

Umformtechniker walzen metallische Haifischhaut

Die Notwendigkeit zur Senkung des globalen CO_2 -Ausstoßes fordert eine höhere Energieeffizienz moderner technischer Produkte in vielen Bereichen des täglichen Lebens. Beispielsweise kann der Treibstoffverbrauch und damit der Schadstoffausstoß eines Flugzeuges durch kleinste Rippenstrukturen – so genannte Riblets – auf der Außenhaut und auf Triebwerksteilen, wie beispielsweise Fan- und Verdichterschaufeln, merklich reduziert werden. Ein Team aus Ingenieuren beschäftigt sich in dem durch die VolkswagenStiftung finanzierten Verbundprojekt „RibletSkin“ mit der Herstellung und Optimierung eben dieser Riblet-Strukturen durch angepasste Walztechniken. Funktionale Oberflächenstrukturen spielen eine zunehmende Rolle bei modernen Produkten. Sie haben nicht nur einen Einfluss auf das Aussehen, sondern auch auf das Verschleißverhalten, das Reflexionsvermögen und viele weitere Eigenschaften. Eine gezielte funktionale Optimierung der Produkte ist je nach gewünschter Funktion durch geeignete Oberflächenstrukturen möglich. Doch wie sehen solche Strukturen aus? Nicht selten greifen Ingenieure bei der Produktentwicklung auf Lösungsansätze aus der Natur zurück. So hat auch im Bereich funktionaler Oberflächen der bionische Gedanke zur Umsetzung beeindruckender Natur-Effekte in technischen Anwendungen beigetragen, wie die Ausnutzung des Lotus-Effektes zur Reinigung von Oberflächen und das Prinzip des Klettverschlusses eindrucksvoll beweisen.

Vor diesem Hintergrund kommt im Bereich der Strömungsmechanik speziell den oben genannten Riblets eine herausragende Bedeutung zu, siehe Bild 1. Diese kleinen Rippenstrukturen, die der Paläontologe Ernst Reif in den 1980er Jahren auf den Hautschuppen schnell schwimmender Haie nachgewiesen hat, ermöglichen eine Reduzierung der Reibungsverluste an der Haihaut und verschaffen dem Hai somit Vorteile bei der Jagd. Übertragen auf technische Anwendungen können Riblet-Strukturen beispiels-

