

Abschlussbericht Ultrabatt

ZE: **Dorst Technologies GmbH & Co. KG**

Förderkennzeichen:
16BZF356D

Vorhabenbezeichnung: **Ultrabatt**

Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2022 - 31.01.2025

Berichtszeitraum: 01.01.2024 – 31.01.2025

2 Arbeitspaket

2.1 Erforschung der erforderlichen Lagerungsbedingungen der Trockenmischung (Luftfeuchtigkeit, Umgebungstemperatur, Luftreinheit (z.B. Partikel)) mittels chemischen Analysen (z.B. Gaschromatographie mit anschließender Massenspektrometrie)

Das Projekt ist mit pulverförmigem Ausgangsstoff umgesetzt worden. Die Lagerungsbedingungen erfolgten über luftdichte und wiederverschließbare Kunststoffvorratsbehälter. Für den Transport der gelieferten Pulverchargen wurden die Kunststoffvorratsbehälter mit Schaumfolie und Luftpolsterpapier eingebettet

2.2 Entwicklung eines geeigneten Lagerungsbehälters für die Trockenmischung zum Schutz vor äußeren Einwirkungen mittels CAD- und CFD-Software

Ein entsprechender Behälter wurde aufgrund der fehlenden endgültigen Definition der Pulvermischung nicht entwickelt.
Nach der Umstellung auf pulverförmiges Material anstatt pastöser Trockenmischung entfiel der Schutz vor äußeren Einwirkungen und somit auch ein mittels CAD- und CFD-Software entsprechender Lagerungsbehälter

2.3 Entwicklung einer Pressform (10x10 cm) mittels CAD-Software (z.B. Creo, SolidWorks) und Auswahl eines geeigneten Materials mithilfe von experimentellen Versuchen hinsichtlich der Verträglichkeit der Trockenpaste und des Materials der Pressform

Die Pressversuche wurden im Jahr 2023 nach Absprache mit den Projektpartnern mit einer modifizierten Form mit 44,7mm x 44,7mm umgesetzt. Auf das Werkzeug wurde eine spezielle Balinit Beschichtung aufgetragen. Diese wirkt sich positiv auf Verschleiß aus. Außerdem hilft diese Beschichtung gegen Anhaftungen der Presslinge.

2.4 Analyse der Wirkflächenpaare (z.B. Pressstempel und Pulver, Pressstempel und Pressform) und Ableitung eines geeigneten spanendes Fertigungsverfahren (z.B. Drehen, Fräsen) sowie Festlegung der Maß- (<50 µm), Form- und Oberflächentoleranzen (Ra: <10 µm) für die Werkzeugkomponenten

Wie in Punkt 2.3 beschrieben wurde die 44,7mm x 44,7mm Pressform für die verschiedenen Pressversuche verwendet. Die Bearbeitung erfolgte über schleifen und hochglanzpolieren. Dabei wird eine Form- Oberflächentoleranz von Ra 0,1 erreicht.

EP70

Servo-motorische CNC-Axial Pulverpresse für höchste Anforderungen an Produktivität und Teilequalität



Vorteile

- Hohe Präzision und Produktivität
- Hochgenaue Positionsregelung
- Hochauflösende Kraftregelung
- Intuitive Bedienung
- Geringer Energiebedarf
- Aufstellung ebenerdig ohne Grube
- Kompatibel mit DORST IoT Solutions

