



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH**

701 554 B1

(51) Int. Cl.: **B23K 1/00** (2006.01)
B23K 35/14 (2006.01)
B23P 6/00 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 01241/10

(22) Anmeldedatum: 28.07.2010

(43) Anmeldung veröffentlicht: 31.01.2011

(30) Priorität: 31.07.2009 US 12/533,101

(24) Patent erteilt: 31.12.2015

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.12.2015

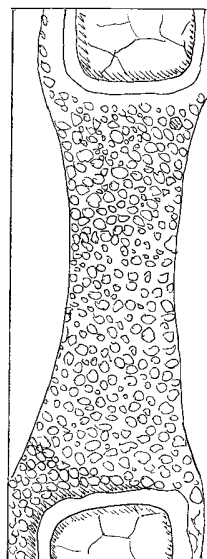
(73) Inhaber:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, New York 12345 (US)

(72) Erfinder:
Jere A. Johnson, Greenville, South Carolina 29609 (US)
Timothy Channel,
Simpsonville, South Carolina 29680 (US)

(74) Vertreter:
R. A. Egli & Co. Patentanwälte, Horneggstrasse 4
8008 Zürich (CH)

(54) **Lötverfahren zur Reparatur einer Komponente.**

(57) Offenbart ist ein Verfahren zum Reparieren einer Komponente, die aus einer nickelbasierten Legierung ausgebildet ist. Das Verfahren umfasst das Aufbringen wenigstens einer ersten Hartlötpaste auf den Riss, um einen Hartlötpastenflicken zu bilden, der Pulver aus einer ersten und einer zweiten Legierung und einem organischen Bindemittel aufweist. Die erste Legierung weist eine höhere Schmelztemperatur als die zweite Legierung auf, und die Pulver aus der ersten und der zweiten Legierung sind in dem Hartlötpastenflicken in einem Gewichts-Verhältnis von 30:70 bis 70:30 Gewichtsprozent vorhanden. Der Hartlötpastenflicken wird anschliessend erhitzt, um das Bindemittel abzubrennen und wenigstens das Pulver aus der zweiten Legierung zu schmelzen, um ein Hartlötelement innerhalb des Risses zu bilden, das Partikel aus der ersten Legierung enthält, die in einer durch die zweite Legierung gebildeten Matrix verteilt sind.



Beschreibung

Hintergrund zu der Erfindung

[0001] Die folgende Erfindung betrifft allgemein ein Verfahren zur Reparatur von Komponenten, die unter hohen Temperaturen arbeiten. Das Verfahren kann zum Füllen von Rissen oder anderen Defekten in Heissgaspfadkomponenten von Gasturbinen, einschliesslich durch die Dicke hindurchgehender Risse in relativ dünnen Komponenten, wie beispielsweise der Prallplatte einer Gasturbinenmaschine, benützt werden.

[0002] Heissgaspfadkomponenten von Gasturbinen sind gewöhnlich aus nickel-, kobalt- oder eisenbasierten Superlegierungen mit gewünschten mechanischen und Umgebungseigenschaften für die Betriebstemperaturen und -bedingungen der Turbine erzeugt. Ein bestimmtes Beispiel stellt eine Prallplatte dar, die das hintere Ende einer Kappenanordnung einer Brennkammerauskleidung schützt, durch die sich Brennstoffdüsenanordnungen in die Brennkammer einer Gasturbinenmaschine hinein erstrecken. Die Prallplatten können mit Effusionskühlöffnungen ausgestattet sein, um die Fähigkeit der Prallplatte, als eine Strahlenabschirmung für die Kappenanordnung zu dienen, zu unterstützen. Prallplatten sind gewöhnlich dünn, wobei ein nicht beschränkendes Beispiel eine Dicke von etwa 0,092 Zoll (etwa 2,3 mm) aufweist, mit dem Ergebnis, dass in der thermisch aggressiven Umgebung in der Nähe der Brennkammer durchgehende Risse entstehen können. Es werden verschiedene Verfahren dazu verwendet, diese Risse zu füllen, wozu Hartlöt- und Schweisst Techniken gehören.

[0003] Wie in der Technik bekannt, werden Lötrepaturmethoden bei Temperaturen durchgeführt, die geringer sind als die Schmelztemperatur des Basismaterials der reparierten Komponente. Eine an Superlegierungskomponenten durchgeführte Hartlötung umfasst gewöhnlich den Einsatz von Hartlötmaterialien in biegbaren oder formbaren Formen, wie beispielsweise Pasten, Kitten, Breien, Schlämmen und Bändern, wie durch die auf die gemeinsame Anmelderin lautenden US-Patentschriften Nr. 6 187 450 für Budinger et al., 6 530 971 für Cohen et al. und 7 279 229 für Budinger et al. belegt. Es sind auch Hartlötmethoden, die gesinterte Vorformlinge verwenden, zur Aufbringung verschleissfester Materialien auf Laufschaufeloberflächen, wie dies in der auf die gemeinsame Anmelderin lautenden US-Patentschrift Nr. 7 335 427 für Sathian gelehrt wird, sowie zum Oberflächenaufbau und Hartauftragschweissen vorgeschlagen worden, wie dies in der auf die gemeinsame Anmelderin lautenden US-Patentanmeldung mit der Veröffentlichungsnr. 2007/0 154 338 für Sathian et al. gelehrt wird. Lötpasten, -kitten, -breie bzw. -schlämme und -bänder enthalten im Allgemeinen Metallpartikel in einem Bindemittel, das die Metallpartikel zusammenhält und an der bzw. den Oberflächen, die gelötet werden, haftet und anschliessend während des Hartlötvorgangs abbrennt. Die Metallpartikel sind gewöhnlich ein Gemisch aus zwei oder mehreren unterschiedlichen Legierungen, von denen eine ein Schmelzpunktherabsetzungsmittel (z.B. Bor oder Silizium) enthält, um einen niedrigeren Schmelzpunkt als bei den verbleibenden Metallbestandteilen des Hartlötmaterials zu erreichen. Während des Hartlötvorgangs schmelzen die niedrighschmelzenden Partikel, um eine Flüssigkeit zu bilden, die Lücken zwischen den höherschmelzenden Partikeln füllt und bei Verfestigung die höherschmelzenden Partikel zusammen und an das Substatmaterial bindet. Mit derartigen Hartlötmaterialien verbundene Schwierigkeiten umfassen die Schwierigkeit, durchwegs optimale Mengen des Hartlötmaterials einzusetzen, das Hartlötmaterial genau zu platzieren und das Hartlötmaterial für den Bereich, der gelötet wird, passend zu formen und zu bemessen. Weitere Unzulänglichkeiten können geringere Dichten und übermässige Porosität und Lücken, die während des Abbrennens des Bindemittels erzeugt werden, enthalten, was zu schlechten mechanischen Eigenschaften für das resultierende Lötresultat führt.

