

Hybridschmieden eines Druckflansches

Dipl.-Ing. Jan Langner, Dr.-Ing. Malte Stonis, Prof. Dr.-Ing. B.-A. Behrens

Das Hybridschmieden ermöglicht das zeitgleiche Umformen und Fügen eines Bleches und eines massiven Rohteils zu einem Bauteil. Dadurch ist die Einsparung einer üblicherweise nachgelagerten Fügeoperation möglich. Zudem kann durch den Einsatz eines Bleches, Material eingespart oder günstigere Umformaggregaten genutzt werden.

Herstellung von Verbundbauteilen

Leichtbau ist eines der zentralen Themen in der heutigen industriellen Produktion. Gewichtersparnis durch die Verwendung von leichten Materialien wie z. B. Aluminium ist besonders im Automobilbau weit verbreitet, um so das Gewicht von Fahrzeugen zu reduzieren. Im Automobilbau führt dies direkt zu einer Ersparnis von Kraftstoff. Je nach Bauteil und Herstellungsverfahren gibt es unterschiedliche Ansätze zur Herstellung von leichteren Bauteilen. Für Motoren untersuchte z. B. BMW das Verbundgießen eines Magnesium-Aluminium Verbundkurbelgehäuses [Lan05]. Weiterhin existiert das Verbundschmieden von kombinierten Stahl-Aluminium-Massivbauteilen durch die LEIBER Group, die z. B. einen Antriebsflansch aus diesen beiden Materialien geschmiedet hat [Lei12]. Nicht zuletzt existiert im Sonderforschungsbereich SFB TR/73 der Ansatz der Blechmassivumformung, bei dem ausgehend von einem Feinblech lokal Stoffanhäufungen hergestellt werden, so dass Bereiche eines Demonstratorbauteils hinterher Ähnlichkeiten zu einem Massivbauteil aufweisen. Sollen Schmiedebauteilen aus Stahl leichter werden, existiert die Möglichkeit, Bereiche eines Bauteils aus massiven Elementen und andere aus Blech herzustellen. Bislang werden diese einzelnen Elemente separat gefertigt und anschließend gefügt. Ein kombinierter Prozess, der gleichzeitig Blech- und Massivelemente umformt und fügt, existiert industriell bisher nicht.

Hybridschmieden – Gleichzeitiges Umformen und Fügen von Blech- und Massivelementen

Die oben genannten Verfahren zur Herstellung von Verbundbauteilen ermöglichen keine umformtechnische Herstellung von Strukturbauteilen mit Volumenunterschieden, welche Leichtbauteile z. B. aus Blech- und Massivelementen darstellen. Dabei haben umformtechnischer Fertigungsverfahren viele Vorteile wie z. B. eine wirtschaftliche Fertigung hoher Stückzahlen bei guten mechanischen Eigenschaften der Umformteile. Um die Vorteile der Umformtechnik zur Herstellung hybridgeschmiedeter Bauteile zu nutzen, wurde das Hybridschmieden am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH im Rahmen eines DFG-Projektes grundlegend untersucht [Kac13].

Es wurden drei Modellversuche entwickelt, um die Umformung und das Fügen mittels Stoffschluss und Formschluss untersuchen zu können (vgl. Bild 1).

