

Projektdaten:

Projekttitel:	Gezielte Prozesssteuerung bei der Kaltmassivumformung und Wärmebehandlung zur Minimierung des Verzugs
Projektnummer:	IGF 478 ZN
Laufzeit:	01.06.2013 – 30.11.2016
Berichtszeitraum:	01.06.2013 – 30.11.2016
Gesamtmittel Euro:	463.900,00 €
Forschungsstelle 1:	Institut für Umformtechnik und Leichtbau (IUL) Technische Universität Dortmund Baroper Straße 303 D-44227 Dortmund
Leiter der Forschungsstelle: Sachbearbeiter:	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. A. Erman Tekkaya Oliver Hering M. Sc. Tel. 0231/755-8432
Forschungsstelle 2:	Stiftung Institut für Werkstofftechnik (IWT) Badgasteiner Straße 3 D-28359 Bremen
Leiter der Forschungsstelle: Sachbearbeiter:	Prof. Dr.-Ing. H.-W. Zoch Herr Dipl.-Ing. Dawid Nadolski Tel. 0421/218-51379

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Thema	1
2 Problemstellung	1
3 Ziele	1
4 Vorgehensweise	1
5 Ergebnisse	3
6 Praktischer Nutzen/Wirtschaftlichkeit	4
7 Umsetzung und Ergebnistransfer	4
8 Dokumentation	6

1 Thema

Gezielte Prozesssteuerung bei der Kaltmassivumformung und Wärmebehandlung zur Minimierung des Verzugs.

2 Problemstellung

Die Kaltmassivumformung ermöglicht eine ressourceneffiziente und wirtschaftliche Herstellung von Bauteilen in großen Stückzahlen. Allerdings treten fertigungsbedingte Abweichungen nach der Umformung auf, die zusätzlich von Maß- und Formänderungen aufgrund einer häufig nachfolgenden Wärmebehandlung überlagert werden. Dies erfordert häufig eine aufwendige Nachbearbeitung.

3 Ziele

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist zunächst die Ermittlung signifikanter Einflussgrößen auf die Formabweichungen nach dem Fließpressen als auch die Maß- und Formänderungen bei anschließenden Wärmebehandlungsprozessen. Anhand der gewonnenen Ergebnisse sollen Maßnahmen aufgezeigt werden, um durch die gezielte Einstellung von Prozessparametern während der Kaltumformung und anschließenden Wärmebehandlung die Formabweichungen des Bauteils zu reduzieren.

4 Vorgehensweise

Entlang der Prozesskette wurden systematisch Parameter variiert und parallel die Bauteileigenschaften untersucht. Die Variation der Einflussgrößen umfasst dabei den Stahllieferanten, das Ausgangsgefüge, die Beschichtung, die Umformroute und die Wärmebehandlung. Die untersuchte Prozesskette sowie

die dabei variierten Einflussfaktoren sind in Abbildung 4.1 dargestellt und werden im Folgenden erläutert.

