

Folgeverbundhybridschmieden

Struktur- und Stoffleichtbau durch hybridgeschmiedete Teile am Beispiel eines 3-Punkt Querlenkers

Roe, C., Kriwall, M., Stonis, M., Behrens, B.-A.

IPH - Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH
Hollerithallee 6
30419 Hannover Germany
Telefon +49 511 279 76-342
Telefax +49 511 279 76-888
c.roe@iph-hannover.de
www.iph-hannover.de



Zusammenfassung

Das Folgeverbundhybridschmieden beschreibt einen Fertigungsprozess, in welchem Blech- wie auch Massivbearbeitungsverfahren aufeinander folgend kombiniert werden. Ziel eines Hybridbauteils ist die Kombination der Vorteile aus dem Bereich der Blech- wie auch Massivumformung. Der Verbund beider Bereiche erfolgt durch das Hybridschmieden, in welchem ein Massivelement mit einem Blechelement durch Umformen verbunden wird. Die Verbindung soll hierbei Form- wie auch Kraftschluss aufweisen. Die jeweils verwendeten Werkstoffe können hierfür artgleich oder ungleich sein. Unter Berücksichtigung verschiedener Parameterkombinationen wurde ermittelt, dass die Kombination aus 42CrMo4 als Massiv-, S700MC als Blechmaterial bei einer Blechdicke von mindestens 3 mm und einer Umformtemperatur von 1250 °C die genannten Voraussetzungen vereinbart.

Abstract

Progressive hybrid forging describes a manufacturing process in which sheet metal and solid machining processes are combined in sequence. The aim of a hybrid component is to combine the advantages of both sheet metal and solid forming. The two areas are joined by hybrid forging, in which a solid element is joined to a sheet metal element by forming. The connection should have both a form and a forced closure connection. The materials used for this can be of the same or different types. Taking into account various parameter combinations, it was determined that the combination of 42CrMo4 as solid-, S700MC as sheet material with a thickness of minimum 3 mm and a forming temperature of 1250 °C matches the conditions above.

1. Einleitung

Hybridbauteile aus Blech- und Massivelementen bieten das Potenzial die günstigen Gewichtseigenschaften des Leichtbaus mit den lokalen Festigkeitseigenschaften des Massivbaus miteinander zu kombinieren. Insbesondere für Fahrwerksteile kann dies zunehmend an Bedeutung gewinnen. Um den Verbund verschiedener Geometrien zu ermöglichen können Ur- wie auch Umformverfahren zu Hilfe genommen werden. Es hat

bereits eine Reihe unterschiedlicher Forschungsprojekte gegeben, in welchen Hybridgeometrien durch Ur- oder Umformverfahren ermöglicht wurden.

Im Bereich der Umformverfahren hat sich Abe et al [Abe12] wie auch Lee et al [Lee10] damit beschäftigt, Blechelemente aus Stahl und Aluminium durch Clinchen miteinander zu verbinden. Ebenso wurde im Rahmen eines IGF-Vorhabens [Mes14] ebenfalls das Fügen durch Clinchen unterschiedlicher Stahlbleche untersucht. Prinzipiell wiesen die Verbindungen durch Clinchen einen Formschluss auf. Das DFG-Projekt Hybridschmieden [Kac13] hat sich mit einem nietähnlichen Verfahren beschäftigt, in welchem Massivelemente mit einem Blechelement aus Stahl formschlüssig verbunden wurden.

Das Folgeverbundhybridschmieden beschreibt eine Kombination von Blech- und Massivumformoperationen in einem Werkzeug. Es beinhaltet das Lochen, Tiefziehen und Scherschneiden des Blechmaterials wie auch das Fügen durch Umformen der Massivelemente mit dem Blech [Sei18]. Nach einer näheren Untersuchung des Gesamtprozesses mithilfe von FEM-Simulationen in FORGE NXT der Firma TRANSVALOR SA konnten drei unterschiedliche Verbundvarianten identifiziert werden, siehe Bild 1. Variante 1 gilt als zu favorisieren, da hier keine unzulässige Deformation bzw. Ausbeulung des Blechmaterials durch die Umformung vorliegt. Insbesondere Variante 3 gilt es zu vermeiden, da hier das Blechmaterial aus der Verbundzone verdrängt wird und somit qualitativ höherwertigen Verbindungen entgegenwirkt [Sei19b]. Näheres zum Prozessablauf wie auch zum Erstellen der vorliegenden 3-Punkt Querlenkergeometrie ist [Sei19a] zu entnehmen.

