

Titel

Produce to Performance - Verbesserung der Vorhersagbarkeit und Effizienz von Kaltarbeitsstahlprodukten durch Verwendung einer gekoppelten digitalen Darstellung von Wärmebehandlungs- und Schleifprozessketten

Cornet-Nr.: 01IF00325C

Forschungsvereinigungen

Forschungsvereinigung 1: Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. (FGW)

Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid

Forschungsvereinigung 2: ecoplus. The Business Agency of Lower Austria Limited (ecoplus)

Niederösterreich-Ring 2, Haus A, 3100 St. Pölten

Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung 1: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe (IFW)

Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid

Ansprechpartner: Dr.-Ing. Robin Roj, +49 (2191) 5921-122, roj@fgw.de

Forschungseinrichtung 2: TU Dortmund, Institut für Spanende Fertigung (ISF)

Baroper Straße 303, 44227 Dortmund

Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Dirk Biermann, +49 (0231) 755-2782, dirk.biermann@tu-dortmund.de

Forschungseinrichtung 3: TU Dortmund, Institut für Mechanik (IM)

Leonhard-Euler-Str. 5, 44227 Dortmund

Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Menzel, +49 (0231) 755-5709, andreas.menzel@tu-dortmund.de

Forschungseinrichtung 4: TU Wien, Institut für Fertigungstechnik und Photonische Technologien (IFT)

Getreidemarkt 9/BA/8 OG, 1060 Wien

Ansprechpartner: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Friedrich Bleicher, +43 (01) 58801 - 31100, friedrich.bleicher@tuwien.ac.at

Forschungseinrichtung 5: TU Wien, Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie (WT)

Getreidemarkt 9, 1060 Wien

Ansprechpartner: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Ernst Kozeschnik, +43 (01) 58801 - 30831, ernst.kozeschnik@tuwien.ac.at

Danksagungen

Das Cornet-Projekt 325 EN der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. – FGW, Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Ausgangssituation

Bei der Herstellung von Produkten aus Kaltarbeitsstahl wird in der Regel eine Wärmebehandlung durchgeführt, um die gewünschten Materialeigenschaften wie Härte und Festigkeit einzustellen, gefolgt von einem Schleifprozess, um die Endgeometrie innerhalb der Toleranzen zu halten. Beide Prozesse sind sowohl ressourcen- als auch energieintensiv und aufgrund der vielen einstellbaren System- und Prozessparameter sehr komplex. Folglich ist es schwierig, die Prozesssicherheit z. B. in Bezug auf Spannungen, Gefüge und Toleranzen zu kontrollieren, insbesondere aufgrund der komplexen Wechselwirkungen zwischen den Prozessschritten. In der industriellen Anwendung führt dies zu einem relevanten Anteil an Ausschussteilen, die oft erst spät in der Prozesskette entdeckt werden, was sich negativ auf die Gesamteffizienz auswirkt.

In den meisten technischen Wertschöpfungsketten zur Herstellung von Produkten wurden bei den ersten drei industriellen Revolutionen (1. Mechanisierung, 2. Massenproduktion, 3. Elektrifizierung) die jeweiligen Prozessschritte noch getrennt betrachtet

und optimiert. Ziel des Projektes war es, sich auf Prozessketten zu konzentrieren, die eine martensitische Härtung als Wärmebehandlung und eines der beiden gängigen Schleifverfahren, das Innenrundsleifen und das Planschleifen, für die Endbearbeitung einsetzen. Damit wurde ein breites Spektrum von Fertigungsanwendungen abgedeckt, die für die Unternehmen des Projektkonsortiums relevant sind.

Die Ausgangssituation konzentriert sich auf eine einheitliche Betrachtung von Wärmebehandlungs- und Schleifprozessen, die in den Bereich der zukunftsweisenden Industrie 4.0 einzuordnen sind. Die vernetzte Betrachtung von Prozessen spielt eine wichtige Rolle bei der Identifizierung bisher unentdeckter ökonomischer und ökologischer Potenziale durch moderne Methoden der Datenerfassung und -auswertung mit simulationsbasierter Prozessanalyse. Während bei großen Unternehmen, die mehrere Prozessschritte durchführen, die erforderlichen Daten über die verschiedenen Prozesse leichter verfügbar sind, führen kleine und mittlere Unternehmen (KMU) oft nur einen der Prozesse durch. Für diese Unternehmen ist die Untersuchung von gegenseitigen Prozessauswirkungen nur in einer Kooperation möglich.