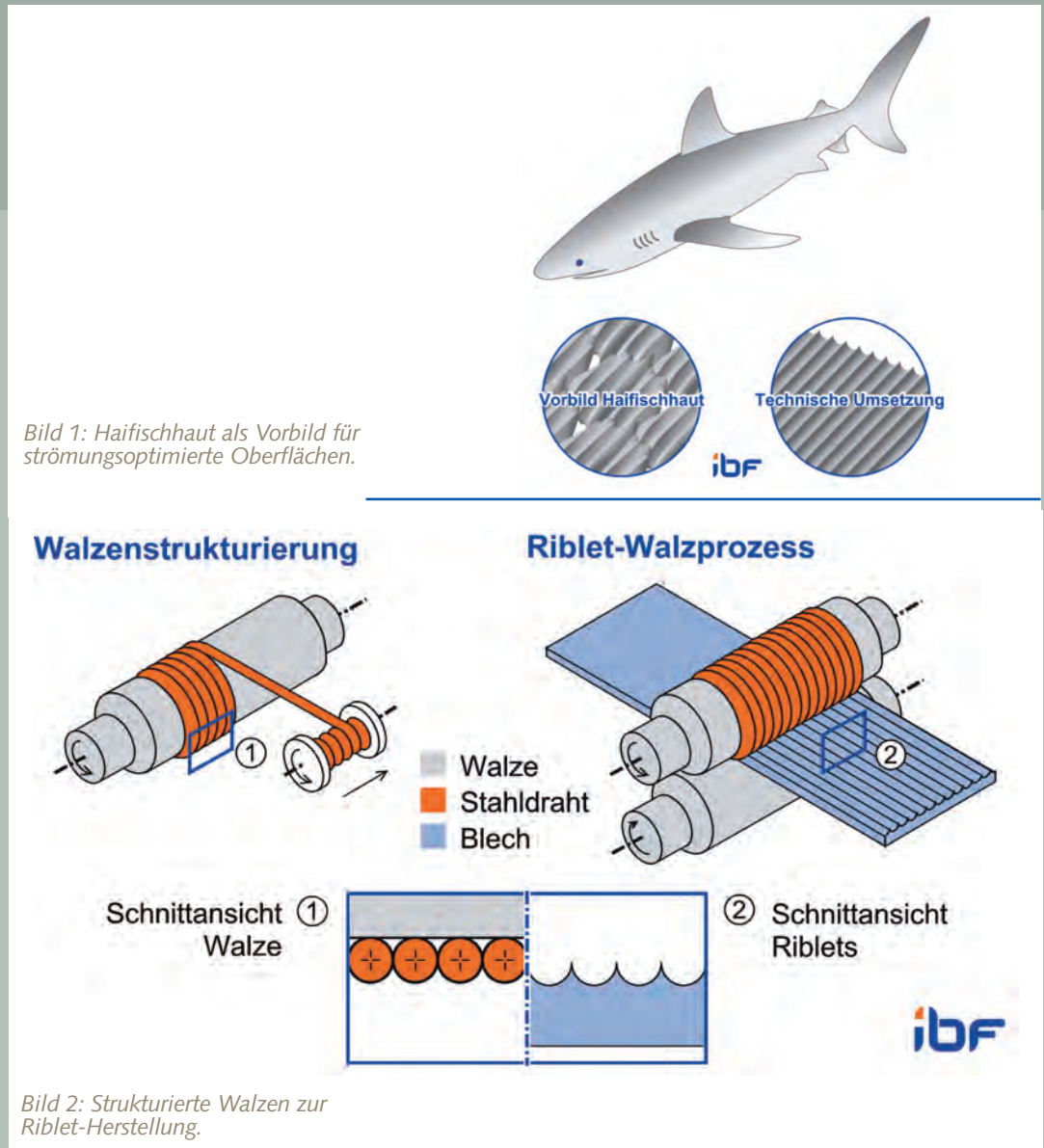


Bild 2: Strukturierte Walzen zur Riblet-Herstellung.

weise eingesetzt werden, um die Reibungsverluste an der Außenhaut von Flugzeugen, Hochgeschwindigkeitszügen oder auf Verdichterschaufeln in Flugzeugtriebwerken zu vermindern. Dadurch kann die Energieausnutzung und somit der Wirkungsgrad erhöht werden, was einen verringerten Schadstoffausstoß mit sich bringt.

Bislang konnten einsatzfähige Riblet-Strukturen nur auf Kunststofffolien realisiert werden. Diese können jedoch den mechanischen oder thermischen Anforderungen der genannten Anwendungsbeispiele nicht immer nachkommen. Zudem wird das Bauteilgewicht durch aufgeklebte Folien zusätzlich erhöht, was dem Ziel der Treibstoffeinsparung entgegensteht. Daher

werden vermehrt Ansätze verfolgt, Riblet-Strukturen direkt in metallische Oberflächen einzubringen.

Bei der Auswahl eines geeigneten Strukturierungsprozesses für metallische Oberflächen müssen neben der gewünschten Funktionsstruktur auch die Größe und Form des Bauteiles sowie das Material als wichtige Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Die sehr großen Außenhautteile von Zügen oder Flugzeugen können zum Beispiel aus relativ weichem Aluminium bestehen, wohingegen die vergleichsweise kleinen Verdichterschaufeln in Flugzeugturbinen aus sehr festen Stahl- oder Titanwerkstoffen hergestellt werden müssen. Da sich bei der Strukturierung dieser sehr unterschiedli-