Technische Informationen

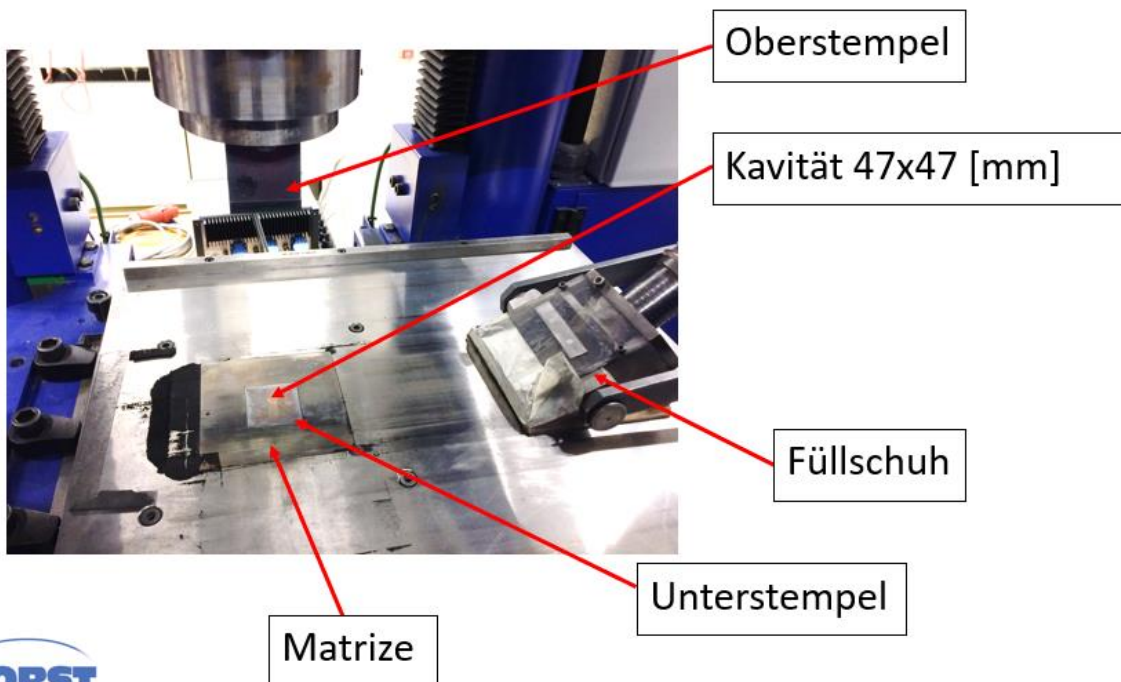
- Presskraft 700 kN
- Weg Oberstempel 300 mm
- Gegenhalterkraft Matrize bis 300 kN
- Abzugskraft Matrize bis 300 kN
- Weg Ebenen oben 50 mm
- Weg Ebenen unten 150 mm
- Füllhöhe 150 mm
- Weg Mittelstift 150 mm
- Positioniergenauigkeit Hauptantriebe $\pm 0,001$ mm



WIR BRINGEN KERAMIK UND METALLPULVER IN FORM

Der Pressenaufbau sieht folgendermaßen aus

Pressenaufbau



WIR BRINGEN KERAMIK UND METALLPULVER IN FORM

4

2.5 Erforschung der Trockenpasteigenschaften (z.B. Viskosität mittels Platte-Platte-Rheometer) und Ableitung von Maßnahmen bezüglich der Zuführung, Verpressung etc.

Das Material wurde auf pulverförmiges Material geändert. Die Pulvereigenschaften wie Fließfähigkeit, Rieselfähigkeit, Abbruchverhalten bei Schüttwinkelmittlung, wurden mit den gängigen Laborwerkzeugen durchgeführt. Über verschiedene Versuchsreihen wurden die Presseigenschaften des gelieferten Materials untersucht und ermittelt.

Pressreihe 1

LFP (verunreinigt)								Kavität 47x47mm
Pressteil	Presskraft	Füllhöhe	Teilhöhe	Presszeit	v Press	Dekozeit	Füllfaktor	Bemerkung
Nr.	[kN]	[mm]	[mm]	[s]	[mm/s]	[s]	[1]	
1		4,5	<3	5	1	2	-	Grünling lose
2		5	<3	5	1	2	-	Grünling bricht
3	77	6	2,5	5	1	2	2,4	Füllhöhe vergrößert
4	140	7	2,5	5	1	2	2,8	Füllhöhe vergrößert
5	120	7	2,5	10	1	5	2,8	Presszeit erhöht
6	173	7,5	2,5	10	0,2	5	3,0	Pressgeschw. reduziert
7	168	7,5	2,5	10	0,2	5	3,0	5 min Stop während Deko -> Grünlingecken brechen bei Entformung
8	130	7,5	2,5	10	0,2	0,2	3,0	Angepresst mit 50[kN]