[0004] In dem Fall der Reparatur von Prallplatten, die mit Effusionsöffnungen versehen sind, gehören zu weiteren Unzulänglichkeiten die Schwierigkeit des Verfüllens kleiner durchgehender Risse in einem relativ dünnwandigen Abschnitt sowie grösserer durchgehender Öffnungen, wobei in diesem Fall das Hartlötmaterial hinreichend viskos sein muss, so dass das Material vor dem Hartlöten und während des Hartlötvorgangs nicht aus dem Bereich, der gelötet wird, wegfliessen, während es dennoch in der Lage sein muss, in Risse verschiedener Weiten vollständig einzudringen.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0005] Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren bereit, das geeignet ist, um Risse in relativ dünnwandigen Abschnitten von Hochtemperaturkomponenten, wie beispielsweise einer Prallplatte einer Brennkammer einer Gasturbinenmaschine, zu verfüllen und zu verschliessen.

[0006] Das Verfahren bringt allgemein ein Aufbringen wenigstens einer ersten Hartlötpaste auf den Riss mit sich, um einen Hartlötpastenflicken zu bilden, der Pulver aus einer ersten und einer zweiten Legierung und ein organisches Bindemittel aufweist. Die erste Legierung weist eine höhere Schmelztemperatur auf als die zweite Legierung, und die Pulver aus der ersten und der zweiten Legierung sind in dem Hartlötpastenflicken in einem Gewichtsverhältnis von etwa 30:70 bis etwa 70:30 Gewichtsprozent vorhanden. Die erste Legierung ist entweder eine Legierung auf Nickelbasis, die in Gewichtsprozent aus 15,0 bis 17,0% Molybdän, 14,5 bis 16,5% Chrom, 4,0 bis 7,0% Eisen, 3,0 bis 4,5% Wolfram, bis zu 2,5% Kobalt, dem Rest Nickel und zufälligen Verunreinigungen besteht, oder eine Gamma-Strich-verfestigte nickelbasierte Legierung, die, bezogen auf das Gewicht, aus 9 bis 11% Kobalt, 7 bis 9% Chrom, 9 bis 11% Wolfram, 2,5 bis 3,5% Tantal, 5 bis 6% Aluminium, 0,5 bis 1,5% Titan, 0,6 bis 0,8% Molybdän, 1,3 bis 1,7% Hafnium, 0,03 bis 0,08% Zirkonium, 0,01 bis 0,02% Bor, 0,13 bis 0,17% Kohlenstoff, dem Rest Nickel und zufälligen Verunreinigungen besteht. Die zweite Legierung ist eine nickelbasierte Legierung, die, bezogen auf das Gewicht, aus 19 bis 21% Chrom, 2,5 bis 3,5% Tantal, 2,5 bis 3,5% Bor, 0,003 bis 0,005% Yttrium und dem Rest Nickel sowie zufälligen Verunreinigungen besteht. Der Hartlötpastenflicken wird anschliessend erhitzt, um das Bindemittel abzubrennen und wenigstens das Pulver aus der zweiten Legierung zu

schmelzen, um innerhalb des Risses ein Hartlötelement zu schaffen, das Partikel aus der ersten Legierung enthält, die in einer Matrix verteilt sind, die durch die zweite Legierung gebildet ist.

[0007] Die Hartlötpaste ist in der Lage, eine dichte hartverlötete Verbindung zu bilden, die in der Lage ist, sowohl relativ schmale als auch weite durchgehende Risse sowie benachbarte Durchgangslöcher zu reparieren, was die Folge davon ist, dass die Hartlötpaste bei Hartlöttemperaturen hinreichend flüssig wird, um Risse verschiedener Weiten vollständig zu füllen.

[0008] Weitere Details und Vorteile dieser Erfindung erschliessen sich besser aus der folgenden detaillierten Beschreibung.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0009]

- Fig. 1 zeigt ein Scanbild unter Veranschaulichung eines durchgehenden Risses in einem Oberflächenbereich einer Prallplatte für eine Kappenanordnung einer Brennkammerauskleidung einer Gasturbinenmaschine.
- Fig. 2 stellt in schematisierter Weise die Anordnung von Hartlötpastenproben dar, die während einer Untersuchung, die zu der vorliegenden Erfindung führte, ausgewertet wurden.
- Fig. 3 zeigt eine graphische Darstellung, die ein Temperaturprofil eines Hartlötzyklus repräsentiert, das bei der Erhitzung der in Fig. 2 identifizierten Proben angewandt worden ist.
- Fig. 4 zeigt ein Scanbild, das die Erscheinung von Hartlötverbindungen zeigt, die anhand der Proben nach Fig. 2 nach dem Hartlötzyklus nach Fig. 3 erzeugt worden sind.
- Fig. 5 und 6 zeigen Scanbilder, die Querschnitte einiger der Proben nach Fig. 4 veranschaulichen.
- Fig. 7A zeigt ein Scanbild unter Veranschaulichung der Anordnung einer Hartlötpastenprobe an einem schmalen durchgehenden Riss einer Prallplatte während einer zweiten Untersuchung, die zu der vorliegenden Erfindung führte.
- Fig. 7B zeigt ein Scanbild unter Veranschaulichung der Anordnung einer Hartlötpastenprobe an einem weiten durchgehenden Riss einer Prallplatte während der zweiten Untersuchung.
- Fig. 8A und 8B zeigen Scanbilder unter Veranschaulichung des Hartlötelementes, das während der Reparatur eines schmalen durchgehenden Risses, ähnlich demjenigen nach Fig. 7A, erzeugt wurde.
- Fig. 9A und 9B zeigen Scanbilder unter Veranschaulichung des Hartlötelementes, das während der Reparatur des weiten durchgehenden Risses nach Fig. 7B erzeugt wurde.
- Fig. 10 und 11 zeigen Scanbilder unter Veranschaulichung der Querschnitte von schmalen bzw. breiten durchgehenden Rissen in Prallplatten, die während der zweiten Untersuchung repariert wurden.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0010] Fig. 1 zeigt einen Oberflächenbereich einer Prallplatte einer Bauart, die dazu eingerichtet ist, als ein Strahlungsschutzschild für eine Kappenanordnung einer Brennkammerauskleidung einer Gasturbinenmaschine zu dienen. Die Prallplatte ist veranschaulicht, wie sie derart geformt ist, dass sie eine grosse Anzahl von Effusionskühlöchern aufweist, die die Fähigkeit der Prallplatte, die Kappenanordnung gegenüber einer durch die Brennkammer einer Gasturbinenmaschine emittierten Wärmestrahlung abzuschirmen, unterstützen. Die Prallplatte ist aus einem Material ausgebildet, das in der Lage ist, der aggressiven thermischen Umgebung einer Gasturbinenbrennkammer zu widerstehen. Ein bemerkenswertes Beispiel für ein derartiges Material ist Hastelloy X, eine Superlegierung auf Nickelbasis, deren nominelle Zusammensetzung in der Literatur als, in Gewichtsprozent, Ni-0,1C-22Cr-9Mo-0,5W-1Co-19Fe berichtet worden ist. Ein weiteres beachtenswertes Beispiel für eine Legierung, die für Prallplatten geeignet ist, enthält einschliesslich, jedoch nicht darauf beschränkt, Haynes 230, deren nominelle Zusammensetzung in der Literatur als, in Gewichtsprozent, Ni-0,1C-22Cr-2Mo-14W-0,3Al-0,5Mn-0,4Si-0,02La berichtet worden ist.