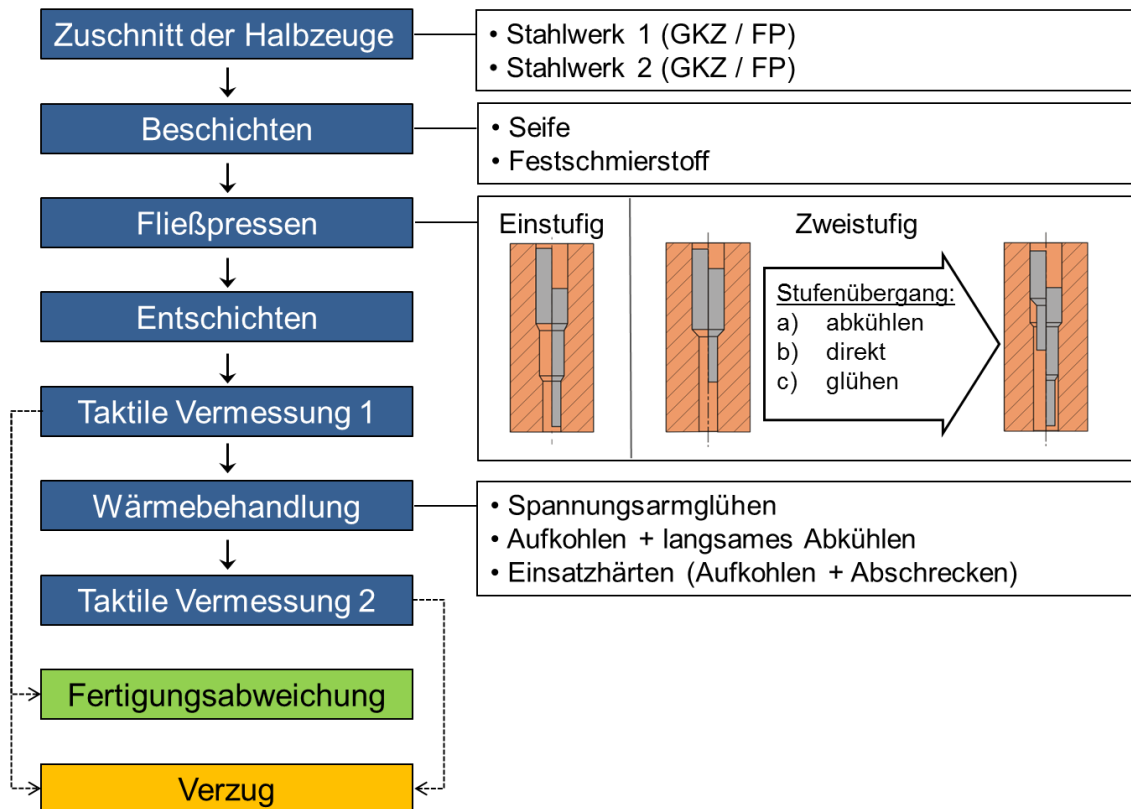


Abbildung 4.1: Prozesskette und Auflistung der variierten Einflussgrößen

Für die Untersuchungen wurde der stranggegossene Einsatzstahl 20MnCr5 mit einem Durchmesser von 36,5 mm verwendet. Der Werkstoff wurde in den Gefügeständen GKZ und FP untersucht. Zur Beurteilung der Chargenabhängigkeit wurde Stangenmaterial von zwei verschiedenen Stahlwerken genutzt. Für das Fließpressen wurden zunächst Halbzeuge mit einer Länge von 180,5 mm gesägt und anschließend beschichtet. Bei den aufgetragenen Beschichtungen handelt es sich um eine Zinkseife oder einen Festschmierstoff in Verbindung mit Fließpressöl, jeweils auf einer Zinkphosphat Schicht. Die beschichteten Halbzeuge wurden anschließend mittels Voll-Vorwärts-Fließpressen bei Raumtemperatur zu einer zweifach abgesetzten Welle umgeformt. Die Umformung der Wellengeometrie erfolgte sowohl ein- als auch zweistufig (Abbildung 4.2).

Beim einstufigen Fließpressen wird die Wellengeometrie in einem Hub unter Verwendung eines einzelnen Umformwerkzeugs gepresst. Bei der zweistufigen Prozessvariante wird zunächst der Wellenabschnitt III umgeformt. Anschließend wird das Bauteil entnommen und in einer zweiten Matrize der Wellenabschnitt II gefertigt. Bei der zweistufigen Variante wurde zudem der Stufenübergang variiert. Im Verfahrensweg „abkühlen“ wurden die Wellen nach dem ersten Fließpressvorgang zunächst auf Raumtemperatur abgekühlt, bevor im Anschluss die zweite Stufe gepresst wurde. Bei der Variante „direkt“ wurde der mittlere Absatz unmittelbar nach dem ersten Fließpressvorgang unter Nutzung der durch die Deformationsenergie eingebrachten Wärme gefertigt. Zudem wurde in einer weiteren Untersuchungsvariante die im ersten Umformschritt erzielte Kaltverfestigung durch eine zwischengeschaltete Wärmebehandlung (Glühen bei 600 °C) vor der Umformung in der zweiten Stufe abgebaut. Nach dem Fließpressen erfolgte ein Entschichten aller Wellen unter Verwendung einer alkalischen Lösung. Um die Auswirkung des Herstellungsverfahrens auf die Formabweichungen zu analysieren, wurden analog zu den fließgepressten Wellen auch Referenzbauteile mit gleicher Endgeometrie spanend gefertigt. Nach dem Herstellprozess wurde die Bauteilgeometrie mit einem taktilen Koordinatenmessgerät vermessen und daraus die Formabweichungen der Welle ermittelt.

