gefertigtem und gehärtetem INOX realisiert. Für eine optimale Strahlbildung und möglichst hohe Austrittsgeschwindigkeit wurde die Multijet-Technologie gewählt (**Abbildung 8**).



Abbildung 8: FS-Düsen Multijet modular

Applikation Innenschleifen in Großserie:

Bei einem namhaften Kugellagerhersteller muss eine strukturierte Bohrung in Großserie möglichst wirtschaftlich geschliffen werden. Dafür wurde das speziell für das Innenschleifen entwickelte spezifische KSS-Düsenkonzept eingesetzt. Dieses besteht aus einem Klemmring, welcher auf der Schleifspindel befestigt wird, einer Verstelleinheit mit Klemmanschlussstück sowie einer Grunddüse mit spezifischen, schraubbaren Düseneinsätzen. Die Düseneinsätze wurden so in Multijet-Technologie ausgelegt, dass sie den Schleifbereich optimal über den ganzen Schleifscheibenbereich abdecken (**Abbildung 9**).

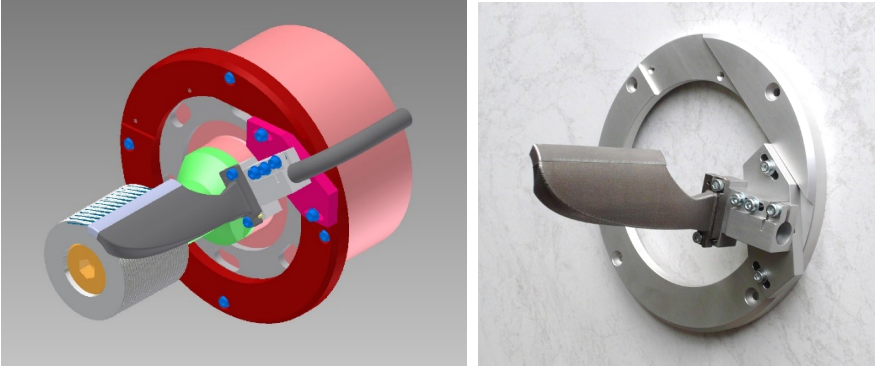


Abbildung 9: Düsenkonzept Innenschleifen

Weitere Applikationen und Bilder finden Sie auf unserer Website www.jcm-gmbh.ch.

Zusammenfassung:

Auf Schleifmaschinen Energie zu sparen, war für die Firma JCM ToolTec GmbH die große Motivation die Entwicklung von **KSS (KühlSchmierStoff)**-Düsen in Verbindung mit additiv gefertigten Teilen (AM Technologie) zu realisieren.

Die Grundidee dabei war „nur da mit dem minimalen KSS Aufwand kühl schmieren wo nötig“.

Die sich rasch weiterentwickelnde AM Technologie, das Wissen und die jahrelange Erfahrung der Firma JCM ToolTec GmbH erlauben optimale Düsen effizient zu realisieren. Das Ergebnis sind Strömung und Platz optimale Düsen.

Für die sehr unterschiedlichen Applikationen, kann mit der entsprechenden Technik die passende Düse realisiert werden. Entscheidend ist die richtige Kombination von Design, Materialien und Herstellverfahren. Mittels Strömungssimulationen können Düsen optimal ausgelegt und wichtige Parameter besser abgestimmt werden. Für bestmögliche Resultate ist eine ganzheitliche Betrachtung der Applikation wichtig, d.h. es ist sinnvoll das gesamte Aufgabenspektrum einer Düse aber auch die ganze KSS-Zuführung mit zu berücksichtigen.

JCM ToolTec GmbH bietet mit kleinem, gut organisiertem Netzwerk effiziente und schnelle Realisierung auch von applikationspezifischen, komplexen KSS-Düsen.

Schlusswort:

Unsere Erfahrungen in den letzten fünf Jahren haben gezeigt, dass sich die AM Technologie sehr gut für die Herstellung von bestimmten KSS-Düsenteilen eignet. Insbesondere bei Applikationen mit profilierten Schleifscheiben bzw. für Düsen mit mehreren Funktionen können Düsen optimal ausgelegt werden. Die schnelle Weiterentwicklung der AM Technologie auch mit neuen Materialien wird zudem in Zukunft noch mehr Möglichkeiten bzw. Prozessvereinfachungen ermöglichen, was sich schlussendlich weiter auf Qualität und die Kosten auswirken wird.

Wir freuen uns auf eine vielversprechende Zukunft und möglichst viele interessante Düsen Herausforderungen.

Danksagung:

Unser Dank gilt hauptsächlich all unseren Partner im Netzwerk sowie den folgenden Kunden und Instituten, welche uns in jeglicher Hinsicht sehr gut unterstützt haben:

- Schaudt Mikrosa GmbH, Saarländerstrasse 25, D-04179 Leipzig, Germany
- FISCHER AG Präzisionsspindeln, Ernst Fischer Weg 5, CH-3360 Herzogenbuchsee Schweiz