[0011] Prallplatten der in Fig. 1 veranschaulichten Art sind gewöhnlich dünn, zum Beispiel in der Grössenordnung von bis zu etwa 0,1 Zoll (etwa 2,5 mm), wobei ein bestimmtes Beispiel etwa 0,092 Zoll (etwa 2,3 mm) beträgt, obwohl kleinere oder grössere Dicken vorsehbar sind. In der thermisch aggressiven Umgebung einer Gasturbinenbrennkammer können dünne Prallplatten der in Fig. 1 veranschaulichten Art für durchgehende Risse empfänglich sein, von denen einer in Fig. 1 sichtbar ist. Der Riss ist für eine Art repräsentativ, die sich in Folge einer spannungsbedingten Rissbildung bilden würde, obgleich Risse, die durch andere Prozesse erzeugt werden, ebenfalls allgemein bekannt sind. Der in Fig. 1 gezeigte Riss ist relativ schmal, weist allgemein eine Weite in der Grössenordnung von etwa einem Millimeter auf. Innerhalb der Längs-erstreckung des Risses ist auch ein Loch vorhanden, und dieses ist um einen Faktor von wenigstens zehn weiter als der

Riss. Schliesslich liegt der Riss in einer Region der Prallplatte, die zahlreiche Effusionslöcher enthält, von denen einige von dem Riss durchschnitten werden. Folglich erfordert die Reparatur des durchgehenden Risses und seines benachbarten Durchgangslochs die Verwendung einer Hartlötpaste, die sowohl bei Hartlöttemperaturen hinreichend flüssig ist, um den Riss vollständig zu verfüllen, als auch das Loch dennoch füllt und vollständig schliesst.

[0012] Zusätzlich zu der Fähigkeit, sowohl schmale als auch weite Risse zu verschliessen, gehören zu bevorzugten Eigenschaften für die Hartlötpaste eine chemische und metallurgische Verträglichkeit mit der Legierung, die hartgelötet wird, Dauerfestigkeit, geringe Neigung zur Rissbildung, Oxidationsbeständigkeit und maschinelle Bearbeitbarkeit. Bevorzugte Hartlötpasten dieser Erfindung enthalten wenigstens einen Legierungsbestandteil mit «hohem Schmelzpunkt», dessen Eigenschaften ähnlich denjenigen der gelöteten Legierung sind, und wenigstens einen Legierungsbestandteil mit «niedrigem Schmelzpunkt», der eine Schmelztemperatur unterhalb der Schmelztemperatur des hochschmelzenden Legierungsbestandteils aufweist, die vorzugsweise hinreichend gering ist, um während des Hartlötprozesses die gewünschte Mikrostruktur der Komponente zu bewahren.

[0013] In einer zu der vorliegenden Erfindung führenden Untersuchung wurden Hartlötpastenproben aus Gemischen aus drei unterschiedlichen Legierungen formuliert, um Hartlötpastenkandidaten auszuwerten, die in der Lage sind, sowohl schmale als auch weite durch die gesamte Dicke durchgehende Risse sowie Durchgangslöcher der in Fig. 1 veranschaulichten Art zu reparieren. Es wurden zwei der drei ausgewerteten Legierungen als hochschmelzende Bestandteile der Hartlötpasten ausgewählt, während die dritte als der niedrigschmelzende Bestandteil ausgewählt worden ist. Die hochschmelzenden Bestandteile waren Mar-M-247 und Alloy-C-276. Mar-M-247 ist eine Gamma-Strich-verfestigte Superlegierung auf Nickelbasis, die mit einer Zusammensetzung von, bezogen auf das Gewicht, 9 bis 11% Kobalt, 7 bis 9% Chrom, 9 bis 11% Wolfram, 2,5 bis 3,5% Tantal, 5 bis 6% Aluminium, 0,5 bis 1,5% Titan, 0,6 bis 0,8% Molybdän, 1,3 bis 1,7% Hafnium, 0,03 bis 0,08% Zirkonium, 0,01 bis 0,02% Bor, 0,13 bis 0,17% Kohlenstoff, dem Rest Nickel und zufälligen Verunreinigungen berichtet worden ist. Die Mar-M-247-Zusammensetzung, die in der Untersuchung verwendet worden ist, hatte eine nominelle Zusammensetzung von, bezogen auf das Gewicht, etwa 10% W, 10% Co, 8% Cr, 5% Al, 3% Ta, 1% Hf, 1% Ti, 0,7% Mo, 0,2% C und dem Rest Nickel sowie zufälligen Verunreinigungen. Alloy-C-276 ist eine nickelbasierte Legierung, die mit einer Zusammensetzung von, bezogen auf das Gewicht, 15,0 bis 17,0% Molybdän, 14,5 bis 16,5% Chrom, 4,0 bis 7,0% Eisen, 3,0 bis 4,5% Wolfram, bis zu 2,5% Kobalt, dem Rest Nickel und zufälligen Verunreinigungen berichtet worden ist. Das in der Untersuchung verwendete Material Alloy-C-276 war ein Pulver, das kommerziell von Praxair Technology, Inc., als NI-544 verfügbar ist, und es hatte eine nominelle Zusammensetzung von, bezogen auf das Gewicht, etwa 16% Cr, 16,5% Mo, 4% W, 5,5% Fe, 1% Co, den Rest Nickel und zufällige Verunreinigungen. Mar-M-247 ist dafür bekannt, dass es eine exzellente mechanische Festigkeit zeigt, und Alloy-C-276 ist dafür bekannt, dass es einen exzellenten Widerstand gegen Risswachstum zeigt.