chen Bauteilgrößen und Werkstoffe spezifische Anforderungen ergeben, sind auch angepasste Verfahren bei der Bearbeitung dieser Materialien notwendig. Walzen ist in der Blechverarbeitung eine weit verbreitete Technik, die zu den Verfahren der Umformtechnik zählt. Umformtechnische Verfahren besitzen gegenüber anderen Fertigungsverfahren einige Vorteile, von denen hier beispielhaft zwei genannt werden: Das Material wird fast vollständig eingesetzt, um das fertige Bauteile zu formen. Das bedeutet, dass beispielsweise im Gegensatz zum Fräsen keine Späne anfallen, die in nachgeschalteten Prozessen recycelt werden müssen. Zudem weisen umformtechnisch hergestellte Produkte durch Effekte im We-

Untersuchung neuer Methoden zur Herstellung strömungsoptimierter Metalloberflächen

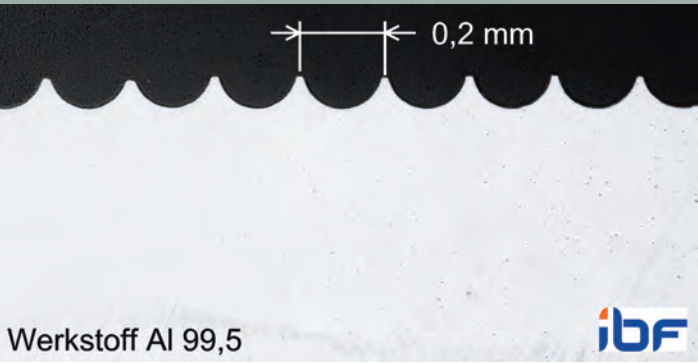


Bild 3: Querschliff gewalzter Riblet-Strukturen.

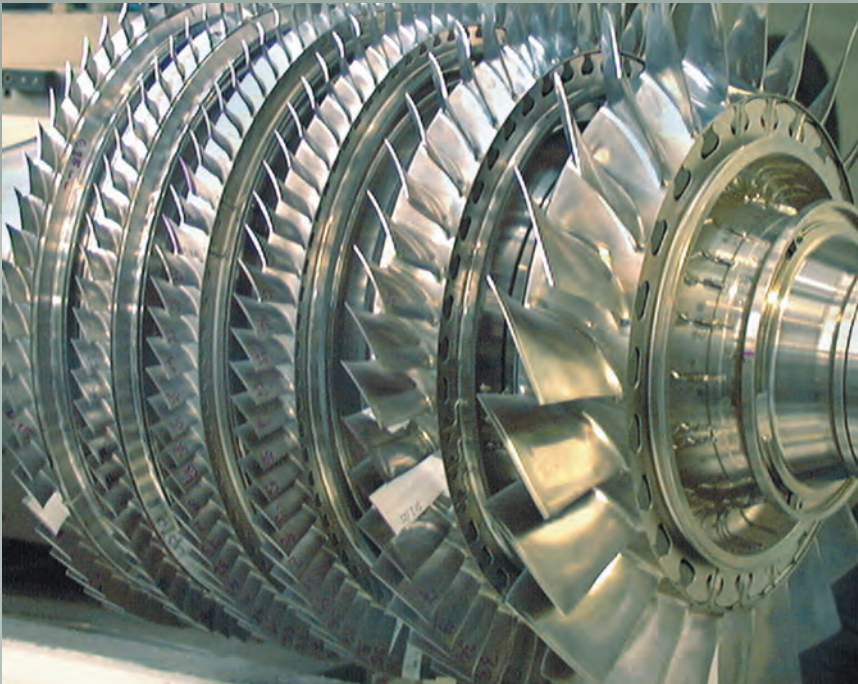


Bild 4: Hochdruckverdichter (oben) und Niederdruckverdichter (unten).
Quelle: MTU Aero Engines

stoffgefüge verbesserte Festigkeitseigenschaften im Vergleich zum Ausgangswerkstoff auf. Darüber hinaus können insbesondere Walzverfahren auch zur Herstellung feiner Rillenstrukturen eingesetzt werden, wie beispielsweise das Walzen von Schraubengewinden zeigt. Aus diesen Gründen wird an der RWTH Aachen der Walzprozess zur Herstellung reibungsverminderter Riblet-Strukturen untersucht. Hierbei werden zur Strukturierung von Aluminiumbauteilen einerseits und Titanbauteilen andererseits zwei unterschiedliche und jeweils neuartige Walzverfahren eingesetzt.

