Novelis

September 2025

Abschlussbericht zum Luftfahrtforschungsprogramm VI-2 Verbundprojekt Tirika Teilprojekt SURECAI

Rückführung von Aluminium in Flugzeuglegierung

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

ZE: Novelis Koblenz GmbH

Förderkennzeichen: 20W2103F

Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2022 bis 31.03.2025

Verfasser: C. Tussing, J. Kühn, S. Spangel

Inhaltsverzeichnis

I. Kurze Darstellung ... 3
1. Aufgabenstellung ... 3
2. Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde ... 3
3. Planung und Ablauf des Vorhabens ... 4
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens ... 4
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen ... 5
II. Eingehende Darstellung ... 6
1. Erzielte Ergebnisse und Gegenüberstellung mit den Projektzielen ... 6
Entwicklung Testplan und Methodik ... 7
Charakterisierung Einsatzmaterial ... 7
Herstellung Referenzmaterial ... 8
Spanprozessierung / Auswahl Prozessrouten ... 8
Vollständige Prozessierung, Prüfung und Bewertung der Ergebnisse ... 9
2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises ... 15
3. Notwendigkeit der Arbeit ... 15
4. Nutzen/Verwertbarkeit der Erkenntnisse ... 15
5. Bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen ... 16
6. Veröffentlichungen ... 16

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des BMWK gefördert (20W2103F). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

I. Kurze Darstellung

1. Aufgabenstellung

Mit dem Projekt SURECAI (Sustainable Recycling of Chips of the Aviation Industry) verfolgt Novelis das Ziel, eine geeignete Prozessroute für die bei der Herstellung und Weiterverarbeitung von Luftfahrtstrukturteilen entstehenden Späne zu entwickeln, so dass diese wieder zur Produktion von Luftfahrtlegierungen genutzt werden können. Auf Grund der hohen technischen Anforderungen an die produzierten Materialien und deren Eigenschaften sind Sauberkeit und Sortenreinheit des Einsatzmaterials entscheidend, was eine stabile Prozessroute erfordert. Durch die Verwendung einer solchen Recycling-Route würde der Bedarf an Primäraluminium, sowie an Vorlegierungen verringert, wodurch Ressourcen und Energie geschont werden. Hierdurch wird der gesamte Produktlebenszyklus ökologisch positiv beeinflusst. Ferner geht der verringerte Primäraluminiumeinsatz mit einer Reduktion der CO2-Emission bei einer gleichzeitigen Steigerung der Wirtschaftlichkeit einher. Das Projekt unterstützt somit das übergeordnete Ziel einer umweltfreundlichen Luftfahrt.

2. Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben wurde bei Novelis in Koblenz durchgeführt. Dieser Standort ist seit mehreren Jahrzehnten einer der führenden Lieferanten von Blechen und Platten aus 2xxx und 7xxx Legierungen für die Luftfahrtindustrie. Das Novelis Werk in Koblenz besitzt alle erforderlichen Zertifizierungen zur Herstellung und zum Testen von Blech- und Plattenprodukten für die internationale Luftfahrt.
Das Teilprojekt Surecai wurde im Rahmen des Verbundprojektes Tirika (unter der Leitung von Airbus Operations) durchgeführt. Die Arbeiten fanden innerhalb des Hauptarbeitspaketes 2 „Nachhaltige Materialien durch Kreislaufwirtschaft“ statt.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Meilensteine und Deliverables des Teilprojektes orientieren sich am Tirika-Gesamtverbund und wurden mit dem Verbundführer abgestimmt.

Die Arbeitsschritte des Novelis-Teilprojektes sind:
- die Entwicklung der notwendigen Methodik mit dem daraus resultierendem Testplan
- die Charakterisierung von Einsatzmaterialien
- die Auswahl von Prozessrouten
- Herstellung von Platten
- die Überprüfung von luftfahrtspezifischen Eigenschaften nach der Prozessierung zu Platten
- Bewertung der Ergebnisse

Als Werkstoffe wurden im Rahmen des Projektes zwei unterschiedliche Aluminiumlegierungen aus der Luftfahrt eingesetzt. Die Plattenherstellung und der überwiegende Teil der erforderlichen Tests wurde am Novelis Standort in Koblenz durchgeführt. Ferner wurden für das Life Cycle Assessment im Hauptarbeitspaket 1 benötigte Daten zur Verfügung gestellt.
Externe Aufträge zum Umschmelzen der Späne und zum Testen von spezifischen Eigenschaften wurden an entsprechende Unterauftragnehmer vergeben.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Im Flugzeugbau werden zahlreiche Platten aus Aluminiumlegierungen zur Herstellung von Flügel- und Rumpfbauteilen eingesetzt. Durch die spanende Bearbeitung der eingesetzten Platten landet nur ein geringer Anteil des Materials tatsächlich im Flugzeug, während der Großteil gesammelt und wieder eingeschmolzen wird.