[0014] Der niedrigschmelzende Bestandteil der Hartlötpastenproben war Amdry DF-6A, das eine nickelbasierte Legierung mit einer berichteten Zusammensetzung von, bezogen auf das Gewicht, 19 bis 21% Chrom, 2,5 bis 3,5% Tantal, 2,5 bis 3,5% Bor, 0,003 bis 0,005% Yttrium und dem Rest Nickel sowie zufälligen Verunreinigungen ist. Die in der Untersuchung verwendete Zusammensetzung DF-6A hatte eine nominelle Zusammensetzung von, bezogen auf das Gewicht, etwa 19,7% Cr, 3,1% Ta, 3,1% B und 0,001% Y, dem Rest Nickel und zufälligen Verunreinigungen.

[0015] In der anfänglichen Untersuchung wurden acht unterschiedliche Hartlötpasten zubereitet, die verschiedene Kombinationen von DF-6A als der niedrigschmelzende Bestandteil und entweder Mar-M-247 oder Alloy-C-276 als der hochschmelzende Bestandteil enthielten. Diese Legierungsbestandteile wurden in einer Pulverform mit einer Partikelgrösse von -100 +325 mesh (Partikeldurchmesser zwischen 0.044 mm und 0.152 mm) bereitgestellt. Das Gewichtsverhältnis des hoch- zum niedrigschmelzenden Bestandteil wurde von etwa 30:70 bis etwa 60:40 variiert. Der niedrig- und der hochschmelzende Bestandteil wurden mit einem organischen Bindemittel kombiniert, um eine Paste zu bilden, die hinreichend viskos war, um einem Fliesen unter der Schwerkraft zu widerstehen. Der organische Binder war ein polymerisches Gel, das unter dem Namen Vitta Pink von der Vitta Corporation erhältlich ist und etwa 15 Gewichtsprozent der Pasten ausmachte. Jede Pastenprobe wurde auf eine Platte aufgebracht, die aus Hastelloy X ausgebildet war. Die Pastenzusammensetzungen und ihre Anordnungen auf der Platte sind in Fig. 2 schematisch dargestellt.

[0016] Die Platte und ihre Pastenzusammensetzungen wurden anschliessend einem Hartlötzyklus in einem Vakuumofen unterzogen. Der Hartlötzyklus ist in Fig. 3 dargestellt. Die Halteschritte bei 840 °F (etwa 450 °C) und 1900 °F (etwa 1040 °C) wurden durchgeführt, um einen Teileverzug zu verhindern, und das Halten bei 2155 °F (etwa 1180 °C) wurde durchgeführt, um den vollständigen Hartlötliquidus sicherzustellen. Das Halten bei 1975 °F (etwa 1080 °C), das Halten bei 2050 °F (etwa 1120 °C) und das Halten bei 2150 °F (etwa 1175 °C) wurden für den Zweck der Sicherstellung eines vollständigen Hartlötliquidus ohne Verzug durchgeführt. In Folge des Hartlötzyklus wurden die DF-6A-Pulverpartikel geschmolzen, wodurch ein Hartlötelement erzeugt worden ist, bei dem Partikel des höherschmelzenden Bestandteiles (Mar-M-247 oder Alloy-C-276) in einer Matrix verteilt waren, die durch DF-6A gebildet war.

[0017] Nach dem Hartlötzyklus wurde jede resultierende Hartlötverbindung durch Sichtprüfung untersucht und durch optische Mikroskopie hinsichtlich des prozentualen Porositätsanteils ausgewertet. Die Hartlötverbindungen bzw. -elemente, wie sie auf der Hastelloy-X-Platte erschienen, sind in Fig. 4 veranschaulicht, und Querschnitte aller acht Hartlötverbindungen sind in den Fig. 5 und 6 veranschaulicht. Weil ein maximaler Gehalt des hochschmelzenden Bestandteiles die gesamte Hochtemperatureignung der Hartlötverbindung unterstützt, wurden Pastenzusammensetzungen auf der Basis eines maximalen Gehalts des hochschmelzenden Bestandteiles und eines Porositätsniveaus von 10% oder weniger für jeden der bei-

den Sätze von Pastenzusammensetzungen, die entweder Mar-M-247 oder Alloy-C-276 enthielten, ausgewählt. Aufgrund der in der 60/40-Mar-M-247/DF-6A-Probe offensichtlichen Porosität wurde die Probe 50/50 Mar-M-247/DF-6A anfangs als eine optimalere Pastenzusammensetzung ausgewählt, wenn Mar-M-247 als der hochschmelzende Bestandteil verwendet wurde. In ähnlicher Weise gab die in der Probe 50/50 Alloy-C-276/DF-6A ersichtliche Porosität Anlass für die anfängliche Auswahl der Probe 40/60 Alloy-C-276/DF-6A zur weiteren Prüfung von Pastenzusammensetzungen mit Alloy-C-276 als dem hochschmelzenden Bestandteil.

[0018] Hartlötverbindungen bzw. -elemente, die mit den Hartlötpastenzusammensetzungen erzeugt wurden, wurden anschliessend mit einem Schwingungsrissbildungstest bei hoher Lastspielzeit (HCF-Test, high cycle fatigue test) ausgewertet, der mit ASTM E466 auf Walzblechproben aus Hastelloy X (der Dicke von 0,060 bis 0,066 Zoll (etwa 1,5 bis etwa 1,7 mm)) unter Verwendung der Zusammensetzungen 50/50 Mar-M-247/DF-6A und 40/60 Alloy-C-276/DF-6A durchgeführt wurde. Bedingungen für den Test waren 30 Hz, vollständig umgekehrt ($R = -1$; $A = \text{Unendlichkeit}$) bei Spannungswerten im Bereich von etwa 16 bis etwa 52 ksi (etwa 110 bis etwa 360 MPa) und eine Testtemperatur von etwa 1300 °F (etwa 700 °C), um einen typischen fehlerhaften Zustand der Platte zu simulieren. Um in einer Prallplatte vorhandene Effusionskühlöcher zu simulieren, wurden einige HCF-Proben durchbohrt, so dass sie Löcher mit einem Durchmesser von etwa 0,030 Zoll (etwa 0,76 mm) mit Achsen in einem Winkel von etwa 30° in Bezug auf die Ebene der Proben aufwiesen. Zu Vergleichszwecken wurden auch Proben ohne Hartlötelemente sowie mit und ohne Bohrlöcher getestet. Testergebnisse haben belegt, dass die Proben 50/50 Mar-M-247/DF-6A und 40/60 Alloy-C-276/DF-6A eine HCF-Ermüdungslebensdauer zeigen, die wenigstens so gut wie die der Bezugsproben und in einigen Fällen sogar deutlich besser als die der Bezugsproben ist.

