

Vorrichtung und Verfahren zur Trennung von Verbundmaterialien

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und Verfahren zur Trennung von Verbundmaterialien mittels elektrohydraulischer Fragmentierung (EHF). Im Unterschied zu gängigen Verfahren kommt das Verbundmaterial erfindungsgemäß nicht in Kontakt mit der für den Prozess erforderlichen Flüssigkeit.

Typischerweise wird bei der EHF das Verbundmaterial in einem mit Wasser gefüllten Reaktor behandelt. Über eine elektrische Entladung zwischen zwei Elektroden im Reaktor werden Schockwellen generiert, die zur Fragmentierung des Materialverbunds führt [siehe Dissertation: „Selektive Elektrodynamische Fragmentierung - Zerkleinerungsmechanismen und Einsatzmöglichkeiten zur Rückgewinnung von Wertstoffen“; Samuel Fadri Pestalozzi; 2020]. Durch die Verbundmaterialien bzw. deren Inhaltsstoffe bedingt kann das Wasser erheblich kontaminiert werden. Sind mehrere, aufeinanderfolgende elektrische Entladungen zur Trennung erforderlich, können diese durch die Kontamination beeinträchtigt werden. Außerdem ist aufgrund der Kontamination eine aufwendige Reinigung des Wassers bei Dauerbetrieb der Anlage im Produktionsbetrieb erforderlich. Weiterhin bleibt ein Teil des Wassers bei der Entnahme der Fragmente aus dem Reaktor an deren Oberflächen haften, sodass frisches Wasser in den Reaktor nachgefüllt werden muss. Beim Betrieb einer Anlage im freien Feld, insbesondere in Wüstengebieten kann der Wasserverbrauch eine wichtige Rolle hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit spielen. Wird das fragmentierte Material vor dem Transport für eine weitere Verarbeitung nicht ausreichend getrocknet, erhöht sich dessen Gewicht um den Wasseranteil und damit auch die Transportkosten.

Die Erfindung lässt sich insbesondere auf Verbundmaterialien mit ebenen Oberflächen anwenden, beispielsweise auf einen Glasscheiben-Polymer-Verbund oder einen Metallfolien-Polymerfolien-Verbund. Die Vorrichtung umfasst einen flüssigkeitsgefüllten Reaktor, in welchem die Schockwellen durch ein oder mehrere Elektrodenpaare generiert werden. Das Reaktorgefäß wird

erfindungsgemäß durch eine Polymermembrane, beispielsweise Silikon abgedeckt. Das ebene Verbundmaterial wird auf die Membrane mit einem Stempel aufgedrückt, sodass ein Überdruck in der Flüssigkeit des Reaktors entsteht und ein stoffschlüssiger Verbund zwischen Membrane und

5 Verbundmaterial erzielt wird. Aufgrund der Ähnlichkeit relevanter akustischer Eigenschaften von Flüssigkeit und Membrane, insbesondere von Akustischer Impedanzen sowie Schallgeschwindigkeiten, kann die Schockwelle von der Flüssigkeit auf das Verbundmaterial übertragen werden. Beispielsweise haben sowohl Silikon als auch Wasser eine Akustische Impedanz von ungefähr $1,5E+6$

10 $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$ und eine Schallgeschwindigkeit von $1,3E+3$ m/s bzw. $1,5E+3$ m/s. Wird nun eine Glasscheibe mit einer elastischen Polymerbeschichtung mit der Polymerseite auf die Membrane durch den Stempel gepresst, so kann die Schockwelle aufgrund ähnlicher Akustischer Impedanzen von Polymer und Membrane nahezu ungehindert auf die Grenzfläche von Polymer und Glas (Glas:

15 Akustische Impedanz: $12,3E+6$ $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$ / Schallgeschwindigkeit: $5,6E+3$ m/s) treffen und aufgrund des Sprungs in den Impedanzen zur Trennung des Glas-Polymerverbunds beitragen.