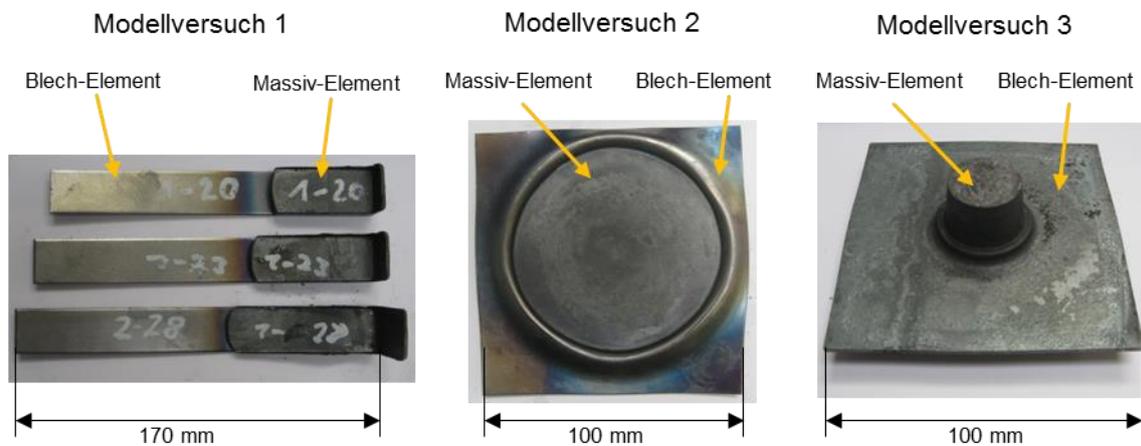


Bild 1: Modellversuche des Hybridschmiedens nach [Kac13]

Zur Untersuchung des Stoffschlusses wurde ein Quader, der sich nur in eine Raumrichtung ausbreiten kann, auf einen Blechstreifen aufgeschmiedet. In der zweiten Versuchsanordnung wurde ein zylindrisches Rohteil auf ein Blech geschmiedet. Ein Stoffschluss konnte in diesen beiden Varianten lediglich partiell erreicht werden. Zudem führte der Umformschritt zu einer starken Abnahme der Blechstärke und Beulung des Bleches. Um die Möglichkeit einer formschlüssigen Verbindung zu untersuchen, wurde einem Niet ähnlich ein zylindrisches Rohteil durch ein Loch in einem Blech-Element geführt und mit diesem anschließend verschmiedet. Das nietähnliche Einschmieden eines massiven Zylinders in ein Stahlblech führte zu einem partiellen Formschluss, wobei die Blechstärke unbeabsichtigt lokal um ca. 50% herabgesetzt wurde [Kac13]. Auch wenn die Resultate der Grundlagenuntersuchungen bis dahin noch nicht industriell umgesetzt wurden, konnte der Vorteil dieses Verfahrens – eine wesentliche Einsparung von Kosten und Zeit aufgrund der wegfallenden Fügeoperation – aufgezeigt werden.

Prozessauslegung für einen Druckflansch

Aufbauend auf den grundlegenden Untersuchungen wurde das Hybridschmieden im Rahmen einer industriellen Studie anhand eines realen Beispielbauteils untersucht. Als Bauteil wurde ein Druckflansch aus Edelstahl ausgewählt, der aktuell als ein einzelnes Schmiedeteil mit Grat bei der Fa. Dr. Bergfeld Schmiedetechnik GmbH mit einem hohen Kraftaufwand (ca. 8.000 kN Presskraft) hergestellt wird. Dieser Flansch sollte nun aus einem vorbearbeiteten Grobblech für den Flanschbereich und einer zylindrischen Welle aufgebaut werden (vgl. auch Bild 3). Dabei sollte das Blech möglichst wenig verformt werden, um so die Pressen- und Werkzeugbelastung zu minimieren.

Zunächst wurde am IPH der Prozess mit Hilfe der Finite Elemente Methode (FEM)-Software SIMUFACT.FORMING simuliert. Moderne FEM-Simulationen sind in der Regel gut geeignet, um die Ergebnisse umformtechnischer Prozesse hervorzusagen. FEM-Simulationen werden am IPH fortlaufend für unterschiedliche Blech- und Massivumformprozesse angewendet und liefern aufgrund der langjährigen Erfahrung des Instituts sehr gute Ergebnisse. Industriell stellt das IPH diese Expertise im Rahmen von Projekten als Dienstleistung zur Verfügung. Ziel der FEM-Simulationen war es, einen Hybridschmiedeprozess auszulegen, der einen faltenfreien Umformprozess bei vollständiger Formfüllung realisiert. Besonderes Augenmerk lag auf der Herstellung eines kompletten Formschlusses, der im Vorgängerprojekt nicht erreicht wurde. Damit sollten die industriellen Anforderungen an das Bauteil wie z. B. eine Verdrehsicherung gewährleistet werden. Um dieses zu erreichen wurde in das Blech eine Fase sowie Nuten eingebracht. Die Fase sollte beim Verschmieden mit der zylindrischen Welle einen axialen Formschluss, die Nuten einen radiale Formschluss sicherstellen. Der Hybridschmiedeprozess wurde zudem mit einem Referenzprozess verglichen, um die Unterschiede und Vorteile dieses Verfahrens darzustellen.