[0019] Eine zweite Reihe von Untersuchungen wurde an Prallplatten durchgeführt, die aus Hastelloy X gebildet waren. Die Prallplatten wurden aus dem Betrieb genommen, und ihre Oberflächen wurden mit einem Farbstoff behandelt, um Risse zu lokalisieren und zu charakterisieren, die sich durch die ungefähr 0,092 Zoll (etwa 2,3 mm) betragende Dicke der Platten hindurch erstreckten. Die Platten wurden anschliessend entweder durch eine Reinigung mit atomarem Wasserstoff (AHC, atomic hydrogen cleaning) oder durch Mikrokugelstrahlen gereinigt, um Oxide zu beseitigen. AHC und Mikrokugelstrahlen sind beides allgemein bekannte Methoden zum Entfernen von Oxiden und anderen Verunreinigungen bei relativ geringen Temperaturen. Bei AHC wird atomare Wasserstoffstrahlung dazu verwendet, Oxide in flüchtigere Oxide umzuwandeln. Für die Untersuchung wurde die AHC-Methode bei Temperaturen von etwa 2150 °F (etwa 1180 °C) durchgeführt, und die atomare Wasserstoffstrahlung wurde in Form von sechs einzelnen Impulsen geliefert, die jeweils eine Dauer von etwa einer bis zwei Millisekunden hatten.

[0020] Fig. 7A zeigt eine Hartlötpaste Mar-M-247/DF-6A, die entsprechend der anfänglichen Untersuchung derart zubereitet wurde, dass sie ein Gewichtsverhältnis von Mar-M-247 zu DF-6A von 30:70 hatte. Die Hartlötpaste wurde auf einen schmalen durch die gesamte Dicke durchgehenden Riss in einer Prallplatte aufgebracht. Die Paste ist allgemein in Form eines Flickens veranschaulicht, der von einer flüssigen Hartlötblockier(«sperr»)-Zusammensetzung umgeben ist, die in einem flüssigen Trägermedium suspendierte feine Oxidpartikel enthält. Fig. 7B zeigt eine Paste Mar-M-247/DF-6A, die auf einen relativ weiten durch die Dicke hindurchgehenden Riss in einer zweiten Prallplatte aufgebracht wurde und erneut von einer Sperre umgeben ist. Während der Riss in Fig. 7A eine Weite hatten, die nicht mehr als etwa ein Millimeter betrug, war der Riss in Fig. 7B mehr als ein Millimeter weit. Für den Zweck des Verfüllens des viel grösseren Risses nach Fig. 7B wurde die Paste in zwei Schritten mit zwei unterschiedlichen Pastenzusammensetzungen aufgebracht. Die erste Paste enthielt etwa 85 Gewichtsprozent des Mar-M-247-Pulvers und den Rest Bindemittel und wurde appliziert, um den Riss zu verfüllen, wonach die zweite Paste, die etwa 85 Gewichtsprozent des DF-6A-Pulvers und den Rest Bindemittel enthielt, aufgebracht wurde, um die erste Paste einzukapseln, wodurch ein Hartlötpastenflicken erhalten wurde, der die Hartlöt-pasten Mar-M-247 und DF-6A mit einem Gewichtsverhältnis von etwa 1:1 enthielt. Die Prallplatten wurden anschliessend in einem Vakuumofen platziert und dem gleichen H6artlötzyklus unterzogen, wie er in Fig. 3 dargestellt ist.

[0021] Nach dem Hartlötzyklus wurden die resultierenden Hartlötelemente bzw. -verbindungen optisch untersucht und mittels optischer Mikroskopie ausgewertet. Die Oberseite und Rückseite von einem der Hartlötelemente, das verwendet wurde, um einen schmalen Riss zu reparieren, sind in den Fig. 8A bzw. 8B veranschaulicht, und die Oberseite und Rückseite des Hartlötelementes, das den weiten Riss nach Fig. 7B reparierte, sind in den Fig. 9A bzw. 9B veranschaulicht. Querschnitte von einem der schmalen Risse und einem der weiten Risse, die in der Untersuchung repariert wurden, sind in den Fig. 10 bzw. 11 veranschaulicht. Beide Bilder nach Fig. 10 und 11 beweisen die Fähigkeit der Mar-M-247/DF-6A-Pastenzusammensetzung zur Reparatur durch die Dicke hindurchgehender Risse in dünnwandigen Prallplatten, die aus Hastelloy X erzeugt sind. Wie aus diesen Bildern ersichtlich, schmelzten die DF-6A-Pulverpartikel während des Hartlötzyklus unter Ausbildung einer Hartlötverbindung, die durch eine sehr geringe Porosität (von weniger als 10%) gekennzeichnet ist und eine Feinverteilung von Partikeln des höherschmelzenden Mar-M-247-Pulvers enthält.

[0022] Die durch den atomaren Wasserstoffreinigungsvorgang gereinigten Prallplatten in der früheren Untersuchung wurden anschliessend weiter ausgewertet, um die Effektivität der AHC-Methode zu beurteilen. Vergleiche zwischen Prallplatten, die mit einem einzigen Impuls und mit mehreren Impulsen von Wasserstoffionen behandelt wurden, zeigten, dass ein einziger Impuls im Allgemeinen unzureichend war, um Oxide aus den zu verlötenden Oberflächen zu beseitigen, und zu einer unzureichenden Bindung des Hartlötelementes an dem Basismetall der reparierten Komponente führen könnte.