Pressreihe 2

LFP: 92 PTFE: 6 LR: 2								Kavität 47x47mm
Pressteil	Presskraft	Füllhöhe	Teilhöhe	Krafthaltezeit	v Press	Dekozeit	Füllfaktor	Bemerkung
Nr.	[kN]	[mm]	[mm]	[s]	[mm/s]	[s]	[1]	
10	187	7,5	3	5	0,2	0,2	2,5	
11	265	8,5	3	5	0,5	0,2	2,8	Füllhöhe vergrößert
12	322	9	3	5	0,5	0,2	3,0	Füllhöhe vergrößert
13	390	9,5	3	5	0,5	0,2	3,2	Füllhöhe vergrößert
14	420	10	3	5	0,5	0,2	3,3	Füllhöhe vergrößert
15	484	11	3	5	0,5	0,2	3,7	Füllhöhe vergrößert
16	510	11,5	3	5	0,5	0,2	3,8	Füllhöhe vergrößert
17	555	12	3	5	0,5	0,2	4,0	Füllhöhe vergrößert

Pressreihe 3

C6: 93 PTFE: 6 LR: 1								Kavität 47x47mm
Pressteil	Presskraft	Füllhöhe	Teilhöhe	Krafthaltezeit	v Press	Dekozeit	Füllfaktor	Bemerkung
Nr.	[kN]	[mm]	[mm]	[s]	[mm/s]	[s]	[1]	
20	630	8	3,4	5	0,5	0,2	2,4	
21	413	7	3,1	5	0,5	0,2	2,3	Füllhöhe reduziert
22	470	7	3,15	5	0,5	10	2,2	Dekozeit deutlich verlängert
23	465	7	3,15	30	0,5	0,2	2,2	Presszeit deutlich verlängert
24	449	7	3,15	30	5	0,2	2,2	Pressgeschw. Erhöht
25	507	7	3,15	30	5	0,2	2,2	Füllung: Saugend

Weitere Pressreihen wurden mit LFP Material für die Kathode und Graphit für die Anode durchgeführt

Ultrabatt Versuchsreihe

Kathode

LFP (219g)	Kathode																													
Kathode	Einheit																													
Probe		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Füllhöhe	[mm]	3,7	3,6	3,4	3,3	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Presskraft Soll	[kN]	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Presskraft IST	[kN]	78	86	110	97	89	88	77	75	80	81	80	80	81	80	82	84	87	85	83	87	87	87	90	85	83	79	75	70	62
Teilehöhe Soll	[mm]	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Teilehöhe Ist	[mm]	1,76	1,68	1,53	1,50	1,50	1,49	1,50	1,50	1,50	1,51	1,51	1,50	1,50	1,50	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,50	1,50	1,49	1,48	1,46	
Pressgeschwindigkeit	[mm/s]	1																												
Krafthaltezeit	[s]	10																												
Dekozeit	[s]	0,3																												

Einstellung Füllhöhe um vorgegebene Parameter zu erreichen

Produktionsbereich

Pulver wird knapp -> Füllhöhe muss korrigiert werden

Pulver zu knapp, keine Produktion mehr möglich

----> Pulver wird knapp im Füllschuh



WIR BRINGEN KERAMIK UND METALLPULVER IN FORM

3

Anode

Graphit (115g)	Anode																																
Anode	Einheit																																
Probe		30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58			
Füllhöhe	[mm]	2,5	2,2	1,8	1,6	1,4	1,45	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,49	1,49	1,51	1,56	1,70															
Presskraft Soll	[kN]	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154				
Presskraft IST	[kN]	185	147	250	200	149	156	160	158	158	157	153	151	153	147	145	142	139															
Teilehöhe Soll	[mm]	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82				
Teilehöhe Ist	[mm]	1,33	1,2	1	0,9	0,80	0,81	0,82	0,82	0,82	0,81	0,79	0,79	0,80	0,79	0,78	0,78	0,77															
Pressgeschwindigkeit	[mm/s]	1																															
Krafthaltezeit	[s]	10																															
Dekozeit	[s]	0,3																															

----> Pulver wird knapp im Füllschuh => Korrektur von Füllhöhe war notwendig

Einstellung Füllhöhe um vorgegebene Parameter zu erreichen

Produktionsbereich

Pulver wird knapp -> Füllhöhe muss korrigiert werden

Pulver zu knapp, keine Produktion mehr möglich



WIR BRINGEN KERAMIK UND METALLPULVER IN FORM

4

2.6 Entwicklung einer Zuführung/Fördermechanismus z.B. auf Basis einer Exzentrerschnecke zur Einbettung der neuartigen Trockenpastenmasse in die Pressform mittels FEM- und CFD-Simulationen

Das Material wurde auf pulverförmiges Material geändert. Eine Entwicklung der Zuführung/Fördermechanismen für pastöses Material wurde daher nicht durchgeführt

2.7 Evaluierung eines geeigneten Antriebs der Füllvorrichtung auf elektrischer Basis mit hoher Stellgenauigkeit

Das Material wurde auf pulverförmiges Material geändert. Für eine entsprechende Füllvorrichtung wurden servomotorische Antriebe vorgesehen, die die entsprechenden Füllschuhe über die Kavitäten bewegen.