Für die Prozesssimulation wurde eine Temperatur von 1200 °C sowohl für das Grobblech als auch für die zylindrische Welle angenommen. Die Gesenkteperatur betrug 150°C. Der verwendete Werkstoff für beide Elemente war der Edelstahl 1.4571 und als Schmiermittel wurde eine Wasser-Graphit-Lösung angenommen. Die Simulationen wurden iterativ verbessert, z. B. durch Anpassung der Geometrie des Bleches bzw. der Welle oder der Gesenke. Bild 2 zeigt den Aufbau der Simulationen und das Ergebnis der finalen Umformsimulationen.

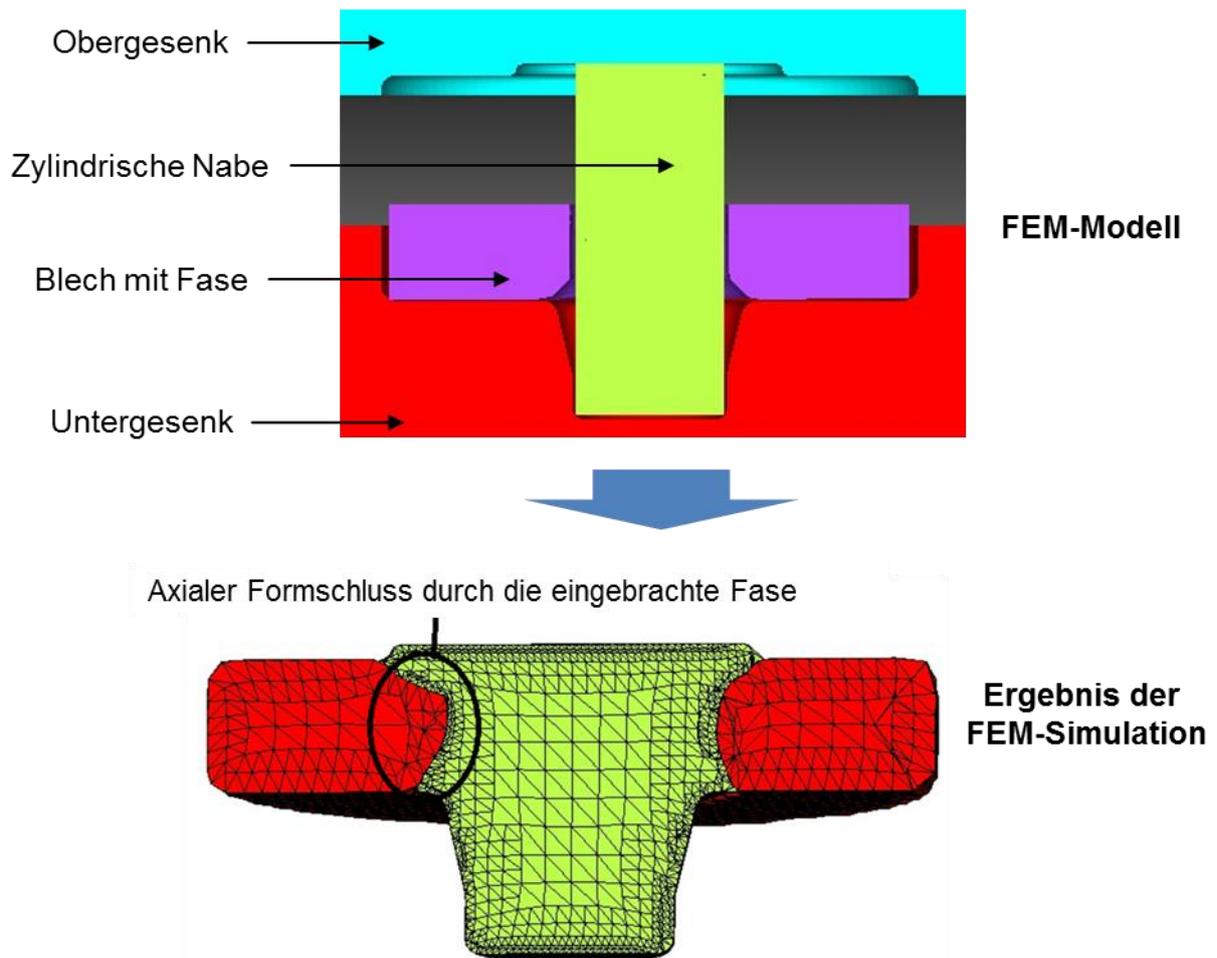


Bild 2: Simulationsmodell (oben) und Ergebnis des Hybridschmiedeprozesses (unten)