Forschungsziel

Für die Herstellung von Kaltarbeitsstahlprodukten sind eine Wärmebehandlung und anschließende Schleifprozesse notwendig, um verzugsfreie und maßhaltige Bauteile zu erzeugen. Eine solche Prozesskette ist zwar üblich, kann aber in der Industrie im selben Unternehmen oder auch von mehreren Unternehmen realisiert werden, indem das Vormaterial aufbereitet und an Handelspartner verkauft wird, die es dann zum Endprodukt weiterverarbeiten. Abbildung 1 veranschaulicht die gesamte Prozesskette und verdeutlicht die Komplexität und die notwendigen Zwischenschritte.

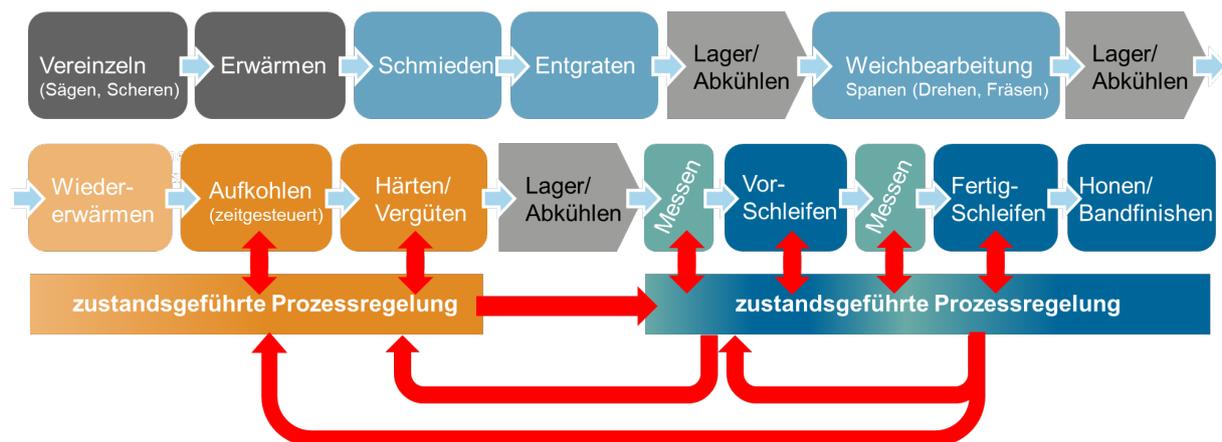


Abbildung 1: Gesamte Prozesskette bestehend aus Wärmebehandlung und Schleifen

Durch die Analyse der verschiedenen Schritte und deren Verknüpfung zu vollständigen Prozessketten lässt sich das Hauptziel des Projekts bereits im Titel finden und wie folgt zusammenfassen:

Verbesserung der Vorhersagbarkeit und Effizienz von Kaltarbeitsstahlprodukten durch Verwendung einer gekoppelten digitalen Darstellung von Wärmebehandlungs- und Schleifprozessketten

Ziel ist es, die komplexen Wechselwirkungen insbesondere von Wärmebehandlung und Schleifen innerhalb der Prozessketten von Kaltarbeitsstählen und die Auswirkungen auf die resultierenden Bauteileigenschaften zu messen, zu modellieren und zu steuern, um Verbesserungen hinsichtlich Werkzeugstandzeit, Stabilität, Produktivität und zuverlässiger Produktqualität zu erreichen. Die Prozessüberwachung durch Messungen in diesem Bereich kann kein ganzheitliches Bild der Prozessbedingungen und Produkteigenschaften effizient abbilden. Digitale Modelle hingegen müssen mit realen Daten kalibriert werden, um die Auswirkungen von unvorhergesehenen Schwankungen der Prozessbedingungen vorhersagen zu können. Außerdem kann nicht jeder Effekt mit digitalen Modellen rechtzeitig vorhergesagt werden. Die genannten Umstände führen dazu, dass eine ausgeklügelte Kombination aus Prozessüberwachung und digitalen Modellen eine effiziente und effektive Methode darstellen kann, um den Bedürfnissen der angesprochenen KMU gerecht zu werden.