2.8 Entwicklung des Gesamtaufbaus aus den bereits entwickelten Bauteilen sowie Integration in die Pressmaschine

Das Arbeitspaket 2.8 entfiel aufgrund geänderter Pulvereigenschaften und war somit kein Bestandteil mehr für das Ultrabatt Projekt

2.9 Erforschung der Wechselwirkung der zu verpressenden Trockenmischung mit dem Presstempel anhand von Testpressungen und gegebenenfalls Entwicklung einer geeigneten Beschichtung (z.B. Teflon) zur Vermeidung einer Anhaftung

Das Erforschung der Wechselwirkung der zu verpressenden Trockenmischung entfiel aufgrund geänderter Pulvereigenschaften und war somit kein Bestandteil mehr für das Ultrabatt Projekt

2.10 Entwicklung einer Parametermatrix (Anpressdruck bzw. Kräfte, Dauer etc.) zur optimalen Verarbeitung des Vorpresslings mittels experimentellen Versuchsreihen.

Die entsprechenden Pressparameter wurden über Testpressungen und Erfahrungswerten eingestellt und ermittelt.

Prozessparameter

- **Presskraft [kN]** -> Maximale Presskraft die während Pressvorgang auftritt
- **Füllhöhe [mm]** -> Pulversäule im unverdichteten Zustand
- **Teilhöhe [mm]** -> Gemessene Höhe nach Verdichtung
- **Krafthaltezeit [s]** -> Haltezeit mit max. Presskraft
- **Pressgeschwindigkeit [mm/s]** -> Geschwindigkeit Oberstempel während Pressvorgang
- **Dekompressionszeit [s]** -> Eingestellte Zeit bis Presskraft



auf Grünling komplett abgebaut ist

WIR BRINGEN KERAMIK UND METALLPULVER IN FORM

2.11 Abschließende Optimierungen der Pressform und der automatischen Pastenverteilung auf Basis der Ergebnisse von Testpressungen bspw. durch Anpassung der Geschwindigkeit und Amplitude der Füllbewegungen

Während der Füllreihen wurden laufend Optimierungen bei Füllhöhe, Dekompressionszeit, Presszeit, Pressgeschwindigkeit, Änderung der Füllart von Fallend auf Saugend, vorgenommen (siehe oben).

5 Arbeitspaket

Das Einpressen von Vorpresslingen in die Halbschalen entfiel gänzlich, da die Vorpresslinge in die Halbschalen eingelegt wurden. Dieser Prozess geschah manuell. Somit entfällt das Arbeitspaket 5

5.1 Erforschung eines Kaltpressprozesses zur direkten Einpressung des Vorpresslings in die jeweilige Halbschale (mit und ohne Separator) bezüglich benötigter Stempelgeometrien etc.

5.2 Ermittlung der notwendigen Übermaßpassung und der dazugehörigen Toleranzklassen bezüglich Vorpressling und Halbschale sowie Entwicklung einer Methodik zur Einlegung des Vorpresslings in die Halbschalen.

Die gepressten Proben wurden auf Ihre Größenausdehnung gemessen. Dabei ergab sich eine „Auffederung“ bzw. „Entspannen“ nach dem Pressen, sodass die Seitenlängen größer wurden. Bei den LFP Proben wurde eine Auffederung von 1,12% ermittelt. Bei den gepressten Graphit Proben ergab sich ein Wert von 3,36%. Dies ist entscheidend für die Auslegung der Halbschalen und dem entsprechenden Fügevorgang.

5.3 Entwicklung einer geeigneten Vorrichtung (z.B. auf Basis einer Siebanlage) zur gleichmäßigen Einbringung des Vorpresslings in die Halbschalen.