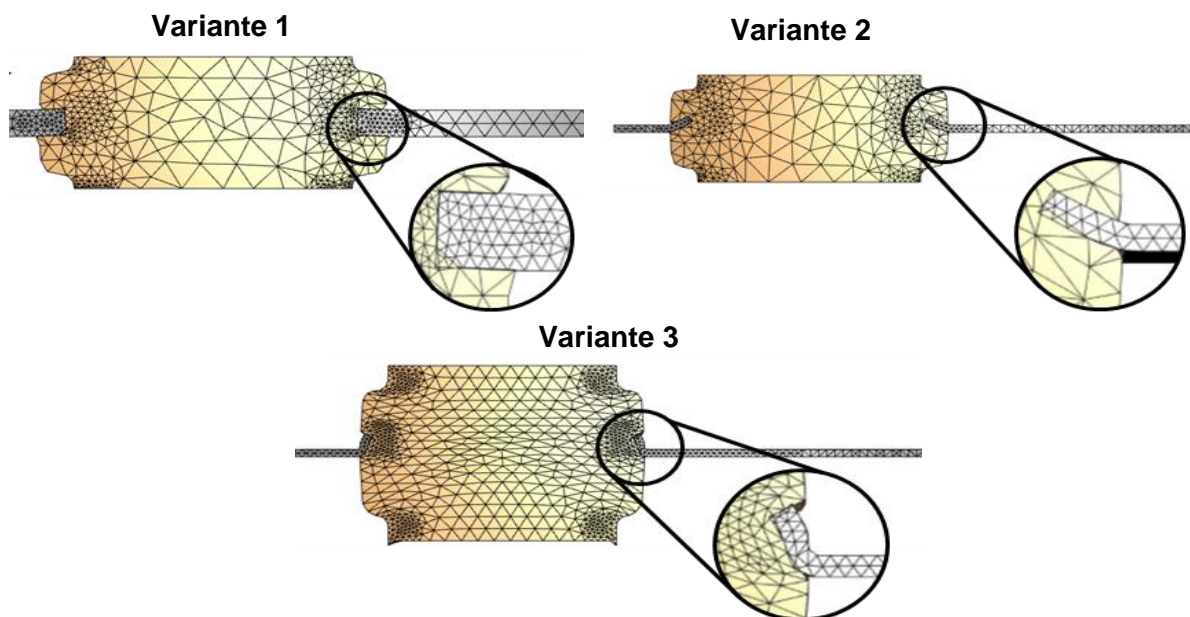


Bild 1: Verbundvarianten geschmiedeter Blech- und Massivteile mit dazugehöriger Parameterkombination aus den FEM-Simulationen (in Halbschnittdarstellung) nach Sei19b

2. Finalergebnisse des AiF-Projekts Folgeverbundhybridschmieden

Das Folgeverbundhybridschmieden stellt eine Möglichkeit dar, belastungsorientierte Bauteile herzustellen. Das Hybridschmieden ermöglicht es artgleiche – und ungleiche Blech- und Massivelemente durch Umformen zu fügen. Im Rahmen dieses AiF-Projekts wird dies an einer 3-Punkt Querlenkergeometrie näher untersucht.

Ein Folgeverbundhybridschmiedewerkzeug ermöglicht es querlenkerähnliche Geometrien zu fertigen, welches im Rahmen dieses Projekts aus drei unterschiedlichen Werkzeugstationen besteht. Das Ergebnis des Folgeverbundhybridschmiedeprozesses ist in Bild 2 dargestellt.