Am Institut für Bildsame Formgebung, kurz IBF, erfolgt das Walzen von Riblet-Strukturen in Aluminiummaterialien, wie

sie für die Flugzeughaut benötigt werden. Hierzu werden speziell hergestellte Walzen mit negativen Riblet-Strukturen eingesetzt, um ein flaches Ausgangsblech in einem Walzschrift mit einer Vielzahl fertiger Riblets zu versehen. Eine besondere Herausforderung stellt in diesem Fall die Herstellung der Walze dar. Effiziente Riblets für Flugzeuge weisen nach Berechnungen des Aerodynamischen Instituts, kurz AIA, eine Höhe von rund 40 µm auf und besitzen eine möglichst scharfe Spitze. Darüber hinaus soll der Abstand rund 100 µm betragen, was ungefähr dem Durchmesser eines Menschenhaares entspricht. Um einen ein Zentimeter breiten Aluminiumstreifen zu strukturieren, muss die verwendete Stahlwalze

Bild 6: Wissenschaftler des Instituts für Bildsame Formgebung und des Werkzeugmaschinenlabors untersuchen die Möglichkeiten zum Walzen von feinsten Haifischhaut-Strukturen, so genannten Riblets, auf unterschiedlichen Materialien für Anwendungen im Flugzeugbau.
Foto: Peter Winandy

