

Strukturierte Zusammenfassung der Dissertation

Entwicklung eines datenbasierten Prozessführungsmodells für das Walzrunden von Grobblechen

vorgelegt von
M. Sc. Lukas Kappis

1 Einleitung

Das Walzrunden ist ein Biegeumformverfahren zum kontinuierlichen Rundbiegen von Blechen. Das Verfahren besitzt ein sehr breites Anwendungsspektrum. Im Bereich von Blechdicken größer als 10 mm wird es beispielsweise für die Herstellung von Rohrtürmen für Windenergieanlagen und Schwerlastkranen, Pipelines, Druckbehältern sowie Konstruktionselementen für die Bauindustrie eingesetzt. In diesem Anwendungsbereich wird das Walzrunden derzeit überwiegend erfahrungsbasiert durch den Maschinenbediener gesteuert. Dadurch hängen die Wirtschaftlichkeit und Maßhaltigkeit des Verfahrens stark vom Bediener ab. Aus Sicht der Fertigungsunternehmen ist diese Abhängigkeit mit erheblichen Risiken verbunden. Für die Bediener bedeutet sie eine große Verantwortung, die eine hohe psychische Belastung mit sich bringt. Folglich besteht der Bedarf nach technischen Lösungen, die den Anlagenbediener bei der Prozessführung unterstützen können, um den Prozess robuster und zugleich effizienter zu machen.

2 Problemstellung

Die Forschungsarbeiten zur Prozessführung des Walzrunden reichen bis in die 1980er Jahre zurück. Dabei hat sich als Lösungsansatz die Entwicklung eines Prozessmodells herauskristallisiert, das das Umformverhalten eines Blechs anhand von aufgenommenen Prozessdaten ermitteln und daraus eine zielführende Prozessführung berechnen kann. Aus wissenschaftlicher Sicht stellt die Modellierung des Walzrundens eine große Herausforderung dar, bei der Faktoren wie die Zeitabhängigkeit des kontinuierlichen Umformprozesses, nichtlineare schwankungsbehaftete Effekte wie die Werkstoffverfestigung sowie flexible Varianten der Prozessführung berücksichtigt werden müssen. Zur Modellierung des Verfahrens wurden bisher unterschiedliche Ansätze erprobt. Dabei hat sich gezeigt, dass der analytische Ansatz, der auf einer vereinfachten geometrischen Modellbildung basiert, aufgrund der Komplexität des Prozesses an seine Grenzen stößt. Zu der alternativen numerischen Modellbildung liegen bereits Patentansprüche der Firma *Haeusler* vor. Wenig Wissen gibt es dagegen zu dem empirischen datenbasierten Ansatz. Das hierzu bisher einzige publizierte Modell ist zu unflexibel, da es nur für einen Biegeablauf eingesetzt werden kann, der exakt den Trainingsdaten entspricht. Dies macht deutlich, dass eine Neukonzeptionierung des Ansatzes erforderlich ist. An diesem Punkt setzt die Doktorarbeit an.

3 Zielstellung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines datenbasierten Prozessführungsmodells für das Walzrunden von Grobblechen. Da im Bereich der Grobblechbearbeitung vorzugsweise 4-Walzen-Rundbiegemaschinen eingesetzt werden, wird die Entwicklung am Beispiel dieses Maschinentyps durchgeführt. Das Walzrunden mit 4-Walzen-Rundbiegemaschinen umfasst mehrere Prozessschritte, in denen verschiedene Biegevarianten angewendet werden. Um eine hohe Praxistauglichkeit zu gewährleisten, soll das Modell den Prozess ganzheitlich begleiten und alle Biegevarianten zuverlässig abbilden können. Unter der Annahme, dass ein empirisches Modell über ein großes Prozessverständnis verfügt und sich selbst korrigieren kann, wird dabei auch die Möglichkeit der Selbstkorrektur der Prognosen untersucht.