Diese Methode hilft Unternehmen, auf Schwankungen der Eigenschaften eingehender Werkstücke zu reagieren und ihre Prozesse mit einem Gesamtverständnis der Auswirkungen auf die nachfolgenden Schritte der gekoppelten Prozesskette zu steuern. Daher war es notwendig, Modelle zu entwickeln, die mehrere Prozessschritte umfassen können und alle Daten, die über die gesamte Kette hinweg gesammelt werden, zu einer digitalen Darstellung zu kombinieren. Die Entwicklung der Techniken, um dies für komplexe Prozessketten in der Kaltumformung von Stahl zu realisieren, ist die wichtigste Innovation. Ziel war es, diese Prozessketten effektiv und effizient zu gestalten und gleichzeitig die Umweltauswirkungen zu verringern, indem z. B. die Standzeit der Werkzeuge verbessert, die Wärmebehandlungstemperaturen gesenkt und vor allem robuste Prozesse durchgeführt werden, so dass idealerweise keinerlei Ausschuss entsteht. Derartige Ausschussteile müssen so früh wie möglich identifiziert werden, um den Energieaufwand für die unnötige Weiterverarbeitung zu reduzieren.

Zusammenfassend lassen sich die Ziele in zwei Kategorien einordnen. Die erste Kategorie stellt die Hauptziele dar und bezieht sich auf alle positiven Auswirkungen auf die Prozessketten. Die zweite Kategorie konzentriert sich auf die Nebenziele, die erreicht werden müssen, um auch die Hauptziele zu realisieren:

I.1: Sicherstellung und Erhöhung der Prozessstabilität bei der Wärmebehandlung und beim Schleifen

Während ein Ansatz zur Qualitätskontrolle in den meisten Produktionsprozessen darin besteht, die endgültige Geometrie oder andere Kriterien zu analysieren und zu überprüfen, besteht ein anderer Ansatz darin, den Prozess zu stabilisieren und die verschiedenen Mechanismen zu sichern. Auf diese Weise kann eher gewährleistet werden, dass die Anzahl von Bauteilen innerhalb der Toleranzen maximiert und der Ausschuss minimiert werden.

I.2: Sicherung und Steigerung der Produktqualität

Durch Veränderung verschiedener Parameter in den Produktionsprozessen kann die Produktqualität, wie z. B. die Maßhaltigkeit oder die Verschleißbeständigkeit der Produkte sowie eine längere Lebensdauer, optimiert oder sogar verbessert werden.

I.3: Reduzierung des Energieverbrauchs und Steigerung der Nachhaltigkeit

Neben Preis und Qualität ist auch der ökologische Fußabdruck aller Herstellungsprozesse ein wichtiges Kriterium. Um die CO₂-Emissionen zu reduzieren und Klimaneutralität zu erreichen, ist die allgemeine Reduzierung des Energieverbrauchs von großem Interesse.

I.4: Kostenreduzierung

Durch die Optimierung aller genannten Bereiche wirken sich diese Verbesserungen direkt auf die wirtschaftlichen Aspekte jeder Produktionslinie aus. Es liegt auf der Hand, dass eine belastbare und nachhaltige Produktion den wirtschaftlichen Erfolg sichert.

Während die vier Ziele der ersten Kategorie eng miteinander verknüpft sind, konzentrieren sich die nachfolgenden Ziele der zweiten Kategorie auf den technischen und wissenschaftlichen Ansatz, um alle Ziele zu erfüllen:

II.1: Verbesserung des Verständnisses von Wärmebehandlungs- und Schleifprozessen durch Laboruntersuchungen und Experimente

Experimentelle Untersuchungen helfen, die Auswirkungen der Wärmebehandlung sowie des Schleifprozesses auf das Werkstückgefüge und den thermisch bedingten Verzug zu analysieren. Eine detaillierte Analyse der Werkstoffeigenschaften nach der Wärmebehandlung und dem Schleifen liefert zudem wichtige Informationen über die Wechselwirkungen.