Da die Anforderungen an Luftfahrtlegierungen besonders hoch sind und Späne eine hohe spezifische Oberfläche und damit ein erhöhtes Risiko für den Eintrag von Oxidfilmen oder anderen Verunreinigungen in die Schmelze aufweisen, werden die Späne in der Regel für Anwendungen mit geringeren Ansprüchen eingesetzt. Das heißt, es findet ein sogenanntes „Downgrading“ oder „Downcycling“ statt. Dieses Downcycling bedingt auch einen erhöhten Einsatz von Primärmetall für Luftfahrtlegierungen, was sich insbesondere negativ auf die CO2-Bilanz und damit die Nachhaltigkeit der Luftfahrtindustrie auswirkt.

Vormaterialien werden nach strengen Vorgaben eingesetzt, um die hohen Ansprüche in Bezug auf die chemische Zusammensetzung und Reinheit zu erfüllen, welche einen kritischen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften in der finalen Materialprüfung haben. Bei unzureichender Qualität kann dies im schlimmsten Fall zum Ausfall des Materials führen.
Auf Grund dieser hohen Anforderung werden lediglich Vormaterialien und Schrotte eingesetzt, bei denen eine entsprechende Qualität nachweisbar ist.
Für die Einführung eines ganzheitlichen Closed-loop Recyclingverfahrens für Luftfahrtspäne muss unter anderem geklärt werden, welche Prozessrouten aus Sicht der Materialqualität überhaupt infrage kommen. Anschließend muss die Reinheit beim Schmelzen und deren Auswirkung im finalen Produkt nach Prozessierung charakterisiert werden.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Arbeitsschritte im Rahmen von Surecai erfolgten innerhalb des Hauptarbeitspaketes 2 gemeinsam mit dem Partner Airbus Operations.

Darüberhinaus lieferte das Projekt Surecai Input für die Technologiebewertung des Arbeitspaketes 1 zum Thema „Life Cycle Assessment“. Im Einzelnen handelte es sich dabei um Daten zu den Themen „Wiederverwertung von Aluminium Spänen“ und eine Übersicht der gesamten Prozesskette zur Herstellung von Platten aus Aluminiumlegierungen.

Ferner erfolgte ein entsprechendes Validierungsfeedback mit Airbus im Hinblick auf die erzielten Produkteigenschaften, so dass alle Aspekte beginnend mit dem Einsatzmaterial bis hin zur Platte, die an den Kunden geliefert wird, abgedeckt werden konnten.

Die Vorbehandlung und das Einschmelzen von Spänen wurden als Unteraufträge vergeben. Ferner wurden einige der benötigten Tests zum Vergleich der Prozessrouten bei externen Testhäusern durchgeführt.

Die innerhalb des Projektes Tirika gewonnenen Erkenntnisse fließen in Novelis interne F&E Anschlussprojekte ein.

II. Eingehende Darstellung

1. Erzielte Ergebnisse und Gegenüberstellung mit den Projektzielen

Abbildung 1 zeigt einen Überblick der Arbeitsschwerpunkte, welche im Rahmen des Projektes bearbeitet wurden:

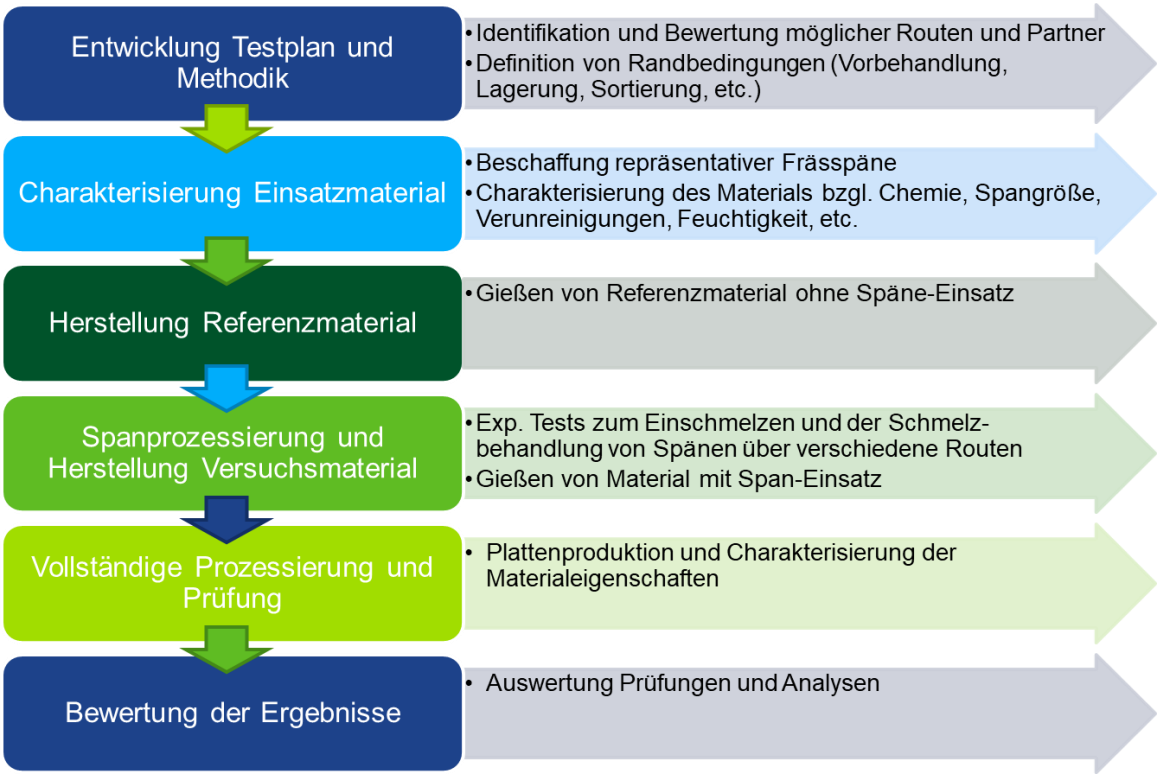

Abbildung 1: Überblick der Arbeitsschwerpunkte

Zu Beginn des Projektes stand zunächst die Identifizierung von möglichen Prozessrouten zur Späneprozessierung im Fokus. Darauf aufbauend wurden die Methodik und der Testplan entwickelt. Anschließend wurden entsprechend Platten in für eine Anwendung im Flugzeug üblichen Abmessungen hergestellt, getestet und anschließend die Ergebnisse vergleichend bewertet.

Entwicklung Testplan und Methodik

Zu Beginn des Projektes stand zunächst die Identifizierung von möglichen Prozessrouten und Dienstleistern zur Späneprozessierung. Hierdurch konnten die wesentlichen Schritte identifiziert werden. Abbildung 2 zeigt die Kernpunkte, welche als Hauptprozessschritt über eine Kombination von mehreren Unterprozessen realisiert werden können. Diese Unterprozesse können einen Einfluss auf die spätere Verarbeitbarkeit und resultierende Metallqualität haben, müssen jedoch nicht zwangsläufig immer angewendet werden.

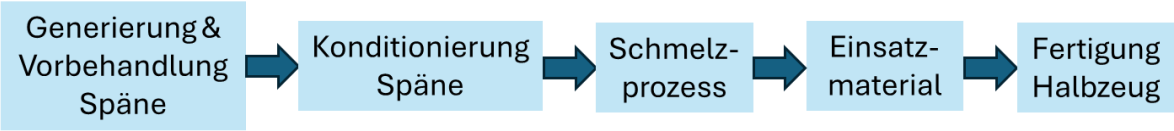

Abbildung 2: Übersicht desProzessablaufs zum Recycling von Spänen

Die Untersuchungen wurden am Beispiel von Alumiumlegierungen durchgeführt, wie sie üblicherweise im Flugzeugbau eingesetzt werden.
Um mögliche Unterschiede zwischen dem Referenzmaterial und den unterschiedlichen Varianten ermitteln zu können, wurde ein 3-stufiges Testprogramm entwickelt (Abbildung 3). Dieses beinhaltet Tests, die während der Prozessierung zu Platten durchgeführt worden sind (Ultraschall, elektrische Leitfähigkeit), sowie die sogenannten Basis Tests (wie z.B. Zugversuche) und Tests mit höherer Komplexität zur Untersuchung der Schadenstoleranz und dem Korrosionsverhalten.

Abbildung 3: Aufbau des durchgeführten Testprogramms

Charakterisierung Einsatzmaterial

Kleinere Mengen an Spänen wurden bei Novelis charakterisiert. Dabei wurde über einen Laborofen die Restfeuchte und der Gehalt an Organik über die Gewichtsdifferenz gemessen. Zusätzlich wurde die Dichte bestimmt (Abbildung 4: untersuchte Frässpäne).

Um insbesondere die chemische Reinheit und damit die Separierung der Späne besser beurteilen zu können, wurde eine weitere Probemenge eingeschmolzen und die chemische Zusammensetzung bestimmt.