Figur 1 zeigt einen möglichen Aufbau eines Reaktors gemäß dem Stand der

20 Technik im geöffneten Zustand. Die Elektrode 01 wird zur Erzeugung von Schockwellen in einer Flüssigkeit, beispielsweise Wasser (nicht dargestellt), kurzzeitig mit einer Hochspannung beaufschlagt, sodass ein Plasmabogen zur geerdeten Elektrode 02 entsteht. Die elektrische Zuleitung 04 für die Elektrode 01 ist mit einer elektrischen Isolation 03 durch den i.a. metallischen Reaktordeckel 05

25 geführt. Die Elektrode 02 wird elektrisch direkt mit dem geerdeten Reaktordeckel verbunden. In der Reaktorwanne 06 wird beispielsweise eine Glasscheibe 09, welche mit einem Polymer 08 beschichtet ist, eingelegt. Über eine Öffnung, den Einlass 10 bildend, wird (im geschlossenen Zustand des Reaktors) sauberes, deionisiertes Wasser (nicht dargestellt) zugeführt und über einen Abfluss 11

30 abgeführt. Das Wasser wird außerhalb des Reaktorgefäßes gereinigt und deionisiert, beispielsweise über eine Umkehr-Osmose-Patrone (nicht dargestellt) und gleichzeitig über einen Wärmetauscher (nicht dargestellt) gekühlt, sodass es wieder über den Einlass 10 dem Reaktorgefäß in einem geschlossenen Kreislauf

zugeführt werden kann.

Das Verfahren gemäß dem Stand der Technik wird wie folgt durchgeführt: Zuerst wird das zu fragmentierende Verbundmaterial 09 / 08 in die Reaktorwanne 06
5 eingelegt. Danach wird der Reaktordeckel 05 auf die Wanne 06 abgesenkt (siehe Fig. 2). Anschließend wird Wasser durch die Reaktorkammer über den Einlass 10 und den Auslass 11 gespült (dargestellt durch Pfeile an Einlass und Auslass), sodass das Verbundmaterial komplett im Wasser liegt. Dabei dient das Polymer 07, beispielsweise Gummi, als Dichtung zwischen Deckel 05 und Wanne 06. Fig.
10 2 stellt den geschlossenen Zustand des Reaktors gemäß Fig. 1 dar. Die dortigen Bezugszeichen treffen somit gleichermaßen auf die strukturellen Merkmale in Fig. 2 zu, so dass diesbezüglich auf Fig. 1 verwiesen wird. Für das Verfahren ist es wichtig sämtliche Luft in der Reaktorkammer mittels Wasserspülung zu entfernen, da Luft aufgrund der geringen Dichte das Verfahren stören würde. Als nächster
15 Schritt erfolgt typischerweise eine Vielzahl von kurzzeitigen (im Mikrosekunden-Bereich) und aufeinanderfolgenden (mit wenigen Herz) Plasmaentladungen zwischen den Elektroden 01 und 02, die üblicherweise von einem Kondensator mittels eines elektrischen Schalters gespeist werden. Danach wird der Reaktordeckel angehoben und die voneinander getrennten Materialien 09 und 08
20 aus der Reaktorwanne 06 entnommen.

Die Figur 3 zeigt eine Vorrichtung gemäß der Erfindung im geöffneten Zustand. Auch hier können eine oder mehrere Plasmaentladungen zwischen den Elektroden 01 und 02 erzeugt werden. Die Hochspannungszuleitung 04 ist über
25 eine isolierte Durchführung 03 mit der Elektrode 01 verbunden. Der gegenüber dem Stand der Technik in Fig. 1 modifizierte Reaktordeckel 05' weist zum einen den Einlass 10 und den Auslass 11 sowie unterseitig ein Polymer 07' auf, welches den Kammerdeckel 05' auf der den Elektroden 01 gegenüberliegenden Seite dicht gegenüber der zur Spülung verwendeten Flüssigkeit verschließt. Das Polymer 07'
30 bildet im dargestellten Ausführungsbeispiel beispielhaft, jedoch nicht beschränkend auch die Dichtung zwischen Deckel 05 und Wanne 06. Optional kann letztgenannte Dichtung separat ausgebildet sein. Im Gegensatz zum Stand der Technik kann der Wasserzufluss über den Einlass 10 bzw. den Abfluss 11