[0023] Aus den vorstehend beschriebenen Untersuchungen lässt sich annehmen, dass ein besonders bevorzugtes, jedoch nicht beschränkendes Verfahren zum Reparieren und Löten einer Prallplatte die folgenden Schritte nach sich zieht. Nach einer Kaltbearbeitung und Richtung grober Defekte, die einen zu reparierenden Riss umgeben, wird die Prallplatte

mit einem geeigneten Farbmittel behandelt, um Risse zu identifizieren. Die Platte wird anschliessend einer Reinigung unterzogen, wie beispielsweise mit einem Dampfbad, Wasserbad, Dampfdruck etc., gefolgt von Mikrokugelstrahlen und anschliessender Reinigung mit atomarem Wasserstoff bei etwa 2150 °F (etwa 1175 °C) durch die Anwendung von sechs Impulsen, von denen jeder eine Dauer von etwa einer bis zwei Millisekunden aufweist. Die Hartlötpaste wird vorzugsweise als ein Gemisch von DF-6A und entweder Mar-M-247 oder Alloy-C-276 oder in dem Fall von Reparaturen grösserer Risse gesonderter Pasten zubereitet, von denen eine DF-6A enthält, während die andere entweder Mar-M-247 oder Alloy-C-276 enthält. Angesichts der vorstehend dargelegten Ergebnisse kann in dem Fall, dass die Hartlötpaste ein Gemisch aus Mar-M-247- und DF-6A-Legierungspulvern ist, das Mar-M-247-Pulver eine Partikelgrösse von etwa -100+ 325 mesh (Partikeldurchmesser zwischen 0.044 mm und 0.152 mm) aufweisen, und es kann von 30 bis 70 Gewichtsprozent, bevorzugterweise etwa 40 bis weniger als 60 Gewichtsprozent, zum Beispiel etwa 50 Gewichtsprozent, des Legierungspulvergemisches innerhalb der Hartlötpaste bilden, wobei der Rest des Legierungspulvergemisches das DF-6A-Pulver ist, das ebenfalls eine Partikelgrösse von etwa -100+ 325 mesh (Partikeldurchmesser zwischen 0.044 mm und 0.152 mm) aufweisen kann. Falls die Hartlötpaste ein Gemisch aus Alloy-C-276- und DF-6A-Legierungspulvern ist, kann das Alloy-C-276-Pulver eine Partikelgrösse von etwa -100 + 325 mesh (Partikeldurchmesser zwischen 0.044 mm und 0.152 mm) aufweisen und kann von 30 bis 70 Gewichtsprozent, bevorzugterweise etwa 40 bis weniger als 50 Gewichtsprozent, zum Beispiel etwa 45 Gewichtsprozent, des Legierungspulvergemisches innerhalb der Hartlötpaste bilden, wobei der Rest des Legierungspulvergemisches das DF-6A-Pulver ist, das ebenfalls eine Partikelgrösse von etwa -100 + 325 mesh (Partikeldurchmesser zwischen 0.044 mm und 0.152 mm) haben kann. In dem Fall von Reparaturen grösserer Risse, die allgemein Weiten von mehr als einem Millimeter aufweisen, können gesonderte Hartlötlegierungspasten aus den Legierungspulvern DF-6A und entweder Mar-M-247 oder Alloy-C-276 zubereitet werden. Jede Paste kann etwa 15 Gewichtsprozent eines geeigneten organischen Bindemittels, wie beispielsweise des vorerwähnten Bindemittels Vitta Pink, enthalten, obgleich geringere oder höhere Bindemittelgehalte vorgesehen und verwendet werden können. Es wird angenommen, dass geeignete Zusammensetzungen für Mar-M-247, Alloy-C-276 und DF-6A die vorstehend erwähnten berichteten Zusammensetzungen für diese Legierungen sind, obwohl kleinere Modifikationen oder Variationen ausserhalb dieser Bereiche ebenfalls vorgesehen werden können.

[0024] Die Hartlötpaste oder -pasten werden anschliessend angewandt, und, falls dies erwünscht ist, mit einer Sperre umgeben, um das Fliessen des verflüssigten Hartlötmaterials während des Hartlötzyklus zu begrenzen. Falls die Hartlötpaste ein Gemisch aus den Legierungspulvern DF-6A und entweder Mar-M-247 oder Alloy-C-276 enthält, kann die Paste wahlweise auf lediglich den Riss und die unmittelbar benachbarten Oberflächenbereiche der Komponente aufgebracht werden. In dem Fall grösserer Rissreparaturen wird die Hartlötpaste Mar-M-247 oder Alloy-C-276 vorzugsweise zunächst aufgebracht, und sie füllt den Riss, während sie anschliessend mit der DF-6A-Hartlötpaste verkapselt wird, um einen Hartlötpastenflicken zu ergeben, der 30 bis 70 Gewichtsprozent, bevorzugterweise etwa 40 bis etwa 60 Gewichtsprozent der Mar-M-247- oder Alloy-C-276-Hartlötpaste, zum Beispiel etwa 50 Gewichtsprozent der Mar-M-247- oder Alloy-C-276-Hartlötpaste, enthält, wobei der Rest die DF-6A-Hartlötpaste ist. Der Hartlötzyklus ist vorzugsweise, wie in Fig. 3 veranschaulicht, obwohl es vorgesehen werden kann, dass andere Hartlötzyklen angepasst und verwendet werden könnten. Nach dem Hartlötvorgang werden die durch Hartlöten reparierten Oberflächen vorzugsweise einer Endbearbeitung (einem Finishing) unterzogen, um die Hartlötelemente an die umgebenden Oberflächen anzugleichen und entsprechend diesen zu profilieren. In dem Fall von Prallplatten mit Kühlöchern werden alle Löcher, die durch den Hartlötprozess verschlossen wurden, zum Beispiel durch elektroerosive Bearbeitung (EDM, electrical-discharge machining) oder mit einem Wasserstrahl oder Laser, vorzugsweise wieder geöffnet.

[0025] Während die Erfindung anhand bestimmter Ausführungsformen beschrieben worden ist, ist es offensichtlich, dass durch einen Fachmann auf dem Gebiet andere Formen eingesetzt werden könnten. Während zum Beispiel die Ausführungsformen anhand von Beispielen beschrieben sind, in denen die reparierte Komponente eine Prallplatte für eine Brennkammer einer Gasturbinenmaschine war, wird angenommen, dass die Hartlötpaste und das Hartlötverfahren auch zur Reparatur anderer Komponenten und insbesondere von Komponenten anwendbar sind, die aus Legierungen auf Nickelbasis ausgebildet sind und einen oder mehrere durch die Dicke hindurchgehende Risse in relativ dünnwandigen Abschnitten aufweisen. Folglich ist der Umfang der Erfindung lediglich durch die folgenden Ansprüche beschränkt.