Die gewonnenen Informationen wurden im Weiteren zur Planung und Umsetzung der Spanprozessierung und Herstellung des Versuchsmaterials verwendet.

Abbildung 4: Späne, die beim Zerspanungsprozess entstanden sind und im Rahmen des Projektes eingesetzt wurden

Herstellung Referenzmaterial

Das Referenzmaterial wurde in Standardverfahren bei Novelis hergestellt. Das Einsatzmaterial basierte auf Primäraluminium und wurde mit weiteren Legierungselementen legiert. Abbildung 5 zeigt einen auf diese Weise hergestellten Barren im Produktionsmaßstab.

Abbildung 5: gegossener Barren

Der gegossene Barren wurde zu Platten prozessiert, wobei die einzelnen durchgeführten Bearbeitungsschritte in Abbildung 6 dargestellt sind.

Spanprozessierung / Auswahl Prozessrouten

Unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Quellen für Späne und der Auswahl der Prozessrouten wurden verschiedene Experimente ausgearbeitet und bewertet. Kernpunkte waren dabei der Vergleich unterschiedlicher Prozessrouten miteinander und die Analyse plus Beurteilung der Qualität des entsprechenden Prozesses.

Vollständige Prozessierung, Prüfung und Bewertung der Ergebnisse

Bei Novelis im Werk in Koblenz wurden die wesentlichen Prozessschritte von Abbildung 6 durchgeführt. Hierbei wurde die komplette Durchführung begleitet und spezielle Sorgsamkeit auf Unterschiede zwischen dem Verhalten der produzierten Varianten gelegt. Sowohl beim Gießprozess und der Homogenisierung, als auch über die Prozesse des Warmwalzens, der Lösungsglühe mit Abschreckung und dem Recken mit folgender thermischer Auslagerung konnten keine Unterschiede im Materialverhalten bei der optischen Begutachtung festgestellt werden. Es wurden zudem Proben aus den verschiedenen Stufen des Herstellprozesses genommen und miteinander verglichen.

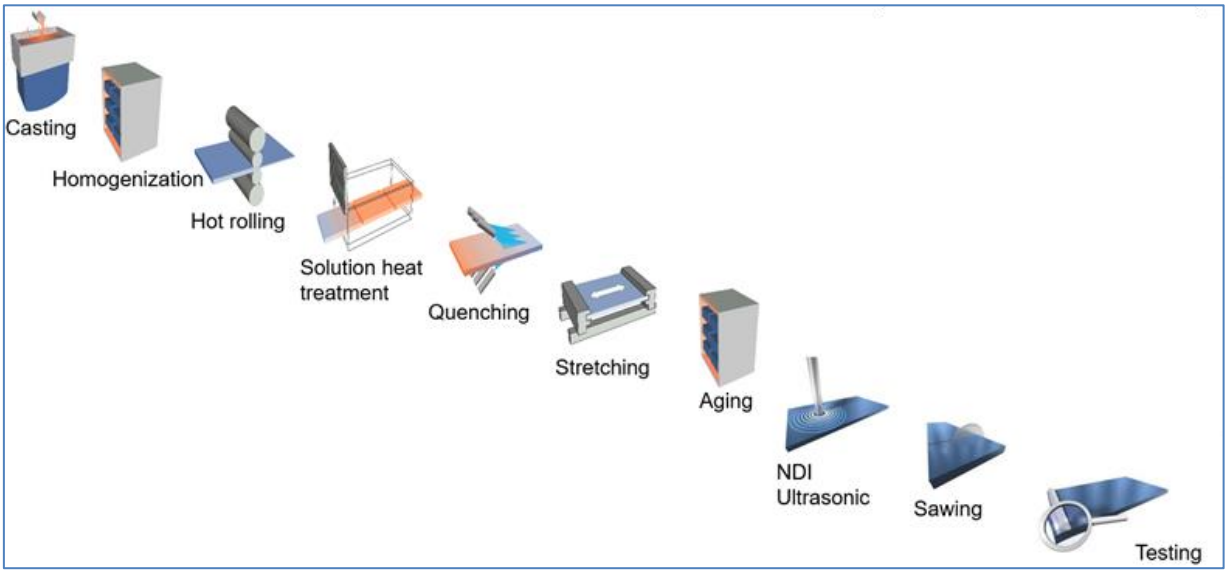

Abbildung 6: Kernpunkte der Prozessierung und weitere Tests

Die Tests umfassten die Bereiche Mikrostruktur, Festigkeit, Schadenstoleranz und weitere Eigenschaften. Die einzelnen Proben wurden hinsichtlich kritischer Positionen in Bezug auf die Mutterplatte ausgewählt. Hier wurden spezielle Tests am Plattenanfang und -ende durchgeführt. Auch die Dickenlage spielt eine wichtige Rolle, da sich einige chemische Elemente in der Viertellage und in der Hälfte ansammeln. Nach dem Ende der Prozessierung wurden entsprechend Probestücke der einzelnen Platten für spezielle Tests vorbereitet und zugesägt, um verschiedene Eigenschaften zu testen.