Wie in Bild 2 unten zu erkennen zeigt das Simulationsergebnis einen vollständigen Formschluss: Zum einen in axialer Richtung, da das Material der Welle (Bild 2, unten hellgrün) das Material des Bleches, sowohl von oben als auch von unten, vollständig umschließt. Zum anderen in radialer Richtung, da das Material der Welle vollständig am Blech anliegt.

Dieser Prozess wurde mit einem einstufigen Umformprozess verglichen, der den gleichen Druckflansch aus nur einem einzigen zylindrischen Rohteil herstellt. Dabei wurden wesentliche Prozessparameter, die einen Rückschluss auf die Werkzeugbelastung zulassen, betrachtet. So konnte die benötigte Umformenergie um 83 % und die benötigte Umformkraft um ca. 80 % reduziert werden (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Vergleich der Ergebnisse der Simulationen der Umformpresse

	Innendruck in MPa	maximal aufgewendete Kraft in kN	Reibspannung in MPa	Gesamt - energie in kJ
Referenzprozess	1250	5000	370	26
Hybridschmiedeprozess	1050	890	200	4,5

Durchführung von praktischen Schmiedeversuchen

Mit den aus der Simulation ermittelten finalen Parametern und geometrischen Abmaßen der Elemente wurden anschließend reale Schmiedeversuche durchgeführt. Zunächst wurden die Rohteile spanend hergestellt (vgl. Bild 3). Für eine spätere Produktion könnten die Rohteile auch umformtechnisch hergestellt werden.