[0026] Es sind ein Verfahren und eine Hartlötpaste offenbart, die sich zum Verfüllen und Verschliessen von Lücken in relativ dünnwandigen Abschnitten von Hochtemperaturkomponenten, wie beispielsweise einer Prallplatte einer Brennkammer einer Gasturbinenmaschine, eignen. Das Verfahren umfasst das Aufbringen wenigstens einer ersten Hartlötpaste auf den Riss, um einen Hartlötpastenflicken zu bilden, der Pulver aus einer ersten und einer zweiten Legierung und einem organischen Bindemittel aufweist. Die erste Legierung weist eine höhere Schmelztemperatur als die zweite Legierung auf, und die Pulver aus der ersten und der zweiten Legierung sind in dem Hartlötpastenflicken in einem Gewichtsverhältnis von etwa 30:70 bis etwa 70:30 Gewichtsprozent vorhanden. Der Hartlötpastenflicken wird anschliessend erhitzt, um das Bindemittel abzubrennen und wenigstens das Pulver aus der zweiten Legierung zu schmelzen, um ein Hartlötelement innerhalb des Risses zu bilden, das Partikel aus der ersten Legierung enthält, die in einer durch die zweite Legierung gebildeten Matrix verteilt sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Reparieren einer Komponente, die aus einer nickelbasierten Legierung ausgebildet ist, wobei das Verfahren aufweist:
 Aufbringen wenigstens einer ersten Hartlötpaste auf eine Lücke in der Komponente, um einen Hartlötpastenflicken zu bilden, der Pulver aus einer ersten und einer zweiten Legierung und einem organischen Bindemittel aufweist, wobei die erste Legierung eine höhere Schmelztemperatur als die zweite Legierung aufweist, wobei die Pulver aus der ersten und der zweiten Legierung in dem Hartlötpastenflicken in einem Gewichtsverhältnis von 30:70 bis 70:30 Gewichtsprozent vorhanden sind, wobei die erste Legierung entweder eine nickelbasierte Legierung, die, bezogen auf das Gewicht, aus 15,0 bis 17,0% Molybdän, 14,5 bis 16,5% Chrom, 4,0 bis 7,0% Eisen, 3,0 bis 4,5% Wolfram, bis zu 2,5% Kobalt, dem Rest Nickel und zufälligen Verunreinigungen besteht, oder eine Gamma-Strich-verfestigte nickelbasierte Legierung ist, die, bezogen auf das Gewicht, aus 9 bis 11% Kobalt, 7 bis 9% Chrom, 9 bis 11% Wolfram, 2,5 bis 3,5% Tantal, 5 bis 6% Aluminium, 0,5 bis 1,5% Titan, 0,6 bis 0,8% Molybdän, 1,3 bis 1,7% Hafnium, 0,03 bis 0,08% Zirkonium, 0,01 bis 0,02% Bor, 0,13 bis 0,17% Kohlenstoff, dem Rest Nickel und zufälligen Verunreinigungen besteht, und die zweite Legierung eine Nickellegierung ist, die, bezogen auf das Gewicht, aus 19 bis 21% Chrom, 2,5 bis 3,5% Tantal, 2,5 bis 3,5% Bor, 0,003 bis 0,005% Yttrium und dem Rest Nickel und zufälligen Verunreinigungen besteht; und danach Erhitzen des Hartlötpastenflickens, um das Bindemittel abzubrennen und wenigstens das Pulver aus der zweiten Legierung zu schmelzen, um ein Hartlötelement innerhalb der Lücke zu bilden, das Partikel aus der ersten Legierung enthält, die in einer Matrix verteilt sind, die durch die zweite Legierung gebildet ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lücke ein durch die Dicke hindurchgehender Riss in einem Wandabschnitt der Komponente ist und der Wandabschnitt eine Dicke von bis zu 2,5 Millimeter aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Legierungspulver, bezogen auf das Gewicht, aus 15,0 bis 17,0% Molybdän, 14,5 bis 16,5% Chrom, 4,0 bis 7,0% Eisen, 3,0 bis 4,5% Wolfram, bis zu 2,5% Kobalt, dem Rest Nickel und zufälligen Verunreinigungen besteht.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulver aus der ersten und der zweiten Legierung in dem Hartlötpastenflicken in einem Gewichtsverhältnis von 40:60 bis 50:50 Gewichtsprozent vorliegen.
5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Legierungspulver aus, bezogen auf das Gewicht, 9 bis 11% Kobalt, 7 bis 9% Chrom, 9 bis 11% Wolfram, 2,5 bis 3,5% Tantal, 5 bis 6% Aluminium, 0,5 bis 1,5% Titan, 0,6 bis 0,8% Molybdän, 1,3 bis 1,7% Hafnium, 0,03 bis 0,08% Zirkonium, 0,01 bis 0,02% Bor, 0,13 bis 0,17% Kohlenstoff, dem Rest Nickel und zufälligen Verunreinigungen besteht.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulver aus der ersten und der zweiten Legierung in dem Hartlötpastenflicken in einem Gewichtsverhältnis von 40:60 bis 60:40 Gewichtsprozent vorhanden sind.
7. Verfahren nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulver aus der ersten und der zweiten Legierung miteinander vermischt und mit dem Bindemittel kombiniert werden, um die erste Hartlötpaste zu bilden, die auf die Lücke aufgebracht wird, um den Hartlötpastenflicken zu bilden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Lücke eine Weite von bis zu einem Millimeter aufweist.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Pulver aus der ersten Legierung verarbeitet wird, um die erste Hartlötpaste zu bilden, das Pulver aus der zweiten Legierung verarbeitet wird, um eine zweite Hartlötpaste zu bilden, die erste Hartlötpaste auf die Lücke aufgebracht wird und die zweite Hartlötpaste über die erste Hartlötpaste aufgebracht wird, um den Hartlötpastenflicken zu bilden, und dadurch gekennzeichnet, dass die Lücke eine Weite von mehr als einem Millimeter aufweist.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Komponente eine Prallplatte für eine Brennkammer einer Gasturbinenmaschine ist.