Die folgenden Tests wurden im Einzelnen durchgeführt:

- Mikrogefüge und Kornstruktur (Gußzustand und finale Platte)
- Zugversuch
- Bruchzähigkeit
- Ermüdung
- Rissfortschritt
- Restfestigkeit
- Korrosion
- Leitfähigkeit
- Härte

Die Tests wurden nach den üblichen, in der Luftfahrtindustrie verwendeten Standards und Testspezifikationen durchgeführt.

Testergebnisse:

Gefügeuntersuchungen:

Proben im Gußzustand und nach der anschließenden Produktion zu Platten wurden lichtmikroskopisch untersucht.

Abbildung 7 zeigt exemplarisch das Gefüge im Gußzustand für das Referenzmaterial und Varianten mit unterschiedlichen Anteilen an umgeschmolzenen Spänen. Ebenso ist das Gefüge in den daraus hergestellten Platten dargestellt. Zwischen den einzelnen Varianten konnten bei dieser Untersuchung keine Unterschiede im Hinblick auf Struktur und Phasen festgestellt werden.

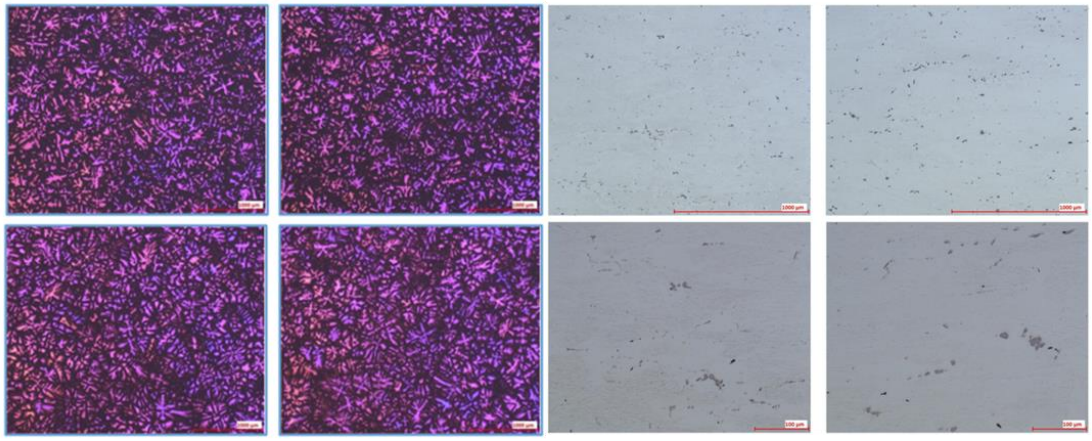

Abbildung 7: Gußgefüge verschiedener Varianten (links), Gefüge innerhalb der Platten (rechts)

Härteprüfung:

Abbildung 8 zeigt exemplarisch die Härteverläufe (Brinell) gemessen an verschiedenen Positionen über die Plattendicke (Referenzmaterial sowie von Varianten mit unterschiedlichen Anteilen an Chips).

Die orangefarbene und lilafarbene Kurve stehen für zwei Platten, bei welchen Späne als Einsatzmaterial eingesetzt wurden. Die pinkfarbene Kurve dient als Referenz und repräsentiert eine Platte, die ausschließlich aus Primäraluminium und Legierungselementen hergestellt wurde – ohne den Einsatz von Spänen.

Die dargestellten Verläufe zeigen den erwarteten Härtegradienten in Richtung Plattenmitte sowie die typische Streuung der Messwerte, visualisiert durch die Hüllkurven. Es konnten keine signifikanten Abweichungen festgestellt werden. Die Messkurven liegen eng beieinander, sodass keine statistisch relevanten Unterschiede identifiziert werden konnten.