4 Lösungsweg

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde der Walzrundprozess im ersten Arbeitsschritt charakterisiert. Dabei wurden anhand phänomenologischer Merkmale die verschiedenen Biegevarianten definiert, die beim Walzrunden verwendet werden können. Um die Komplexität zu vereinfachen, wurden innerhalb dieser Biegevarianten repräsentative quasi-stationäre Zustände identifiziert, auf welche die Modellbildung beschränkt wurde. Hierdurch konnte die Zeitabhängigkeit des Verfahrens vernachlässigt und der Datenbedarf des Modells reduziert werden.

Im nächsten Schritt wurde ein FE-Modell einer realen Rundbiegemaschine aufgebaut und mithilfe von Experimenten an diese angepasst. Mithilfe dieses Modells wurden synthetische Prozessdaten für die identifizierten quasi-stationären Biegezustände generiert.

Auf den generierten Daten wurden anschließend verschiedene maschinelle Lernmodelle trainiert und hinsichtlich ihrer Anpassungs- und Generalisierungsfähigkeit evaluiert. Dabei wurden die Verfahren *Support Vector Regression*, *Random Forest*, *Gradient Boosting* und *Multi Layer Perceptron (MLP)* erprobt. Als Eingangsgrößen wurden wesentliche Parameter einer Umformaufgabe verwendet. Zu dem Blechwerkstoff wurde dem datenbasierten Modell nur die untere Streckgrenze übergeben und angenommen, dass der Einfluss der Elastoplastizität hiermit hinreichend genau modelliert werden kann. Als Ausgangsgröße wurde die Zustellung der Seitenwalze ausgegeben. Die Modelle mit der besten Performance wurden schließlich für das Prozessführungsmodell ausgewählt.

Über simulative und experimentelle Erprobungsversuche wurde das datenbasierte Modell auf seine Tauglichkeit zur Prozessführung untersucht. Bei den simulativen Versuchen wurden Umformaufgaben gestellt und mithilfe des Prozessführungsmodells zielführende Maschineneinstellungen berechnet. Die prognostizierte Umformstrategien wurden mit der FEM simuliert und Prognosen und Simulationsergebnisse miteinander verglichen. Im Rahmen der experimentellen Erprobung wurde die Fertigung eines Großrohres bei der Firma *EEW Special Pipe Constructions GmbH* in Rostock dokumentiert und im Nachgang mit den Prognosen des Prozessführungsmodells verglichen.

5 Ergebnisse

Nachfolgend werden die wesentlichen Ergebnisse aus den Versuchen zur Erprobung des entwickelten datenbasierten Prozessführungsmodells aufgeführt:

- (1) Insgesamt konnte mithilfe der simulativen Versuche gezeigt werden, dass der Walzrundprozess mithilfe des Modells – trotz der Reduzierung des Verfahrens auf quasi-stationäre Zustände – über den gesamten Ablauf zielführend gesteuert werden kann. Die Genauigkeit der Prognosen hat den Ansatz bestätigt, den Einfluss des elastoplastischen Verhaltens des Blechwerkstoffs allein anhand der unteren Streckgrenze vorherzusagen. Zudem haben die großen Verbesserungen der Prognosen zwischen den ersten und zweiten Stichen gezeigt, dass sich das Modell aufgrund seines empirischen Prozessverständnisses selbst korrigieren kann und kein externes Korrektursystem benötigt.
- (2) Bei der experimentellen Erprobung konnte aufgrund von Unsicherheiten bei der Bestimmung des Umformergebnisses und den unbekannten mechanischen Eigenschaften des Blechwerkstoffs kein eindeutiger quantitativer Abgleich zwischen Prognose und Realität aufgestellt werden. Jedoch konnte anhand eines Kennlinienfelds der Modellprognosen gezeigt werden, dass das Modell das experimentelle Ergebnis in guter Näherung vorhersagen konnte.
- (3) Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass sich der entwickelte Ansatz als vielversprechend erwiesen hat, um das Walzrunden von Grobblechen zu führen.