II.2: Erfassung von Prozessdaten und Analyse durch künstliche Intelligenz

Während herkömmliche Softwarelösungen in der Lage sind, automatisierte Fertigungsprozesse einzustellen und z. B. durch Schwellwertüberwachung zu regeln, erlauben innovative Möglichkeiten von künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen ein komplexeres Verständnis der Prozessstabilität in Echtzeit.

II.3: Erstellung von Simulationsmodellen zur Abbildung der Realität und Durchführung von virtuellen Experimenten

Aufgrund der aufwendigen und kostspieligen Experimente ermöglicht die digitale Darstellung in Form von Simulationen, die als digitale Zwillinge bezeichnet werden können, zeitsparende virtuelle Experimente, die das reale Ergebnis vorhersagen. Im Falle von Wärmebehandlungs-, Verzugs- oder Schleifergebnissen können solche Simulationen die Suche nach perfekten Prozessparametern unterstützen.

II.4: Evaluierung und Validierung der theoretischen Erkenntnisse in Anwendungen in der Industrie

Um die virtuellen, digitalen und experimentellen Erkenntnisse zu testen und Erfahrungen in authentischen industriellen Anwendungen zu sammeln, ist es wichtig, Vorschläge zu entwickeln und Verbesserungen in realen Fertigungsumgebungen umzusetzen. Nur auf diese Weise können die theoretischen Erkenntnisse validiert und verbessert werden.

II.5: Verknüpfung der Erkenntnisse über gekoppelte Prozessketten zur Unterstützung von KMU

Mit Hilfe der industriellen Projektpartner können die validierten Erkenntnisse direkt in der industriellen Anwendung umgesetzt, genutzt und für einen Transfer in andere Branchen weiter aufbereitet werden. So können auf die spezifischen Bedürfnisse einzelner KMU zugeschnittene Lösungen angeboten werden.

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Das übergeordnete Ziel des Projektes, zur Verbesserung der Vorhersagbarkeit und Effizienz von Kaltarbeitsstahlprodukten durch Verwendung einer gekoppelten digitalen Darstellung von Wärmebehandlungs- und Schleifprozessketten wurde erreicht.

Nachfolgend werden auf die geschilderten Teilziele eingegangen und diese mit den im Projekt erreichten Ergebnissen gegenübergestellt:

I.1: Sicherstellung und Erhöhung der Prozessstabilität bei der Wärmebehandlung und beim Schleifen

Durch die Demonstration der Möglichkeiten einer kontinuierlichen Überwachung der Wärmebehandlungs- und Schleifmechanik konnte eine Steigerung der Prozessstabilität nachgewiesen werden. Eine kontinuierliche automatisierte Analyse von Maschinenparametern unter Verwendung von Daten aus den Maschinen sowie aus nachgerüsteten Edge Devices bestätigte die Hypothese, die Qualität zu steigern, indem der Prozess überwacht wurde und es somit nicht mehr zwangsläufig nötig war die Qualität jedes Bauteils zu prüfen.

I.2: Sicherung und Steigerung der Produktqualität

Während zwei Use-Cases als Versuchsbasis dienten (Use-Case 1: Wärmebehandlung und Innenrundsleifen von Lagerringen; Use-Case 2: Wärmebehandlung und Flachsleifen von Sägeblättern zur Erzeugung eines Feinstkorngefüges) und alle Laborexperimente, Simulationen, Experimente sowie Datenanalysen durchgeführt wurden, um die Details der Prozessketten zu erfassen, ist der Nachweis der Erzeugung von ultrafeinen Körnern nur ein Beispiel für eine verbesserte Produktqualität in Verbindung mit einem geringeren Energieaufwand. Auch die vorgeschlagenen Optimierungen der Schleifprozesse

sorgten für eine erhöhte Produktqualität bei reduziertem Ausschuss und verringertem Aufwand.