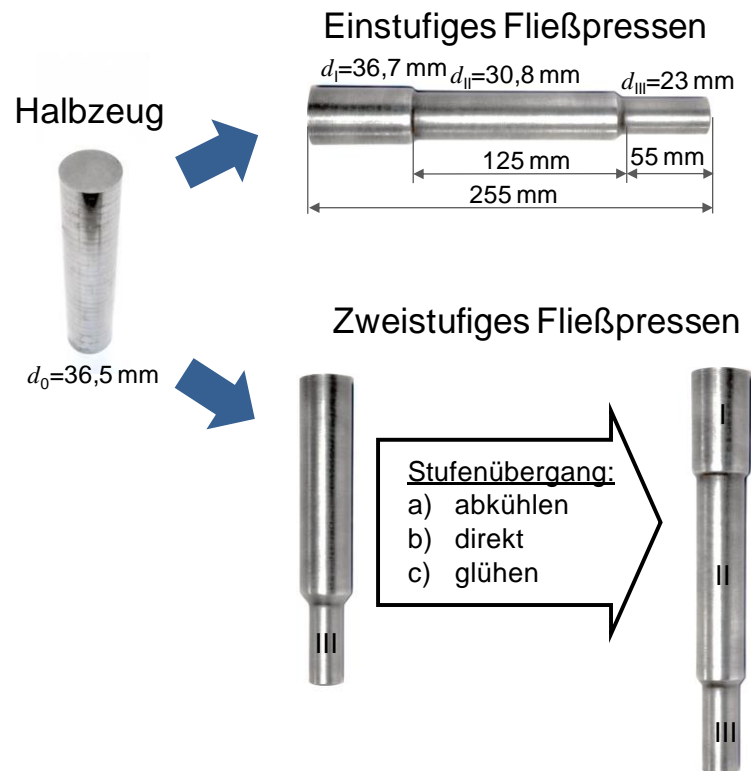


Abbildung 4.2: Untersuchte Prozesspfade zur Erzeugung zweifach abgesetzter Wellen

Beim einstufigen Fließpressen wird die Wellengeometrie in einem Hub unter Verwendung eines einzelnen Umformwerkzeugs gepresst. Bei der zweistufigen Prozessvariante wird zunächst der Wellenabschnitt III umgeformt anschließend wird das Bauteil entnommen und in einer zweiten Matrize der Wellenabschnitt II gefertigt. Bei der zweistufigen Variante wurde zudem der Stufenübergang variiert. Im Verfahrensweg „abkühlen“ wurden die Wellen nach dem ersten Fließpressvorgang zunächst auf Raumtemperatur abgekühlt, bevor im Anschluss die zweite Stufe gepresst wurde. Bei der Variante „direkt“ wurde der mittlere Absatz unmittelbar nach dem ersten Fließpressvorgang unter Nutzung der durch die Deformationsenergie eingebrachten Wärme gefertigt. Zudem wurde in einer weiteren Untersuchungsvariante die im ersten Umformschritt erzielte Kaltverfestigung durch eine zwischengeschaltete Wärmebehandlung (Glühen bei $600 \text{ }^\circ\text{C}$) vor der Umformung in der zweiten Stufe abgebaut. Nach dem Fließpressen erfolgte ein Entschichten aller Wellen unter Verwendung einer alkalischen Lösung. Um die Auswirkung des Herstellungsverfahrens auf die Formabweichungen zu analysieren, wurden analog zu den fließgepressten Wellen auch Referenzbauteile mit gleicher Endgeometrie spanend gefertigt. Nach dem Herstellprozess wurde die Bauteilgeometrie mit einem taktilen Koordinatenmessgerät vermessen und daraus die Formabweichung der Wellen ermittelt.

Im Anschluss an die Umformung wurden die Wellen verschiedenen Wärmebehandlungen unterzogen. Dies sind das Spannungsarmglühen, Aufkohlen und langsames Abkühlen sowie das Einsatzhärten (in Stichversuchen auch Blindhärten). Nach der Wärmebehandlung fand eine erneute Vermessung der Wellengeometrie statt. Aus dem Vergleich der Wellengeometrie nach und vor dem Wärmebehandlungsschritt wurden die Maß- und Formänderungen berechnet.