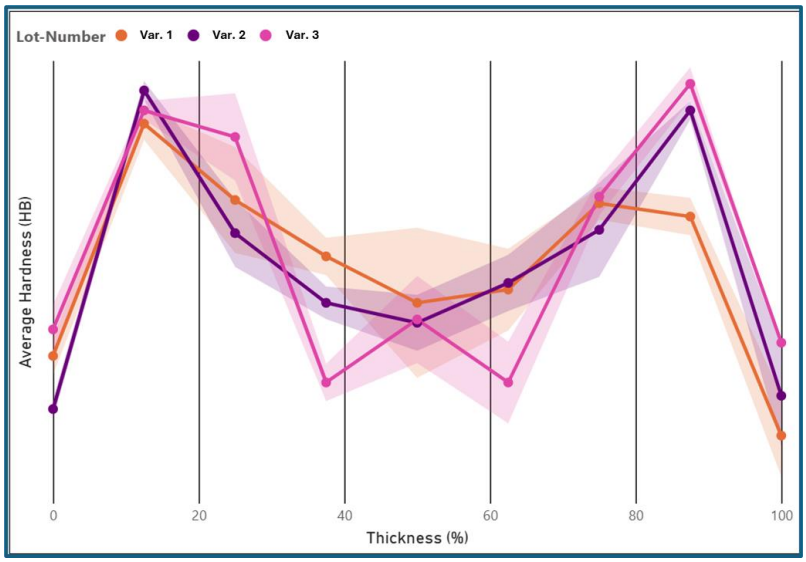

Abbildung 8: Härtemessungen, durchgeführt über die jeweilige Plattendicke

Zugversuche:

In Abbildung 9 sind die Ergebnisse der Zugversuche an Platten dargestellt, die mit unterschiedlichen Anteilen an Spänen hergestellt wurden (Probe 1 und 2). Probe 3 stellt das Referenzmaterial dar. Es wurden unterschiedliche Richtungen getestet:
L: parallel zur Walzrichtung, LT: senkrecht zur Walzrichtung, ST in Dickenrichtung

Im Vergleich der verschiedenen Varianten zeigen sich hier keine Auffälligkeiten, die über das übliche Maß an Streuungen hinausgehen.

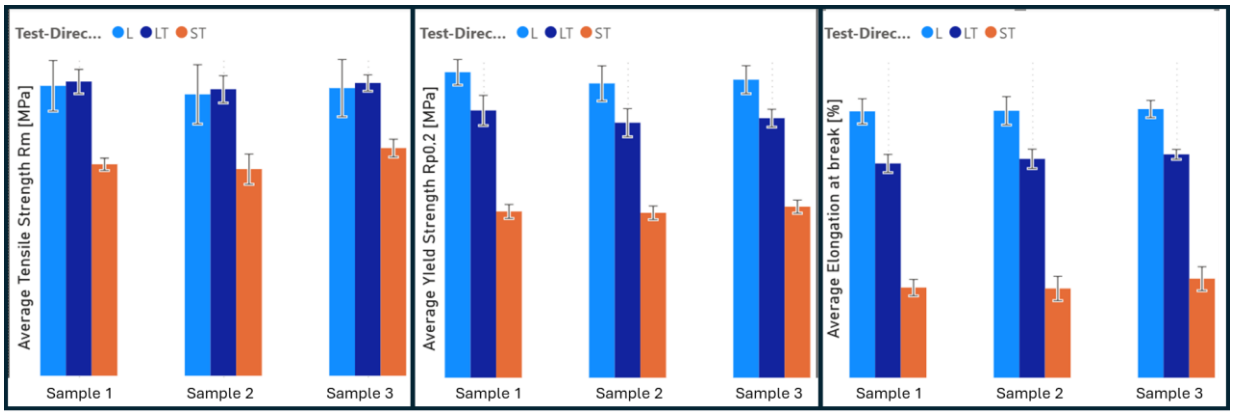

Abbildung 9: Ergebnisse der Zugversuche an verschiedenen Varianten

Restfestigkeit:

Abbildung 10 zeigt Restfestigkeitsmessungen, die am Referenzmaterial (Probe 3) sowie an Varianten mit unterschiedlichen Anteilen an Chips ermittelt wurden (Proben 1 und 2). Die Tests wurden sowohl in L-T Richtung als auch in T-L Richtung durchgeführt. Die Messergebnisse zeigen die erwarteten Verläufe. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten liegen innerhalb der üblichen Streubereiche.