I.3: Reduzierung des Energieverbrauchs und Steigerung der Nachhaltigkeit

In beiden Use-Cases führte die Optimierung der Wärmebehandlungstemperaturen zu einer Senkung der CO₂-Emissionen sowie zu einer Verbesserung der Produktqualität, insbesondere bei Sägeblättern. Die allgemeine Demonstration fortschrittlicher Schleifprozesse zeigte eine Reduzierung der Prozesszeiten, einen geringeren Verschleiß von Werkzeugen und Maschinen sowie eine allgemeine Verbesserung der Effizienz bei gleichzeitiger Erhöhung der Nachhaltigkeit.

I.4: Kostenreduzierung

Mit der Definition und dem Vorschlag von verbesserten Prozessparametern in beiden Use-Cases konnte in der unmittelbaren experimentellen Anwendung in den Unternehmen des Konsortiums eine Reduktion des Aufwands, des Energieverbrauchs, der Prozessdauer und durch die Verbesserung der Produktqualität ein weiterer Aspekt der Kostensenkung nachgewiesen werden. Durch die Veröffentlichung von allgemeinen Ergebnissen sowie z. B. Simulationsmodellen bietet eine Übertragung auf andere Unternehmen und Prozessketten ein großes Potential zur weiteren Kostensenkung.

II.1: Verbesserung des Verständnisses von Wärmebehandlungs- und Schleifprozessen durch Laboruntersuchungen und Experimente

Der Bau und die Einrichtung mehrerer Labordemonstratoren wurden erfolgreich durchgeführt. Während das Experimentieren mit Parametersätzen im Labormaßstab eine unmittelbare Bewertung der vorgeschlagenen Maschineneinstellungen ermöglichte, konnten wichtige Informationen gesammelt werden, um verbesserte Parametersätze für die Anwendung in der Industrie für beide Use-Cases zu definieren.

II.2: Erfassung von Prozessdaten und Analyse durch künstliche Intelligenz

Bei der Anwendung von KI in beiden Use-Cases war die ursprüngliche Absicht, Lösungen für die Prozessüberwachung bereitzustellen, erfolgreich. Bei der Wärmebehandlung sorgte eine auf pyrometrischen Nachrüstensensoren basierende Anomalieerkennung für eine kontinuierliche und automatische Alarmfunktion durch die Erkennung möglicher Temperatur- und Verformungsabweichungen. In Schleifprozessen wurden Vibrations- und Körperschallsensoren eingesetzt, um Werkzeugverschleiß zu erkennen und Abrichtintervalle vorherzusagen. Hier wurde eine gekoppelte Prozesskettenbetrachtung ermöglicht, indem der Schleifaufwand analysiert wurde und somit der Verzugsgrad jedes Bauteils automatisch und ohne Messung erkannt werden konnte.

II.3: Erstellung von Simulationsmodellen zur Abbildung der Realität und Durchführung von virtuellen Experimenten

Das Teilziel der Erstellung digitaler Zwillinge bzw. digitaler Repräsentationen wurde durch den Aufbau mehrerer Simulationsmodelle erreicht, die industrielle Prozesse abbilden und die digitale Prüfung beliebiger Parametersätze ermöglichen. Ein digitaler Zwilling der Prozessbedingungen in Echtzeit kann durch eine Verbindung der Modelle mit den Maschinen durch Einspeisung aktueller Daten in diese realisiert werden.

II.4: Evaluierung und Validierung der theoretischen Erkenntnisse in Anwendungen in der Industrie

In beiden Use-Cases wurden die Erkenntnisse aller Laborexperimente, Ergebnisse der Datensammlung und Simulationen genutzt, um verbesserte Prozessparameter für Wärmebehandlung und Schleifen vorzuschlagen. Unter Berücksichtigung verschiedener Maschinen, Prozessketten, Aufbauten und Konfigurationen der beteiligten Unternehmen wurde das Konzept zur Erzeugung von Feinstkornstahl für Sägeblätter bei reduziertem Energieverbrauch realisiert.