Die experimentellen Untersuchungen wurden durch FEM-Simulationen ergänzt, die zu einem besseren Verständnis von wichtigen Verzugspotentialen aus der Kaltumformung (beispielsweise Eigenspannungszustand) beitragen.

5 Ergebnisse

Bereits durch die Vermessung der Bauteilgeometrie nach dem Herstellungsprozess konnten signifikante Einflussgrößen auf die Fertigungsabweichungen identifiziert werden. Zur Einstellung möglichst formgenauer Wellenbauteile können anhand der im Projekt erzielten Ergebnisse eine Vielzahl von

Richtlinien und Maßnahmen abgeleitet werden. Um die Fertigungsabweichung zu reduzieren, muss beachtet werden, dass bereits die Verfahrensabfolge beim Fließpressen die Fertigungsabweichungen deutlich beeinflussen kann. Dabei zeigt sich, dass die einstufige Umformung im Vergleich zu der zweistufigen Umformung zu deutlich geringeren Fertigungsabweichungen führt. Bei zweistufiger Umformung verursacht das Abkühlen im Stufenübergang die größten Formabweichungen, sodass ein direkter Stufenübergang, mit Ausnutzung der entstandenen Wärme, erfolgen sollte. Durch die Umformung unter Ausnutzung der Restwärme wird zudem die Prozesszeit deutlich reduziert und die Fließspannung herabgesetzt, sodass die Prozesskräfte geringer sind. Mit einer weiteren Festigkeitsabnahme, die durch das Zwischenglühen erreicht wird, können die Fertigungsabweichungen noch weiter reduziert werden. Allerdings wird die Produktivität negativ beeinflusst. Auch die Beschichtung hat einen Einfluss auf die Fertigungsabweichungen. Durch eine Beschichtung mit Festschmierstoff (+Fließpressöl) können deutlich gleichmäßigere Fertigungsabweichungen im Vergleich zur Beschichtung mit Seife erreicht werden. Demgegenüber hatten die Variation des Stahllieferanten (und somit auch geringe Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der Werkstoffe) als auch das Ausgangsgefüge des Materials keinen signifikanten Einfluss auf die Fertigungsabweichungen der Wellen.

In nachfolgenden Wärmebehandlungsprozesse wurden die Fertigungsabweichungen durch das Auslösen von Maß- und Formänderungen überlagert. Durch den direkten Vergleich fließgepresster Wellen mit zerspannten Bauteilen (gleicher Geometrie) konnte zunächst gezeigt werden, dass das Fertigungsverfahren das Verzugsverhalten entscheidend beeinflusst und somit, dass häufig in der industriellen Praxis angewandte Wissen von gedrehten Bauteilen, nicht vollständig auf kaltumgeformte übertragen werden darf. Neben der Wärmebehandlung selber wird das Verzugsverhalten auch bereits durch Werkstoffauswahl als auch durch die bei der Kaltumformung eingestellten Parameter beeinflusst. Auch wurde beachtet, dass Unterschiede im Verzugsverhalten aufgrund des Ausgangsgefüges (GKZ/FP) besonders bei kaltumgeformten Bauteilen stark ausgeprägt sind. Gefügebedingte Anisotropieeffekte, die durch die Kaltumformung im hohen Maße verstärkt werden, konnten dabei als Ursache für richtungsabhängige Maßänderungsunterschiede identifiziert werden.

Im Rahmen des Projekts konnte eine Prozesskettensimulation durch die Kopplung der beiden Teilprozesse Fließpressen und Wärmebehandlung aufgebaut werden. Der Vergleich der Maßänderungen zwischen Simulation und Experiment zeigt jedoch noch große Abweichung und es muss davon ausgegangen werden, dass aufgrund der Komplexität von Erholungs- und Rekristallisationsvorgängen bisher eine Vielzahl von verzugsrelevanten Einflussgrößen in der Simulation noch nicht berücksichtigt wird.

Die in dem Projekt gewonnen Erkenntnisse und aufgestellten Maßnahmen tragen dazu bei, sowohl die Fertigungsabweichungen als auch die durch die Wärmebehandlung ausgelösten Maß- und Formänderungen zu minimieren und führen somit direkt zu einer Erhöhung der Produktivität und Attraktivitätssteigerung des Verfahrens Kaltmassivumformung.