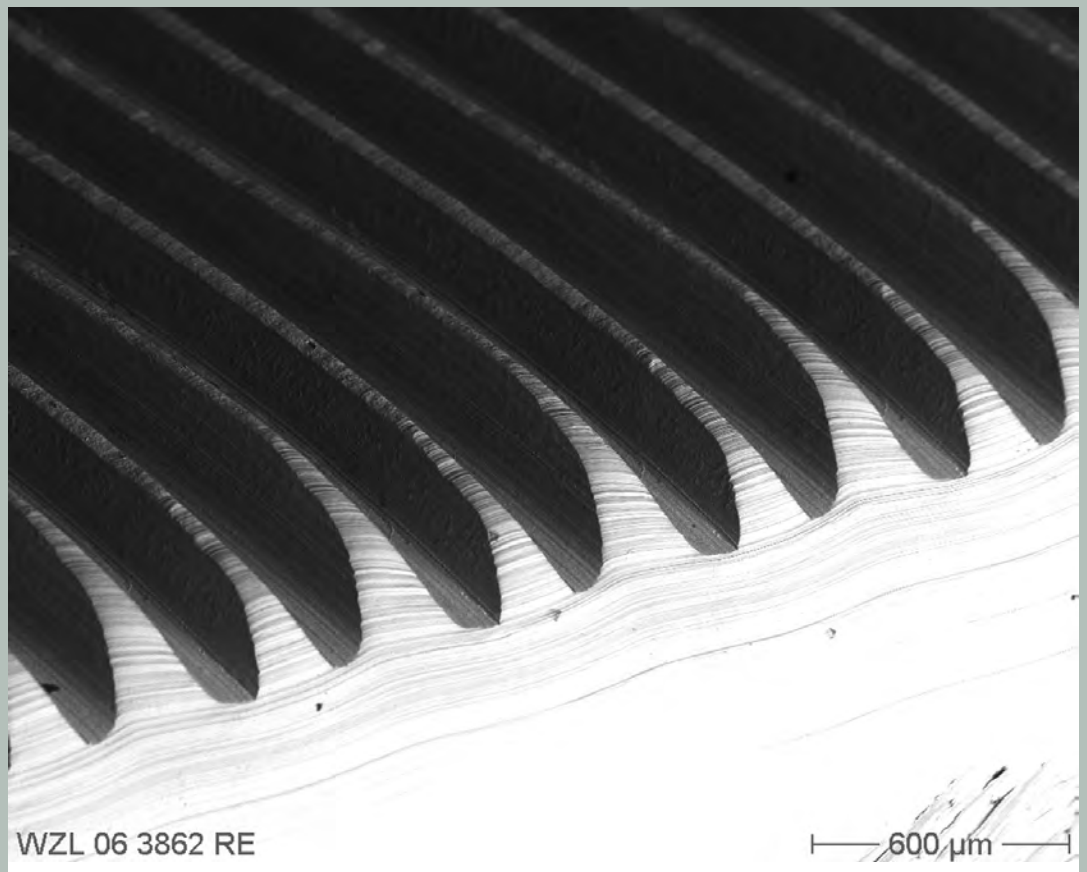


Bild 5: Gewalzte Ribletstruktur auf Ti6Al4V.
Quelle: WZL

64

demnach einhundert gleichmäßige scharfkantige Rillenstrukturen aufweisen. Denkt man an die Größe von Flugzeugbeplankungen, stellt diese Anforderung selbst für die derzeit eingesetzten Fertigungsverfahren eine kaum zu lösende Herausforderung dar. Daher wurde am Institut für Bildsame Formgebung ein alternatives Konzept zur Walzenstrukturierung ausgearbeitet: Die erfolgreich eingesetzte Strukturierungstechnik beruht auf dem einfachen Prinzip der Umwicklung. Ein Stahldraht von geringem Durchmesser wird ähnlich wie bei einer Seilwinde um die glatte Walze gewickelt. Liegen die Drähte nach der Wicklung Schulter an Schulter, so weist die resultierende Oberflächenstruktur eine nahezu perfekte negative Riblet-Kontur auf, siehe Bild 2. Die resultierende Oberflächengüte entspricht der sehr guten

Qualität von gezogenen Drähten, die sich nach dem Walzprozess auch auf der Produktoberfläche wiederfindet. Mit derartig strukturierten Walzen wurden bereits vielversprechende Walzergebnisse erzielt. Riblets mit einem Abstand von 200 µm konnten mit hoher Genauigkeit in Aluminiumstreifen gewalzt werden, siehe Bild 3. Derzeit sind die gewalzten Streifen allerdings nur etwa zwei Zentimeter breit. Zudem muss zur Erzielung einer gut ausgeformten Riblet-Kontur der Aluminium-Werkstoff von zwei Millimeter auf rund einen Millimeter Blechdicke gewalzt werden. Diese große erforderliche Abnahme könnte durch die Verwendung von Walzen mit größeren Durchmessern verringert werden.

Nach erfolgreichen Experimenten zur Überprüfung des Walzprinzips, sollen nun auch

breitere Walzen mit Riblet-Strukturen versehen werden. Diese Riblets sollen nur noch einen Abstand von 100 µm besitzen und kommen somit den Anforderungen der Strömungsmechanik entgegen. Außerdem können anstelle der bisher verwendeten kleinen Walzen mit einem Durchmesser von 110 mm solche mit einem Durchmesser von 300 mm verwendet werden. Dies ermöglicht die Realisierung von effizienten Aluminium-Riblet-Oberflächen bei geringeren Dickenabnahmen.

Am Werkzeugmaschinenlabor, kurz WZL, hingegen wird die Herstellung von Riblet-Strukturen auf Fan- und Verdichterschaukeln untersucht. Der Forschungsfokus liegt dabei auf der Entwicklung eines Verfahrens, welches die Belastungen der Triebwerksschaukeln während des Einsatzes berücksichtigt.