Bild 2: Ergebnis des Folgeverbundhybridschmiedeprozesses am IPH mit Chronologie von links nach rechts

Hierfür liegt ein Transferwerkzeug vor, welches die Bearbeitung von Blechplatten ermöglicht. Die erste Stufe des Werkzeugs umfasst das Lochen und Tiefziehen einer rechteckig zugeschnittenen Blechplatte. Durch das Tiefziehen wird eine Sicke in das Blech eingebracht, welche der Querlenkerkontur folgt und die Strukturfestigkeit wesentlich erhöht. Das zweite Werkzeug dient dem Hybridschmieden, in welchem ein Fügen durch Umformen von Blech- und Massivelementen erfolgt. Das dritte Werkzeug realisiert mittels Scherschneiden die Erzeugung der Außenkontur des Querlenkers. Die untersuchten Parameter wie auch das Ergebnis für das Hybridschmieden werden in Tabelle 1 visualisiert. Für die erste und dritte Stufe wurde keine Erwärmung mit hinzugezogen, die Verfahrensgeschwindigkeit des Oberwerkzeugs blieb konstant 30 mm/s. Die in Bild 1 gezeigte Verbundvariante 1 wird für alle Parameterkombinationen als Ziel gesetzt. Ein rotes Kreuz kennzeichnet hierbei einen unzureichenden Verbund und eingeklammerte grüne Häkchen einen unzuverlässig auftretenden Verbund mit Form- und Kraftschluss. Grüne Häkchen repräsentieren zuverlässig replizierbare Verbünde mit Form- und Kraftschluss.

Tabelle 1: Untersuchte Parametervariation mit konstanter Pressengeschwindigkeit von 30 mm/s

		Blechwerkstoff			Umformtemperatur in °C
		S700	S355		
Massivwerkstoff	42CrMo4	(✓)	✗	900	
	X2CrNi18-9	✗	✗	900	
	42CrMo4	✓	(✓)	1250	
	X2CrNi18-9	(✓)	(✓)	1250	

Als besonders günstig erwiesen, form- wie auch kraftschlüssige Verbindungen zuverlässig zu erzeugen, hat sich die Kombination aus 42CrMo4 als Massivwerkstoff, S700MC als

Blechwerkstoff mit einer zugehörigen Blechdicke von 3 mm mit Umformtemperaturen von 1250 °C. Ebenso hat sich gezeigt, dass aufgrund der Schrumpfung von X2CrNi18-9 als Massivmaterial nach Abschluss der Umformung mit einem beliebigen Blechmaterial keine zuverlässig eintretenden form- wie auch kraftschlüssigen Verbindungen vorliegen. Demzufolge lagen häufiger Verbindungen mit ausschließlich einem Formschluss vor.

Die Identifizierung des Verbundtyps erfolgte aus einer Kombination aus optischer Untersuchung wie auch mechanischer Prüfung. Die optische Untersuchung mit dem GOM ATOS Core ermöglichte es hierbei die Maßhaltigkeit der Verbindung näher zu untersuchen. Querschnitts-Schliffbilder der Verbundzonen wurden ebenso hinzugezogen. Für die mechanische Untersuchung wurde eine Drehmoment- wie auch Ausdrückprüfung hinzugezogen, anhand dessen der Form- wie auch Kraftschluss näher untersucht werden konnte. Bei der Ausdrückprüfung wird das Blech mithilfe einer geeigneten Apparatur fixiert und das Massivelement kontrolliert translatorisch aus der Verbindung gedrückt. Bei der Drehmomentprüfung wird ebenso das Blech fixiert und das Drehmoment erfasst, welches zum rotatorischen Lösen der Verbindung führt. Die maximal messbare Ausdrückkraft betrug 20 t, das maximale Drehmoment 200 Nm. Das Ergebnis der Ausdrückprüfung ist in Bild 3, das der Drehmomentprüfung in Bild 4 visualisiert.