6 Praktischer Nutzen/Wirtschaftlichkeit

Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnte der Einfluss unterschiedlicher Parameter auf die Fertigungsabweichungen und den Verzug identifiziert werden. Es konnte ermittelt werden, welche dieser Parameter bei der Auslegung von Fertigungsprozessen im Hinblick auf die auftretenden Form- und Maßänderungen berücksichtigt werden sollten und wie diese einzustellen sind. Höhere Präzision führt zu geringerer Nacharbeit und somit zu einer Erhöhung der Produktivität. Von den erzielten Ergebnissen profitieren Unternehmen der Umformtechnik, Wärmebehandler und auch Hersteller von Schmierstoffen.

7 Umsetzung und Ergebnistransfer

Um einen Transfer der Ergebnisse in die Wirtschaft zu ermöglichen, fanden Maßnahmen wie Projektsitzungen, Veröffentlichungen in Schriftform und Vorstellung auf Konferenzen statt (Tabelle 7.1).

Abschlusszusammenfassung zum Forschungsprojekt IGF478 ZN
Minderung von Verzug

Tabelle 7.1: Ergebnistransfer

Maßnahme	Ziel	Zielgruppe	Zeitpunkt/Anzahl/Ort
FSV-Forschungsreport: Vorstellung des Projekts	Kommunikation der Forschungsergebnisse	Unternehmen der Massivumformung, beteiligte Institute, Geldgeber, andere Forschungsgesellschaften, FSV-Vorstand/ Mitglieder, WSM-Fachverbände	Hagen, 06.2013
Projektsitzung („Kick Off Meeting)	Abstimmung des weiteren Vorgehens	Unternehmen des PbA	Dortmund, 29.08.13
Sachstandberichte: GCFG- Mitgliederversammlung	Präsentation des Projektes und der bisherigen Ergebnisse	Unternehmen der Kaltmassivumformung	Hagen, 26.11.13
FSV-Forschungsreport: Zwischenbericht 2013	Kommunikation der Forschungsergebnisse	Unternehmen der Massivumformung, beteiligte Institute, Geldgeber, andere Forschungs-gesellschaften, FSV-Vorstand/ Mitglieder, WSM-Fachverbände	Hagen, 06.2014
Projektsitzung	Präsentation und Diskussion aktueller Zwischen- ergebnisse, Abstimmung des weiteren Vorgehens	Unternehmen des PbA	Dortmund, 05.03.2015
Faktendatenbankeintrag (Online-Datenbank des Industrieverbandes Massivumformung)	Bekanntmachung aktueller Ergebnisse	Unternehmen der Massivumformung	Hagen, 05.04.2015
FSV-Forschungsreport: Zwischenbericht 2014	Kommunikation der Forschungsergebnisse	Unternehmen der Massivumformung, beteiligte Institute, Geldgeber, andere Forschungs-gesellschaften, FSV-Vorstand/ Mitglieder, WSM-Fachverbände	Hagen, 06.2015
International Conference on Distortion Engineering, ICFG	Präsentation der Projektergebnisse	Internationale Teilnehmer aus Forschung und Industrie	Daejeon, Republic of Korea, 13.-16.09.2015
Projektsitzung	Präsentation und Diskussion aktueller Zwischen- ergebnisse, Abstimmung des weiteren Vorgehens	Unternehmen des PbA	Bremen, 19.11.2015
Faktendatenbankeintrag (Online-Datenbank des Industrieverbandes Massivumformung)	Bekanntmachung aktueller Ergebnisse	Unternehmen der Massivumformung	Hagen, 19.12.2015
Sachstandberichte: AWT- Fachausschuss 15 „Maß- und Formänderung“	Präsentation des Projektes und der bisherigen Ergebnisse	Unternehmen der Wärmebehandlung	Bremen, 03.03.2016
Projektsitzung	Präsentation und Diskussion aktueller Zwischen- ergebnisse, Abstimmung des weiteren Vorgehens	Unternehmen des PbA	Dortmund, 23.06.2016
FSV-Forschungsreport: Zwischenbericht 2015	Kommunikation der Forschungsergebnisse	Unternehmen der Massivumformung, beteiligte Institute, Geldgeber, andere Forschungs-gesellschaften, FSV-Vorstand/ Mitglieder, WSM-Fachverbände	Hagen, 06.2016