II.5: Verknüpfung der Erkenntnisse über gekoppelte Prozessketten zur Unterstützung von KMU

Schon von Anfang an wurde bei allen Entwicklungen auf die Verwendung von Open-Source-Software und kostengünstiger Hardware geachtet. Durch die Veröffentlichung der wichtigsten Ergebnisse und die lizenzfreie Bereitstellung der Simulationsmodelle sind alle Unternehmen eingeladen, die Ergebnisse zu nutzen. Durch die leichte Zugänglichkeit und kostengünstige Implementierung wurden insbesondere die Bedürfnisse von KMU berücksichtigt.

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projekts wurde ein breites Spektrum wissenschaftlicher, technischer und wirtschaftlicher Vorteile erarbeitet, von denen KMU direkt profitieren. Durch das Erreichen des zentralen Ziels ermöglichen die Projektergebnisse KMU eine deutliche Verbesserung der Prozessstabilität, der Produktqualität und der betrieblichen Effizienz. Aus wissenschaftlicher Sicht hat das Projekt das Verständnis der Abhängigkeiten innerhalb von Fertigungsprozessketten vertieft, wobei der Schwerpunkt auf der Wärmebehandlung und dem Schleifen lag. Durch die Untersuchung des Einflusses verschiedener Parameter und Fertigungsvariationen wurden neue Erkenntnisse über das Materialverhalten und die Prozessdynamik gewonnen. Experimentelle Untersuchungen und Simulationsmodelle waren in diesem Zusammenhang unerlässlich. Diese Anstrengungen trugen nicht nur zur Wissensbasis bei, sondern geben den KMU auch praktische Instrumente zur Optimierung komplexer Produktionsschritte an die Hand. Hervorzuheben ist die Erstellung von digitalen Zwillingen und FEM-Modellen in mehreren Maßstäben, die realistische industrielle Szenarien simulieren können. Die Kombi-

nation aus empirischen Studien und der Erfassung von Echtzeitdaten mit Hilfe von Sensoren führte zur Entwicklung von validierten Simulationsumgebungen. KMU profitieren von diesen Modellen, indem sie neue Parameterkonfigurationen virtuell testen können, bevor sie sie in ihrer Produktionsumgebung anwenden, wodurch sich die Versuchs- und Fehlerzyklen verkürzen und sich die Vorhersagbarkeit verbessert.

Die technischen Ergebnisse des Projekts machen fortschrittliche Fertigungswerkzeuge, die mit Industrie 4.0-Ansätzen verbunden sind, für KMU zugänglich. Die Integration von maschinellem Lernen und Simulationssystemen ermöglicht eine Prozessoptimierung auf eine Art und Weise, die für kleinere Unternehmen zuvor kostenintensiv oder technisch anspruchsvoll war. So sorgt beispielsweise die KI-gesteuerte Erkennung von Anomalien für eine zuverlässigere Wärmebehandlung durch automatische Überwachung und hilft KMU, Qualitätsmängel und Maschinenstillstände zu vermeiden. Edge Devices und prozessinterne Sensoren, die in den industriellen Use-Cases verwendet wurden, zeigten auch wie Nachrüstungslösungen veraltete Geräte in das digitale Zeitalter bringen können, ohne dass sie ersetzt werden müssen. Durch die Verwendung von Open-Source-Plattformen und kostengünstiger Hardware sollte die Einstiegshürde gesenkt werden, was insbesondere für KMU mit begrenzten Budgets wichtig ist.

Das technische Ziel der Erzeugung von Feinstkornstählen durch angepasste Wärmebehandlungs- und Schleifprozesse wurde erreicht. Die Simulation und die KI-basierten Modelle ermöglichten eine Optimierung der Prozessparameter, die sich direkt in einem geringeren Werkzeugverschleiß, einem niedrigeren Energieverbrauch und kürzeren Zykluszeiten niederschlug. Solche Vorteile sind für ressourcenbeschränkte KMU sehr wertvoll. Darüber hinaus erhöht die Möglichkeit der automatischen Vorhersage von Werkzeugverschleiß und Bauteilverzug ohne aufwendige Messungen nach dem Prozess die Flexibilität und Beständigkeit der Fertigung.