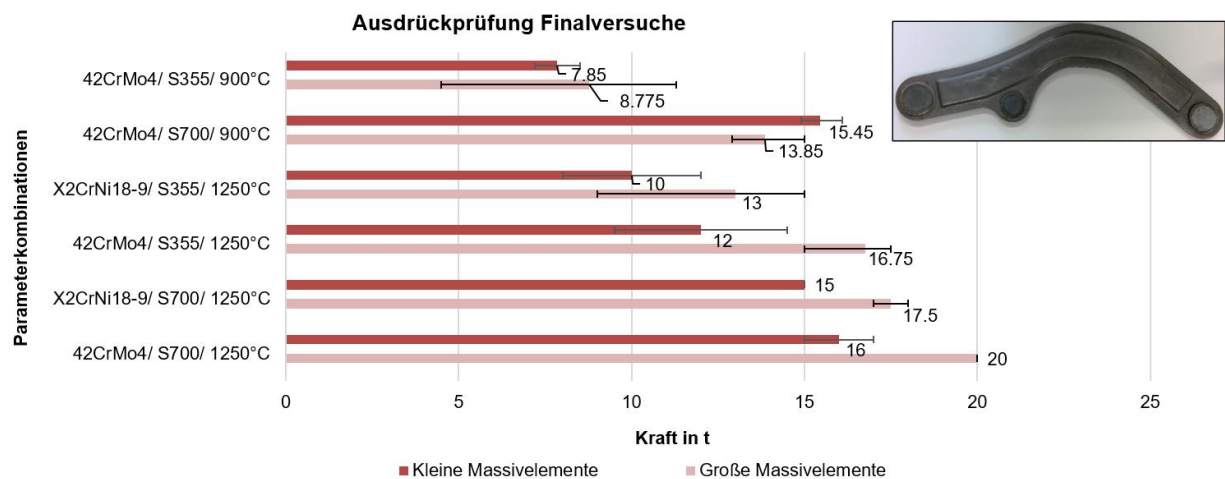


Bild 3: Ergebnis der Ausdrückprüfung der Querlenkergeometrien zur Untersuchung der mechanischen Verbundfestigkeit für unterschiedliche Parameterkombinationen

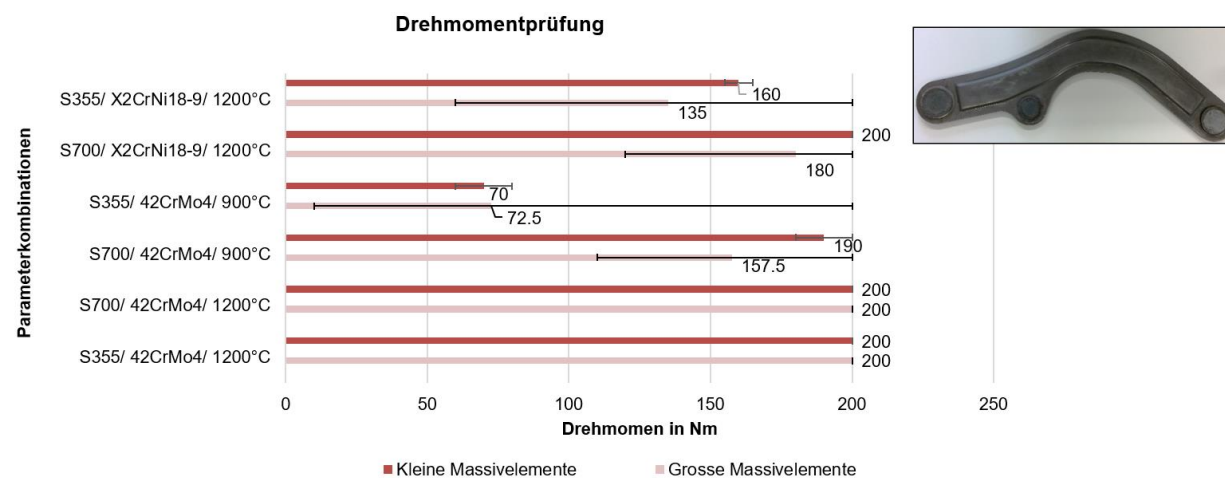


Bild 4: Ergebnis der Drehmomentprüfung für unterschiedliche Parameterkombinationen