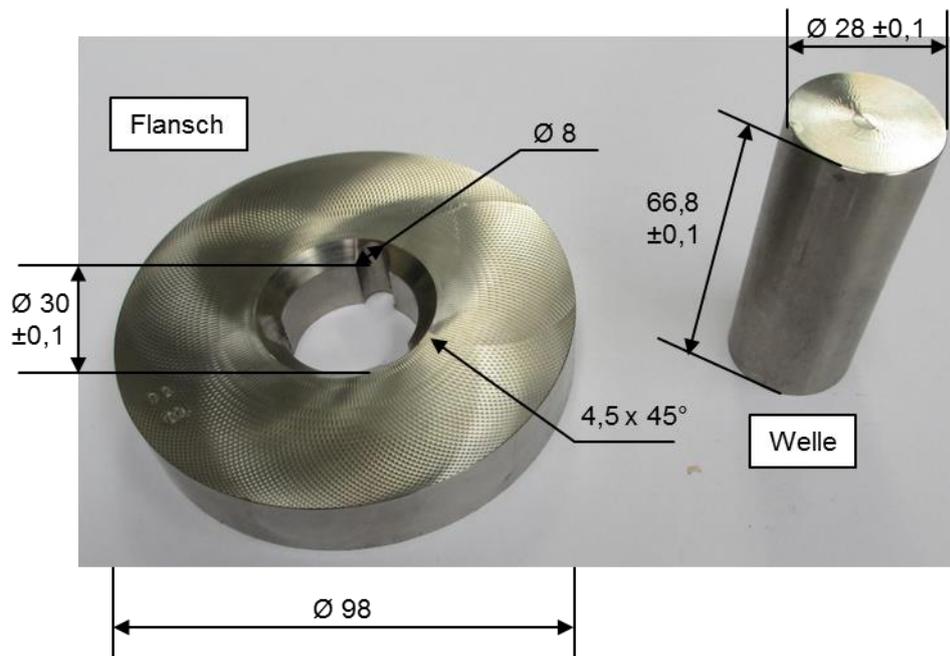


Bild 3: Spanend bearbeitete Rohteile

Die Schmiedeversuche fanden bei der Fa. Dr. Bergfeld Schmiedetechnik GmbH in Solingen statt. Sie wurden auf einer industriellen Exzenterpresse der Fa. „National Kayser“ mit einer maximalen Presskraft von 13.000 kN durchgeführt. Eine Temperierung der Werkzeuge wurde analog zum bestehenden industriellen Prozess durchgeführt und die Gesenktemperatur auf ca. 150 °C eingestellt. Als Schmiermittel kam das graphithaltige „LubriTech Grasinol“ zum Einsatz. Zusätzlich zu der in der Simulation ermittelten Geometrie des Bleches wurde ein Blech ohne Fase verwendet, um den Zusammenhalt der beiden Elemente beurteilen zu können, wenn kein vollständiger axialer Formschluss gegeben ist. Zunächst wurde der Prozess mit einer Temperatur von Blech und Welle von jeweils 1200 °C eingefahren. Die Presskräfte bei diesen Versuchen lagen bei ca. 1.000 kN, welches vergleichbar mit den Simulationsergebnissen ist. Die hybridgeschmiedeten Flansche sind in Bild 4 dargestellt.

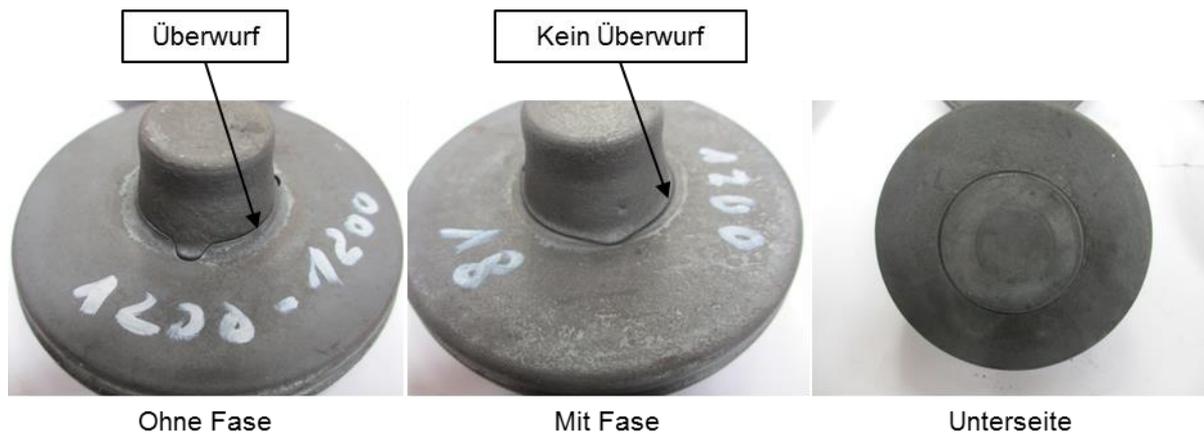


Bild 4: Hybridgeschmiedete Flansche, geschmiedet bei einer Temperatur von 1200°C

Wie Bild 4 zu entnehmen, zeigte sich bei dem Bauteil ohne Fase ein Überwurf im Fügebereich auf der Unterseite. Dieser resultiert aus einem Stofffluss des Blechs, welcher sich aufgrund der Reibung mit dem inneren Wellenteil und der Umformrichtung ergibt. Das Bauteil, welches mit einem Rohteil mit Fase geschmiedet wurde, zeigt diesen Überwurf nicht. Zudem sind die Nuten im Blech ohne Fase nicht zu 100 % vom Wellenmaterial ausgefüllt. Der Unterseite, welche bei Blechen mit ohne Fase gleich aussah ist zu entnehmen, dass die Fügeoperation das Material der Welle gleichmäßig verteilt hat. Nach dem Abkühlen der ersten Bauteile konnte festgestellt werden, dass die Welle und der Flansch minimale radiale Verdrehungen zulassen. Dieses ist auf die Schrumpfung speziell des Wellenbereichs zurückzuführen. Der Wellenbereich ist stärker geschrumpft als das Blech im Innenbereich. Diese Schrumpfung und der entstehende Spalt sind jedoch so gering, dass Sie sich auf Basis der Simulationen nicht vorhersagen ließen. Somit ergab sich aus diesen Umformversuchen ein wesentlicher Unterschied zu den Simulationen: die mangelnde Formfüllung im Bereich der Nuten und der daraus resultierende fehlende radiale Formschluss.