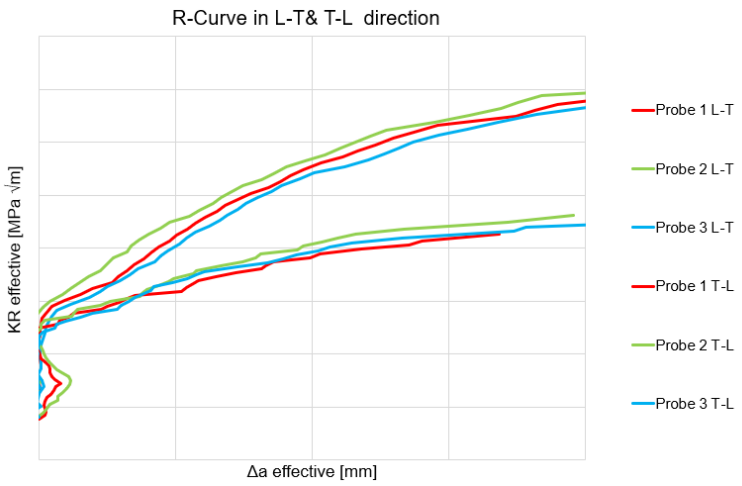

Abbildung 10: Ergebnisse der Restfestigkeitsbestimmung

<u>Rissfortschritt:</u>

In Abbildung 11 sind die Rissfortschrittsmessungen an Platten dargestellt, die mit unterschiedlichen Anteilen an Spänen hergestellt wurden (Proben 1 und 2). Probe 3 stellt das Referenzmaterial dar. Es wurden unterschiedliche Richtungen getestet (L-T und T-L).

Im Vergleich der verschiedenen Varianten zeigen sich auch hier keine Auffälligkeiten, die über das übliche Maß an Streuungen hinausgehen.

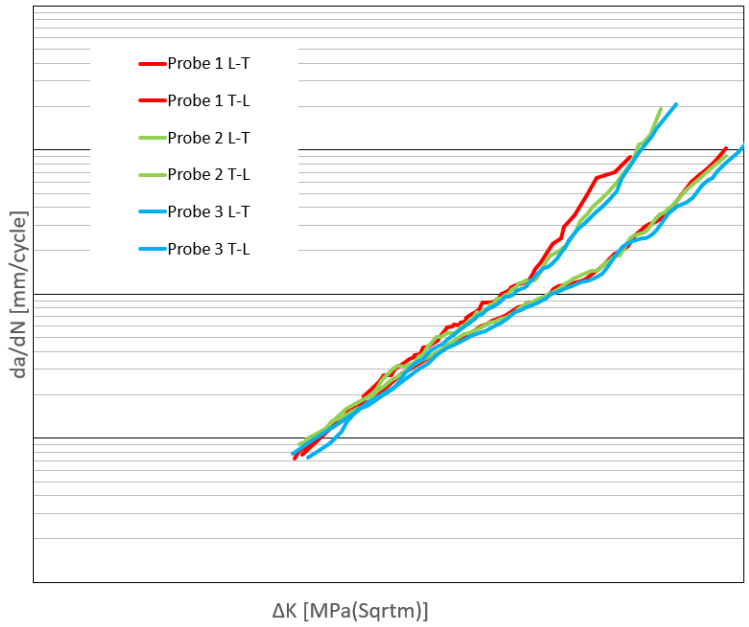

Abbildung 11: Ergebnisse der Rissfortschrittsbestimmung

Zusammenfassend wurde gezeigt, dass die Qualität der eingesetzten Schrotte und die Kontrolle der Reinheit beim Einschmelzprozess entscheidende Punkte für die chemische Zusammensetzung und die Metallreinheit sind. Kann die chemische Zusammensetzung und

der Grad an Verunreinigungen kontrolliert werden, können auch komplexe und herausfordernde Luftfahrteigenschaften erzielt werden.

Vergleich mit den ursprünglichen Projektzielen:

Im Rahmen des Projektes wurden die folgenden Arbeitspakete abgeschlossen:

- Entwicklung Testplan und Methodik
- Charakterisierung des Einsatzmaterials
- Herstellung von Referenzmaterial
- Spanprozessierung
- Vollständige Prozessierungen

Alle geplanten Meilensteine konnten in der Projektzeit bearbeitet und erfolgreich beendet werden (siehe Abbildung 12).

Lediglich die ursprünglich geplante eigene Zerspanung von Material wurde nicht durchgeführt. Stattdessen wurden die Platten ausschließlich mit Spänen aus externen Quellen hergestellt. Aus Gründen der Repräsentativität wurde entschieden, Späne extern zu beschaffen (Spangrößen und Schmiermittel entsprechen dem industriellen Standard) und auf die ursprünglich geplante eigene Zerspanung zu verzichten.

Abbildung 12: Vergleich mit den ursprünglichen Projektzielen

Im Folgenden werden die im Projektantrag definierten smarten Projektziele mit den erreichten Ergebnissen verglichen:

<u>Spezifisch</u>
Die geplanten Arbeiten tragen zur Bereitstellung von geeigneten Prozessen (Spänerückführung) für die Kreislaufwirtschaft bei: Im Rahmen des Projektes konnten entsprechende Verarbeitungsprozesse für Späne entwickelt werden, die nicht zu einer Reduzierung von Eigenschaften führen. Dies ermöglicht eine Wiederverwendung der Späne ohne Dowgrading.