In Bild 3 zu erkennen ist, dass die Parameterkombination aus 42CrMo4 als Massivmaterial, S700MC als Blechmaterial und eine Umformtemperatur von 1250 °C günstigste und zuverlässigste Verbundzonen ergeben. Eine Prüflast von 20 t führte bei den großen Massivelementen und genannter Parameterkombination nicht zum Lösen der Verbindung. Für das kleine Massivelement führte eine Last von gemittelt 16 t zum Lösen der Verbindung, wobei 15 t den Minimal-, 17 t den Maximalprüfwert beschreibt. Auch bei Umformtemperaturen von 900 °C zeigte sich für 42CrMo4 und S700MC eine auftretende Differenz vom Minimal- zum Maximalprüfwert maximal 2,5 t. Bei 1250 °C und 42CrMo4 mit dem Blechmaterial S355J2 konnten Lasten von bis zu gemittelt 16,75 t ertragen werden, dessen Differenzwerte jedoch bis zu 8 t erreichten. Das weichere Blechmaterial ermöglicht demzufolge ebenfalls die Aufnahme hoher Lasten, die Zuverlässigkeit der Verbindung verglichen zum Blechmaterial S700MC jedoch geringer ist.

In Bild 4 ist zu erkennen, dass insbesondere Parameterkombinationen mit X2CrNi18-9 als Massiv- wie auch S355J2 als Blechmaterial eine signifikante Varianz im ertragbaren Drehmoment aufzeigt. Ebenso zeigt sich unter Verwendung einer Umformtemperatur kleiner 1250 °C eine hohe Varianz zwischen dem Minimal- und Maximalwert des Ergebnisses. Zu erklären ist dies durch die häufig eintretende Verbundvariante 3, siehe Bild 1. Die auf das Blechmaterial wirkende Flächenpressung ist wesentlich reduziert, sodass die Proben verglichen zur Parameterkombination 42CrMo4, S700MC und 1250 °C eine wesentlich höhere Varianz aufzeigt. Bei X2CrNi18-9 wirken die Schrumpfungseigenschaften des Werkstoffs einer kraftschlüssigen Verbindung entgegen.

Die die messtechnische Untersuchung der Querlenkergeometrien erfolgte unter Verwendung des Sensors ATOS Core 500, welcher innerhalb eines Messbereichs von 500 x 380 Millimeter mit einer Genauigkeit von 65 Mikrometer messen kann. Die Querlenkergeometrien wurden nach den Anforderungen des Messsystems präpariert und anschließend optisch vermessen. Hierbei wird nach dem Prinzip der Fotogrammetrie aus unterschiedlichen Perspektiven eine 2D-Aufnahme des Bauteils aufgenommen und mithilfe der Software ATOS Professional in eine 3D-Aufnahme überführt. Die 3D-Aufnahme liegt anschließend als STL-Datei vor und steht für weitere Untersuchungen zur Verfügung, beispielsweise einem Flächenvergleich mit einer Idealgeometrie aus einem CAD-Programm. Hierbei wird die Ist- mit der Soll-Geometrie verglichen, das Übereinanderlegen erfolgte nach dem Gauß-Best-Fit Verfahren. Die hierbei auftretenden geometrischen Abweichungen werden erfasst und mit einer Farbskala an der vorliegenden Geometrie visualisiert. Der Flächenvergleich für die Verbundzone für unterschiedliche Parameterkombinationen ist in Bild 4 zu sehen.