Triebwerksschaukeln gehören zu den sicherheitskritischen Bauteilen, deren Lebensdauer unter keinen Umständen reduziert werden darf. Während des Einsatzes wirken auf die rotierenden Verdichterschaukeln große mechanische Lasten, die sich zu einer hohen dynamischen Zug-schwell- und Biegewechselbelastung aufsummieren.

Grundsätzlich sind Triebwerksschaukeln so gestaltet, dass die dynamischen Betriebslasten die Schwingfestigkeit der Schaukeln nicht überschreiten und somit eine Dauerfestigkeit beziehungsweise eine ausreichende Zeitfestigkeit gewährleistet ist. Diese Zeitfestigkeit kann aber durch Kerben auf der Oberfläche erheblich reduziert werden. In den Kerben entstehen unter Belastung lokale Zugspannungsspitzen, die eine Rissentstehung und Rissausbreitung begünstigen.



gen, was letztendlich zum Versagen der Schaufel führt. Aus diesem Grund werden Triebwerksschaufeln vor Ihrem Einsatz oft kugelgestrahlt, um Druckeigenspannungen in die Bauteilrandzone zu induzieren. Diese Druckeigenspannungen wirken den auftretenden Zugspannungen entgegen und steigern dadurch die Zeitfestigkeit der Triebwerksschaufeln erheblich. Ein gleicher Effekt, durch den aber noch höhere und tieferreichendere Druckeigenspannungen erzeugt werden, lässt sich durch Festwalzen erreichen. Hierzu wird mit einer Kugel oder Walze über die Bauteiloberfläche gewalzt. Sollen nun Triebwerksschaufeln aus hochfesten Materialien wie der Titanlegierung Ti6Al4V mit Riblets strukturiert werden, müssen zwei wesentliche Aspekte bei der Auswahl beziehungsweise Entwicklung eines geeigneten

Fertigungsverfahren berücksichtigt werden. Zum einen ist eine Riblet-Struktur nichts anderes als eine Vielzahl kleiner Kerben, wodurch die Zeitfestigkeit und damit die Lebensdauer einer Schaufel erheblich reduziert werden könnte. Zum anderen ist die Oberfläche einer Triebwerksschaufel eine Freiformfläche und damit schwer strukturierbar. Damit die mit der Riblet-Struktur einhergehende Kerbwirkung kompensiert werden kann, ist es notwendig, ein Fertigungsverfahren zu wählen, welches gleichzeitig die Riblet-Struktur erzeugt und Druckeigenspannungen im Kerbgrund induziert. Aus diesem Grund wurde am WZL ein inkrementelles Walzverfahren entwickelt. Die Walzen werden dazu mit einer negativen Riblet-Struktur mittels definierter Zerspanung profiliert. Für Fan- und Verdichterschaufeln beträgt

die Riblet-Höhe rund 35 μm bei einem Riblet-Abstand von 70 μm . Unter Verwendung eines speziell für diesen Anwendungsfall entwickelten hydraulischen Walzwerkzeugs wird die Riblet-Struktur Bahn für Bahn auf die Schaufeln gewalzt, siehe Bild 5. Die beiden vorgestellten Riblet-Walzverfahren verdeutlichen das Potenzial der Umformtechnik zur Herstellung bionisch-inspirierter, mikro-funktionaler Oberflächen für unterschiedliche fluid-dynamische Anwendungen. Die erzielten Ergebnisse stellen hierbei einen Impuls für ökonomische Strukturierungsverfahren der Zukunft dar, mit deren Hilfe technische Produkte nach dem Vorbild der Natur ökologisch vorteilhaft gestaltet werden können.

www.wzl.rwth-aachen.de
www.ibf.rwth-aachen.de

Autoren:
 Dipl.-Ing. Björn Feldhaus ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren am Werkzeugmaschinenlabor. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hirt hat den Lehrstuhl Bildsame Formgebung inne. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Fritz Klocke ist Inhaber des Lehrstuhls Technologie der Fertigungsverfahren am Werkzeugmaschinenlabor. Dipl.-Ing. Mario Thome ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bildsame Formgebung.