Um diesem Problem zu begegnen, wurden zwei Änderungen am Umformprozess vorgenommen. Zum einen wurde der Flanschbereich um 1 mm auf 17 mm Endhöhe gestaucht. Das dadurch verdrängte Material wurde zum Teil in die Nuten gepresst und hat diese gefüllt (siehe Bild 5). Der andere Teil des Materials wurde nach außen in einen kleinen, umlaufenden Grat gepresst. Weiterhin wurde das Blech auf 1250 °C erwärmt, die Welle jedoch nur auf 1000 °C. Durch den Temperaturunterschied, wurde das Blech nach der Umformung auf die Welle aufgeschrumpft. Dadurch konnte der radiale Formschluss sichergestellt werden, jedoch stieg die benötigte Umformkraft auf ca. 5.000 kN an. Dieses ist jedoch noch bedeutend weniger als die 8.000 kN, welche beim konventionellen Prozess mit Grat benötigt werden.



Mit Fase (Grat abgeschliffen)



Spanend bearbeitet

Bild 5: Hybridgeschmiedeter Flansch mit Formfüllung (links) und spanend bearbeitet (rechts)

Die Festigkeit des axialen Formschlusses wurde untersucht, indem mit einer hydraulischen Presse auf die Anschlussseite des Flansches gedrückt wurde. Der Flansch wurde auf der Dichtseite mit zwei Säulen abgestützt. Die benötigte Kraft zum Durchdrücken des Flansches wurde mit Hilfe einer Kraftmessdose aufgenommen. Der Fokus lag auf dem Einfluss des Bleches mit und ohne Fase auf die benötigte Kraft zum Herausdrücken, die einen Rückschluss auf die Festigkeit des axialen Formschlusses zulässt. Die benötigte Kraft zum Herauspressen der Welle aus den Bauteilen, welche mit Blechen ohne Fase hergestellt wurden, betrug jeweils ca. 80 kN. Ein vollständiges Herauspressen der Welle aus den Bauteilen mit Fase, war hingegen nicht möglich. Es wurde dabei eine Kraft bis zu ca. 220 kN aufgebracht. Dabei löste sich die Welle etwa 15 mm aus dem Blech. Danach wurde das gesamte Bauteil verformt, die Welle löste sich jedoch nicht vollständig. Somit hatte die Fase im Blech einen signifikanten Einfluss auf den axialen Formschluss, welcher eindeutig verbessert wurde.

Final wurde das Spaltmaß zwischen den beiden Elementen analysiert. Dazu wurden die Bauteile zunächst auf einer Wasserstrahlschneidanlage getrennt. Anschließend erfolgte die mikroskopische Begutachtung der Fügezone. Hierbei wurde der Unterschied zwischen Bauteilen mit der Originalflanshhöhe von 18 mm betrachtet und weiterhin Bauteile mit der um 1 mm reduzierten Flanshhöhe (vgl. Bild 6).