gemäß der Erfindung auch während des geöffneten Zustands der Reaktorkammer aufrecht erhalten werden, da die erfindungsgemäße Membrane 07', beispielsweise aus Silikon, den Wasseraustritt aus dem Bereich des Reaktordeckels 05' verhindert. Somit entfällt das Spülen des Elektrodenbereichs zur Entfernung der Luft nach dem Einlegen des Verbundmaterials 09/08 in das Reaktorgefäß.

Das Verfahren gemäß der Erfindung wird wie folgt durchgeführt: Zuerst wird das zu fragmentierende Verbundmaterial 09/08 auf den Reaktorboden 06' gelegt.

Danach wird der Boden angehoben (dargestellt durch zwei Pfeile), sodass das Verbundmaterial auf die Membrane 07' stoffschlüssig gepresst wird. Figur 4 zeigt den geschlossenen Zustand des Reaktorbehälters. Der dabei entstehende Überdruck in der Flüssigkeit kann über einen Druckausgleichsbehälter außerhalb des Reaktorgefäßes (nicht skizziert) zwischen 11 und 10 eingestellt werden.

Anschließend erfolgt die Fragmentierung der Verbundmaterialien über Schockwellen gemäß dem Stand der Technik, beispielsweise der oben angeführten Dissertation. Danach wird der Reaktorboden 06' abgesenkt und die Probe im trockenen Zustand entnommen. Fig. 4 stellt den geschlossenen Zustand des Reaktors gemäß Fig. 3 dar. Die dortigen Bezugszeichen treffen somit gleichermaßen auf die strukturellen Merkmale in Fig. 4 zu, so dass diesbezüglich auf Fig. 3 verwiesen wird.

Die optionale Schicht 12' auf dem Reaktorboden 06', kann beispielsweise aus Silikon bestehen zur Vermeidung von Glasbruch beim Be- bzw. Entladen der Reaktorkammer mit einem Verbundmaterial. Alternativ kann die Schicht 12' auch Teil eines Transportförderbands sein, beispielsweise ein flaches Metallband, zum Be- und Entladen der Reaktorkammer. Bei der Verwendung eines Transportförderbands kann alternativ der Reaktordeckel 05' abgesenkt werden anstelle den Reaktorboden 06' anzuheben.

Das Verbundmaterial kann beispielsweise eine Verbundsicherheitsglasscheibe oder ein Photovoltaikmodul sein, welche jeweils aus zwei Glasscheiben und einem dazwischenliegenden Polymer bestehen können.

Das Verbundmaterial kann beispielsweise ein Photovoltaikmodul sein, welches aus einer Glasscheibe und einem oder mehreren Polymerschichten bestehen kann.

5

Das Verbundmaterial kann eine Polymerfolie sein, welche mit einem Film aus Metall beschichtet ist.

10 **Zusammenfassend kann die erfindungsgemäße Vorrichtung und dessen Ausgestaltungen wie folgt beschrieben werden:**

15

- Die Vorrichtung ist zur Trennung von Verbundwerkstoffen geeignet mittels elektrohydraulischer Fragmentierung, wobei das Verbundmaterial nicht mit der für den Prozess erforderlichen Flüssigkeit in Berührung kommt.
- Zur direkten Übertragung der Schockwellen von der Flüssigkeit in das Verbundmaterial wird eine dazwischenliegende Membrane 07', vorzugsweise aus einem Polymer, eingesetzt.