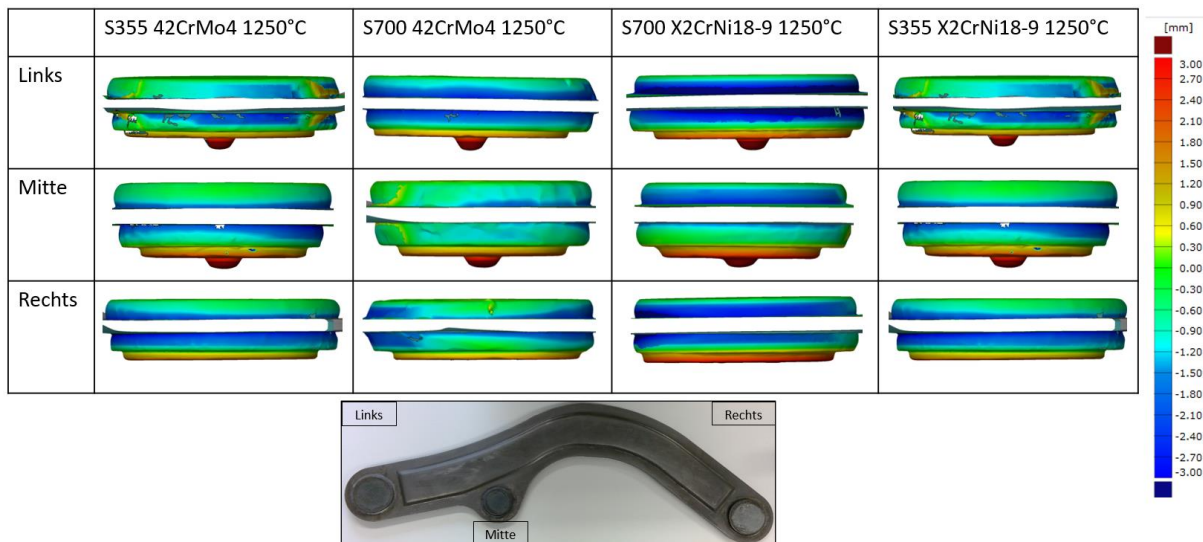


Bild 5: Ergebnis der messtechnischen Untersuchung mithilfe des Koordinatenmessgeräts GOM ATOS Core mit Fokus auf den hybridgeschmiedeten Verbund mit Abweichungslegende (rechts)

Tendenziell hat sich gezeigt, dass 42CrMo4 als Zylindermaterial höhere Maßhaltigkeiten aufweist als X2CrNi18-9. Verglichen mit der Idealgeometrie führt das starke Schrumpfungsverhalten von X2CrNi18-9 zu Abweichungen von lokal bis zu 3 mm. Insbesondere in der Verbundzone führt das Schrumpfungsverhalten teilweise dazu, dass bereits vor der Vermessung durch akustische Signale ausschließlich eine formschlüssige Verbindung anzunehmen war.

Danksagung

Die in diesem Artikel veröffentlichten Arbeiten wurden durch das IGF-Projekt 19750 N der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. (FOSTA) durch einen Beschluss des Deutschen Bundestages gefördert. Die Autoren bedanken sich bei der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) für die finanzielle und organisatorische Unterstützung dieses Projektes. Die Autoren erklären, dass sie keinen Interessenkonflikt haben.

Literaturverzeichnis

- [Abe12] Abe, Y.; Mori, K.; Kato, T.: Joining of high strength steel and aluminium alloy sheets by mechanical clinching with dies for control of metal flow. In Journal of Materials Processing Technology, 2012; S. 884-889.
- [Sei18] Seif, E.; Langner, J.; Stonis, M.; Behrens, B.-A.: Blech- und Massivteile formen und fügen. In: UMFORMtechnik, Meisenbach Verlag GmbH, 52. Jg. (2018), H. 8, S. 22-23.
- [Sei19a] Seif, E.; Langner, J.; Stonis, M.; Behrens, B.-A.: Folgeverbundhybridschmieden eines Querlenkers. In wt-online Vol 109 (2019) H 10, pp 765-769.
- [Kac13] Kache, H.; Stonis, M.; Behrens, B. A.: Hybridschmieden - Monoprozessuales Umformen und Fügen von metallischen Blech- und Massiv-Elementen. In wt Werkstatt-technik online, 2013; S. 257-262.
- [Sei19b] Seif, E.; Langner, J.; Stonis, M.; Behrens, B.-A.: An analytical approach for the prediction of joining bond formation in hybrid forging processes. In: 39° SENAFOR, 2019, Porto Alegre, Brasil.
- [Lee10] Lee, C.-J. et al.: Parametric study on mechanical clinching process for joining aluminum alloy and high-strength steel sheets. In Journal of Mechanical Science and Technology, 2010, 24; S. 123-126.
- [Mes14] Meschut, G.; Hahn, O.; Matzke, M.: Mechanisches Fügen von hochmanganhaltigen TWIP-Stählen. In (Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. Hrsg.): 4. Füge-technisches Gemeinschaftskolloquium, 2014.