Messbar
Durch die Verwendung einer Recycling-Route für Späne wird der Bedarf an Primäraluminium, sowie an Vorlegierungen verringert: Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass selbst bei sehr hohen Anteilen an recycelten Spänen mit den entwickelten Verfahren nicht mit signifikanten Eigenschaftseinbußen zu rechnen ist.

Attraktiv
Der verringerte Primäraluminiumeinsatz geht mit einer Reduktion der CO2-Emission bei einer gleichzeitigen Steigerung der Wirtschaftlichkeit einher: Dies konnte im Rahmen eines LCA's aufgezeigt werden.

Realistisch
Das Novelis Werk in Koblenz besitzt langjährige Erfahrung im Bereich des Gießens und der Herstellung von Halbzeugen für die Luftfahrt. Daher werden die ambitionierten Projektziele als realistisch angesehen: Die Projektziele konnten im Laufe der regulären Projektlaufzeit erreicht werden und es wurde keine Verlängerung beantragt.

Terminiert
Die im Rahmen von Tirika entwickelte Methodik zur Rückführung von Spänen kann nach Projektende nach Durchführung einer entsprechenden Qualifikation eingesetzt werden: Es wurde ein Datensatz mit den Eigenschaften zusammengestellt, der möglichen Kunden zur weiteren Evaluierung zur Verfügung gestellt werden kann.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Rahmen des Projektes wurden Gieß- sowie Produktionsversuche zur großtechnischen Herstellung von Platten im Novelis Werk in Koblenz durchgeführt.
Die Planung, Überwachung der Produktionskampagnen, die entsprechenden Tests zur Beurteilung des Einflusses der Späne, sowie die entsprechenden Berichte wurden von den dortigen Ingenieuren und Technikern ausgeführt.
Umschmelzversuche der Späne und spezifische Materialtests wurden als Unteraufträge an externe Firmen vergeben.

3. Notwendigkeit der Arbeit

Dicke Platten zur Zerspanung von Flugzeugstrukturbauteilen gehören seit vielen Jahren zu den Hauptprodukten des Novelis Werkes in Koblenz und werden weltweit an die großen Flugzeugbauer geliefert.

Die Herstellung von Platten aus Aluminium für die Luftfahrt ist eine Kernkompetenz des Werkes und hat einen substanziellen Anteil an den ausgelieferten Produkten.
Die im Rahmen von Tirika gewonnenen Ergebnisse können daher unmittelbar im Novelis Werk in Koblenz verwertet werden.

Die Verwendung von externen Frässchrotten als Eingangsmaterial zum Gießen neuer Luftfahrtbarren in Koblenz ohne Downgrading bietet, wie geplant, ein neues Potential für Nachhaltigkeit, um den ökologischen Fußabdruck der Plattenprodukte zu verbessern.

Dieser Vorteil beruht darauf, dass durch den Einsatz recyclierter Späne weniger Primär-Aluminium und Vorlegierungselemente benötigt werden. Bezogen auf den Gesamtlebenszyklus hat dies einen positiven Einfluss auf die Nachhaltigkeit und die Emissionen, da weniger Energie und Rohstoffe benötigt werden.

4. Nutzen/Verwertbarkeit der Erkenntnisse

Die Erkenntnisse aus dem Projekt Surecai bilden die Grundlage für den Wiedereinsatz von Spänen in Platten in Luftfahrtanwendungen und fließen derzeit in weitere Projekte mit dem Ziel einer Erhöhung des Recyclinganteils in Plattenprodukten ein. Die Ergebnisse können bei der Plattenherstellung im Novelis Werk in Koblenz angewendet und verwertet werden.
Die Markteinführung eines Closed-Loop-Recycling-Konzeptes wäre nach einer an das Projekt anschließenden Etablierung der erforderlichen Logistik- und Prozesskette möglich.
Im Anschluss ist je nach Anwendung und Recyclinganteil ein Screening- oder Qualifikationsprogramm mit möglichen Kunden zu vereinbaren.
Für eine Markteinführung müssten darüber hinaus Spezifikationen und Arbeitsanleitungen bei allen beteiligten Mitleistern zur Sicherstellung der Qualitätsanforderungen erstellt werden.

5. Bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen

Es sind keine signifikanten Fortschritte bei Dritten auf den im Vorhaben betrachteten Gebieten bekannt geworden.

6. Veröffentlichungen

Die im Rahmen des Projektes gewonnenen Erkenntnisse wurden in Zwischenberichten zusammengestellt und bei den Arbeitsfortschrittsbesprechungen den Projektpartnern vorgestellt. Die Erkenntnisse fließen derzeit in Novelis interne Anschlußprojekte ein.