5.4 Entwicklung eines geeigneten Pressstempels (Geometrie, Material) zur Einpressung des Vorpresslings in die Halbschale mittels CAD-Software.

5.5 Evaluation und Auswahl geeigneter Sensoren bezüglich der Auflösung, Linearität zur Überprüfung der Presskräfte, Positionierung des Stempels etc. sowie zur allgemeinen Messdatenerfassung

5.6 Ermittlung des Grenzdrucks, welcher sich durch die Bildung eines Elektrolyt-Feuchtigkeitsfilms auf der vorgepressten Trockenmischung charakterisiert.

5.7 Entwicklung eines Prozessparameterfensters (z.B. Anpressdruck, Druckverlauf, Zeit, ggf. Temperierung) für das Einpressen des Rohlings (Vorpressling) in die Halbschale zur Erzielung einer idealen Schichtdicke von ca. 3 mm

5.8 Entwicklung und Konstruktion einer automatischen Einlage der Halbschalen mit integriertem Pressling in die Pressmaschine zur Erhöhung der Reproduzierbarkeit.

5.9 Entwicklung und Programmierung einer Steuerung für die automatische Einlage der Halbschalen und Vorpressling sowie Implementierung in die Gesamtsteuerung der Pressmaschine.

5.10 Herstellung der zwei Halbschalen mit der jeweiligen Elektrode, wobei eine Halbschale noch zusätzlich mit Separator ausgestattet ist, und Zusammensetzung der beiden Halbschalen

5.11 Analyse der Pressversuche bezüglich der Schichtqualität und Kontinuität mittels mechanischen und optischen Methoden zur Validierung einer reproduzierbaren Qualität

5.12 Entwicklung eines Verbindungsprozesses basierend auf der in AP4 entwickelten Technik sowie Untersuchung der Notwendigkeit eines nachträglichen Aufsetzens der oberen Halbschale, um ein Herausfallen des Presslings zu vermeiden.

5.13 Optimierung des Press- und Fügeprozesses anhand der Analyseergebnisse (bspw. durch Anpassung des Anpressdrucks).

Abschließende Fragen

1. Haben sich die Aussichten für die Erreichung der Projektziele oder die Zielsetzungen innerhalb des Projektzeitraums gegenüber dem Antrag geändert?

Dorst Technologies GmbH & Co. KG

- *Konnten Projektziele nicht erreicht werden?*

Aufgrund der offenen Materialentwicklung hin zu pulverförmigem Material konnten einige Meilensteine nicht erreicht werden, wie oben beschrieben.

Durch die Umstellung entfallen viele Entwicklungspunkte, welche sich auf das pastöse Ausgangsmaterial beziehen.

- *Wo kam es zu Verzögerungen?*

Durch die Umstellung auf pulverförmiges Material (sieht oben).

- *Sind Projektmitarbeiter ausgeschieden?*

Nein

- *Wurden die einzelnen Teilmeilensteine erreicht?*

Die von Dorst zu erledigenden Aufgaben wurden fristgerecht abgearbeitet

2. Sind inzwischen von dritter Seite FuE-Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Projekts relevant sind? Bitte auch die aktuellen Informationsrecherchen darstellen.

nicht bekannt.

3. Sind oder werden Änderungen in der Zielsetzung notwendig?

Durch die Umstellung von pastösem auf pulverförmiges Material hat sich die Dosierung in das Werkzeug verändert. Einige Teilziele fielen weg. Das Gesamtziel von C/2 konnte nicht erreicht werden.

Das angedachte seriennahe Werkzeug (100mm x 100mm) wurde nicht umgesetzt werden. Alle Pressversuche konnten auf dem Dorst Werkzeug (44,7mm x 44,7mm) stattfinden. Auch das Einpressen des Rohlings in die Halbschale, da das Material als Pulver in Plattenform gepresst und manuell in die Metallhalbschalen eingelegt wird, wurde ersetzt durch manuelles Einlegen der Presslinge. Die inerte Einhausung wird ebenfalls nicht benötigt, da das Material aufgrund des Prototypenprozesses im gepressten Zustand nachgetrocknet werden kann. Das angedachte Verpressen der Halbschalen wird durch ein neues Fügeverfahren (ggf. Kleben) in der Universität Stuttgart in manuellem Prozess erprobt. Somit verringern sich die angedachten Aufwendungen für DORST Technologies erheblich.