Abschlusszusammenfassung zum Forschungsprojekt IGF478 ZN
Minderung von Verzug

Faktendatenbankeintrag (Online-Datenbank des Industrieverbandes Massivumformung)	Bekanntmachung aktueller Ergebnisse	Unternehmen der Massivumformung	Hagen, 23.07.2016
Projektsitzung	Präsentation und Diskussion aktueller Zwischenergebnisse, Abstimmung des weiteren Vorgehens	Unternehmen des PbA	Dortmund, 08.11.2016
Sachstandberichte: GCFG-Mitgliederversammlung	Präsentation des Projektes und der bisherigen Ergebnisse	Unternehmen der Kaltmassivumformung	Hagen, 16.11.16
Faktendatenbankeintrag (Online-Datenbank des Industrieverbandes Massivumformung)	Bekanntmachung aktueller Ergebnisse	Unternehmen der Massivumformung	Hagen, 08.12.2016
Bericht bei der GCFG-Mitgliederversammlung	Präsentation des Projektes und der Ergebnisse	Unternehmen der Kaltmassivumformung	einmalig nach der Projektlaufzeit gegen Ende des Jahres, Ort: Hagen
Bericht in der Arbeitsgruppe Werkstoffe der German Cold Forging Group (GCFG)	Präsentation des Projektes und der Ergebnisse	Unternehmen der Kaltmassivumformung	Voraussichtlich 05.-06.04.2017, Stuttgart
International Conference on Steels in Cars and Trucks	Präsentation der Projektergebnisse	Internationale Teilnehmer aus Forschung und Industrie	Voraussichtlich: 18.-22.06.2017, Amsterdam, Niederlande
Veröffentlichungen in der Fachzeitschrift massivUMFORMUNG	Präsentation des Projektes und der Ergebnisse	Unternehmen der (Kalt)Massivumformung Wärmebehandlung und Stahlherstellung	Voraussichtlich: März 2017
2. AiF-Anwenderforum „Verzug“	Präsentation des Projektes und der Ergebnisse	Unternehmen der (Kalt)Massiv-umformung, Wärmebehandlung und Stahlherstellung	einmalig nach der Projektlaufzeit
Faktendatenbankeintrag (Online-Datenbank des Industrieverbandes Massivumformung)	Bekanntmachung der Abschlussergebnisse	Unternehmen der Massivumformung	einmalig nach der Projektlaufzeit
FSV-Forschungsreport: Abschlusszusammenfassung	Kommunikation der Forschungsergebnisse	Unternehmen, beteiligte Institute, Geldgeber, andere Forschungs-gesellschaften, FSV-Vorstand/ Mitglieder, WSM-Fachverbände	einmalig nach der Projektlaufzeit
Abschlussbericht, Verbreitung über FSV-Homepage	Kommunikation der Forschungsergebnisse	Interessierte Unternehmen allgemein	einmalig nach dem Bearbeitungszeitraum
Einbringen der Ergebnisse in die Lehre	Präsentation des Projektes und der Ergebnisse, Nachwuchsförderung	Studierende, Partner in Forschung und Lehre	einmalig nach der Projektlaufzeit
Ergebnisdarstellung auf den Internetseiten von IUL und IWT	Präsentation des Projektes und der Ergebnisse	Studierende, Partner in Forschung und Lehre	einmalig nach der Projektlaufzeit

9 Dokumentation

Während der Projektlaufzeit wurden Ergebnisse im Rahmen von Konferenzbänden bzw. Proceedings publiziert (Proceedings of the 48th Plenary Meeting of International Cold Forging Group). Eine Veröffentlichung in der Fachzeitschrift massivUMFORMUNG ist in Märzausgabe 2017 vorgesehen. Außerdem werden im Juni 2017 die Ergebnisse auf der Konferenz „Steel, Cars and Trucks“ in Amsterdam-Schiphol vorgestellt. Darüber hinaus wurden Zwischenberichte sowie ein Abschlussbericht angefertigt. Der Schlussbericht sowie die Faktendatenbeiträge können bei der FSV, Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.

Das IGF-Vorhaben IGF 478 ZN der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Stahlverformung e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Langfassung des Abschlussberichtes kann bei der FSV, Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.

Gefördert durch:



Industrielle
Gemeinschaftsforschung

Forschungsgesellschaft
Stahlverformung e. V.



AiF Mitglied