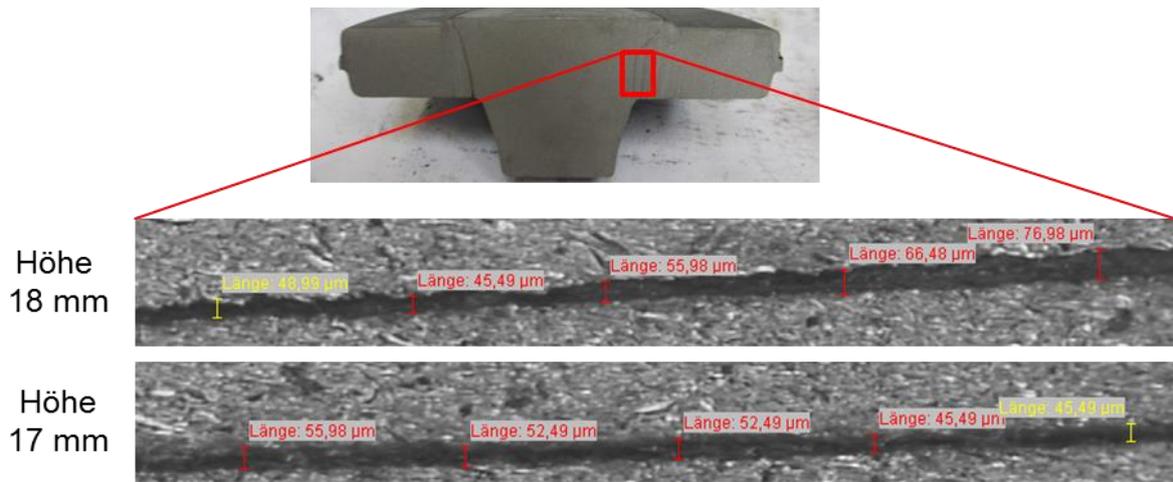


Bild 6: Mikroskopische Aufnahme der Fügezone

Wie in Bild 6 ersichtlich, ist die Spaltgröße beim hybridgeschmiedeten Flansch im mittleren Bauteilbereich mit einer Flanschhöhe von 18 mm überwiegend größer als bei einer Flanschhöhe von 17 mm. Der Maximalwert bei der Flanschhöhe von 18 mm beträgt ca. 77 µm, der Minimalwert 45,5 µm. Bei einer Flanschhöhe von 17 mm hingegen beträgt der Maximalwert nur 56 µm. Insgesamt variieren die Werte im betrachteten Bereich zudem stärker als bei einer Flanschhöhe von 17 mm. Dies ist damit zu erklären, dass durch die größere Umformung im Flanschbereich beide Elemente stärker miteinander verpresst worden sind.

Fazit

In dieser Studie wurden die Machbarkeit und das Potential eines warmen Hybridschmiedeprozesses für einen Druckflansch untersucht. Dieser Prozess zeichnet sich durch ein gleichzeitiges Umformen und Fügen eines dicken Bleches und einer Welle in einem Schritt aus. Als Werkstoff wurde der Edelstahl 1.4571 verwendet. Es wurden Versuche auf einer industriell eingesetzten Exzenterpresse durchgeführt. Wesentliches Merkmal war die Sicherstellung des axialen und radialen Formschlusses der beiden Bauteile. Dieses Ziel wurde erreicht. Im Vergleich zu einem Referenzprozess konnte eine wesentliche Reduzierung der Presskraft erreicht werden, so dass es möglich sein sollte, größere Flansche auf kleineren Umformaggregaten zu schmieden. Die Dr. Bergfeld Schmiedetechnik GmbH ist somit nun in der Lage, Druckflansche mit einem geringen Materialeinsatz auf kleineren Umformaggregaten herzustellen. Zukünftig sollen weitere Untersuchungen zum Hybridschmieden am IPH mit weiteren Bauteilen (z. B. Langteilen) und Kombinationen von massiven Elementen und dünnen Blechen stattfinden.

Förderhinweis

Die Studie „Hybridschmieden“ wurde mit Mitteln der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. (FOSTA) gefördert.

Literatur:

- [Kac13] Kache, H.; Stonis, M.; Behrens, B.-A.: Hybridschmieden – Monoprozessuales Umformen und Fügen metallischer Blech- und Massivelemente. In: wt Werkstatttechnik online, 103. Jg. (2013), H.3, S. 257-262.
- [Lan05] Landerl, C. et al.: Das neue BMW Aluminium-Magnesium-Verbundkurbelgehäuse. In: VDI-Berichte. VDI-Verlag, Bd. 1830. (2004), S. 69-91.
- [Lei12] LEIBER Group: Hybridschmiedetechnik ermöglicht 1,1 kg leichteren Antriebsflansch. In: lightweightdesign.
http://www.lightweightdesign.de/index.php;do=show/alloc=135/id=15663/site=1/wd/sid=12_779379724fa0e317e1310562186293, 27.09.2014.

Autorenhinweis

Dipl.-Ing. Jan Langner ist Projektingenieur in der Abteilung Prozesstechnik des IPH.

Dr.-Ing. Malte Stonis ist Leiter der Abteilung Prozesstechnik am IPH.

Prof. Dr.-Ing. B.-A. Behrens ist Geschäftsführender Gesellschafter des IPH.

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH

Hollerithallee 6

30419 Hannover

+49 511 27976 0

info@iph-hannover.de

<http://www.iph-hannover.de>