In wirtschaftlicher Hinsicht bietet das Projekt den KMU erhebliche Vorteile durch geringere Betriebskosten, höhere Effizienz und geringeren Energieverbrauch. Die ermittelten Optimierungen, wie z. B. Temperaturanpassungen bei der Wärmebehandlung und verbesserte Schleifparameter, führten zu einer unmittelbaren Verringerung der CO₂-Emissionen, der Ausschussraten und des Werkzeugverschleißes. Diese Verbesserungen wirken sich direkt auf die Rentabilität der Produktionsanlagen aus.

Durch die Anwendung dieser optimierten Prozessparameter konnten die KMU des Konsortiums bereits Einsparungen in Bezug auf Materialabfall, Energieverbrauch und Maschinenauslastung nachweisen. Die Skalierbarkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse gewährleisten, dass auch KMU anderer Branchen von diesen Vorteilen profitieren können, indem sie die Projektergebnisse verwerten, ohne von Grund auf neu zu beginnen. Der Schwerpunkt auf dem offenen Zugang zu den Ergebnissen, wie z. B. kostenlose Simulationsmodelle und dokumentierte bewährte Verfahren, erhöht den Wert für die KMU-Gemeinschaft weiter. Diese Demokratisierung von Wissen und Werkzeugen fördert die breite Anwendung in allen Sektoren und führt zu Innovationen über den ursprünglichen Projektumfang hinaus. Entscheidend ist, dass der Einsatz

von Feinstkornstählen und fortschrittlicher Datenanalyse den KMU neue Märkte und Anwendungen eröffnet und ihren technologischen Vorsprung und ihre Alleinstellungsmerkmale am Markt verbessert. Dieser Zugang zu Werkstoffen der nächsten Generation und zu digitalen Möglichkeiten versetzt KMU in die Lage, effektiver mit größeren Unternehmen zu konkurrieren und besser auf veränderte Marktanforderungen zu reagieren.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Projekt ein umfassendes Paket wissenschaftlicher, technischer und wirtschaftlicher Vorteile bietet, die insbesondere für KMU von Nutzen sind. Durch die Kombination von Spitzenforschung mit praktischen Umsetzungsstrategien hat die Initiative nicht nur den Wissensstand im Bereich der Fertigungsprozessketten erweitert, sondern auch kleinere Unternehmen mit den Instrumenten zur Verbesserung von Qualität, Nachhaltigkeit und Rentabilität ausgestattet.

Literatur

Bisher wurden die folgenden Publikationen über die Projekthalte veröffentlicht. Weitere Arbeiten zur Präsentation des Projektergebnisse in Fachzeitschriften und auf Konferenzen befinden sich in Arbeit:

- Böttinger, B., Chmielewski, S., Roj, R., Gittel, H.-J., Pelshenke, C., Theiß, R., and Dültgen, P. (2022). "Production of Ultra-Fine-Grain Steel in Saw Blade Bodies aided by Artificial Intelligence." Proc. 11th International Conference on Engineering Computational Technology, Montpellier, Paper 9.2. doi: 10.4203/ccc.2.9.2
- Furlan, T., Schewe, M., Scherm, P., Retzl, P., Kozeschnik, E., and Menzel, A. (2025). "Modelling and finite element simulation of martensite and bainite phase transformations during quenching under consideration of carbon repartitioning." Mechanics of Materials, 204, 105275. doi: 10.1016/j.mechmat.2025.105275, https://github.com/InstituteOfMechanics/Phase_Trafos_Carbon_Repartitioning
- Schmidt, N., Furlan, T., Peters, J., Kipp, M., Kaschnitz-Biegl, S., Menzel, A., Bleicher, F., and Biermann, D. (2025). "Meso-scale geometric modeling of cutting edges on vitrified bonded aluminum oxide grinding wheels for the multi-scale simulation of internal plunge grinding processes." Procedia CIRP, 133, 513-518. doi: 10.1016/j.procir.2025.02.088

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de, angefordert werden.

Weitere Informationen erhalten Sie bei Dr.-Ing. Robin Roj unter +49 (2191) 5921-122.