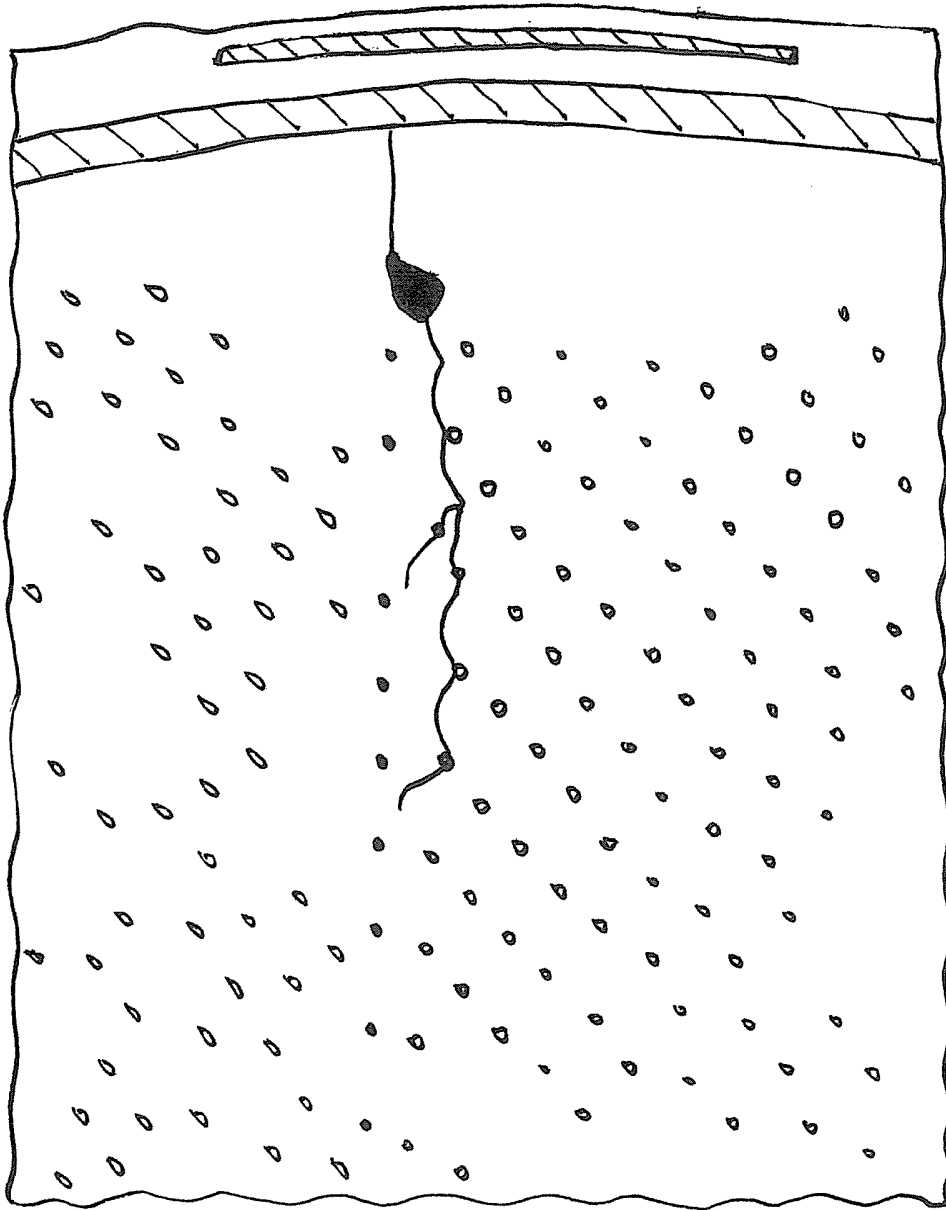


FIG. 1

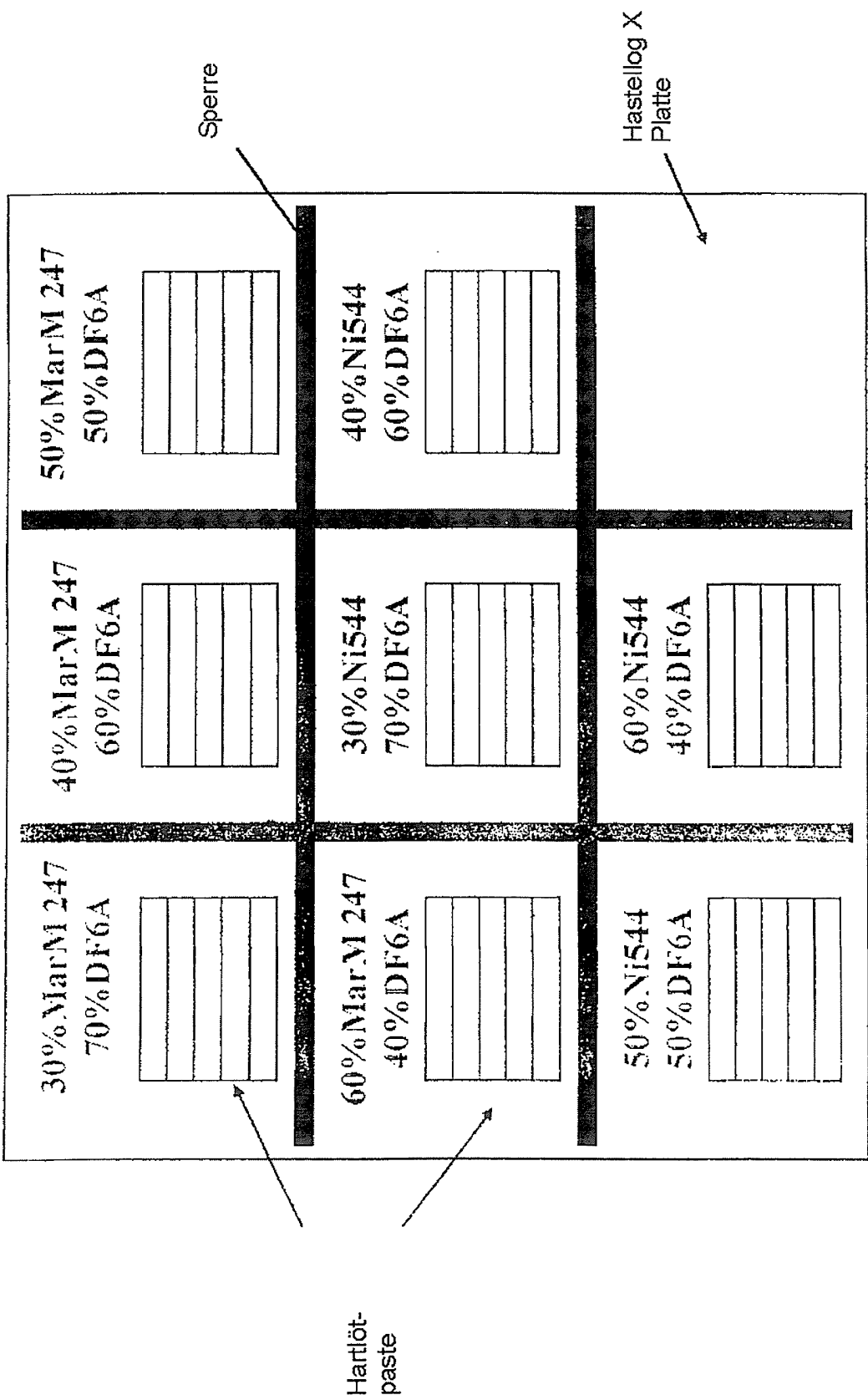


FIG. 2

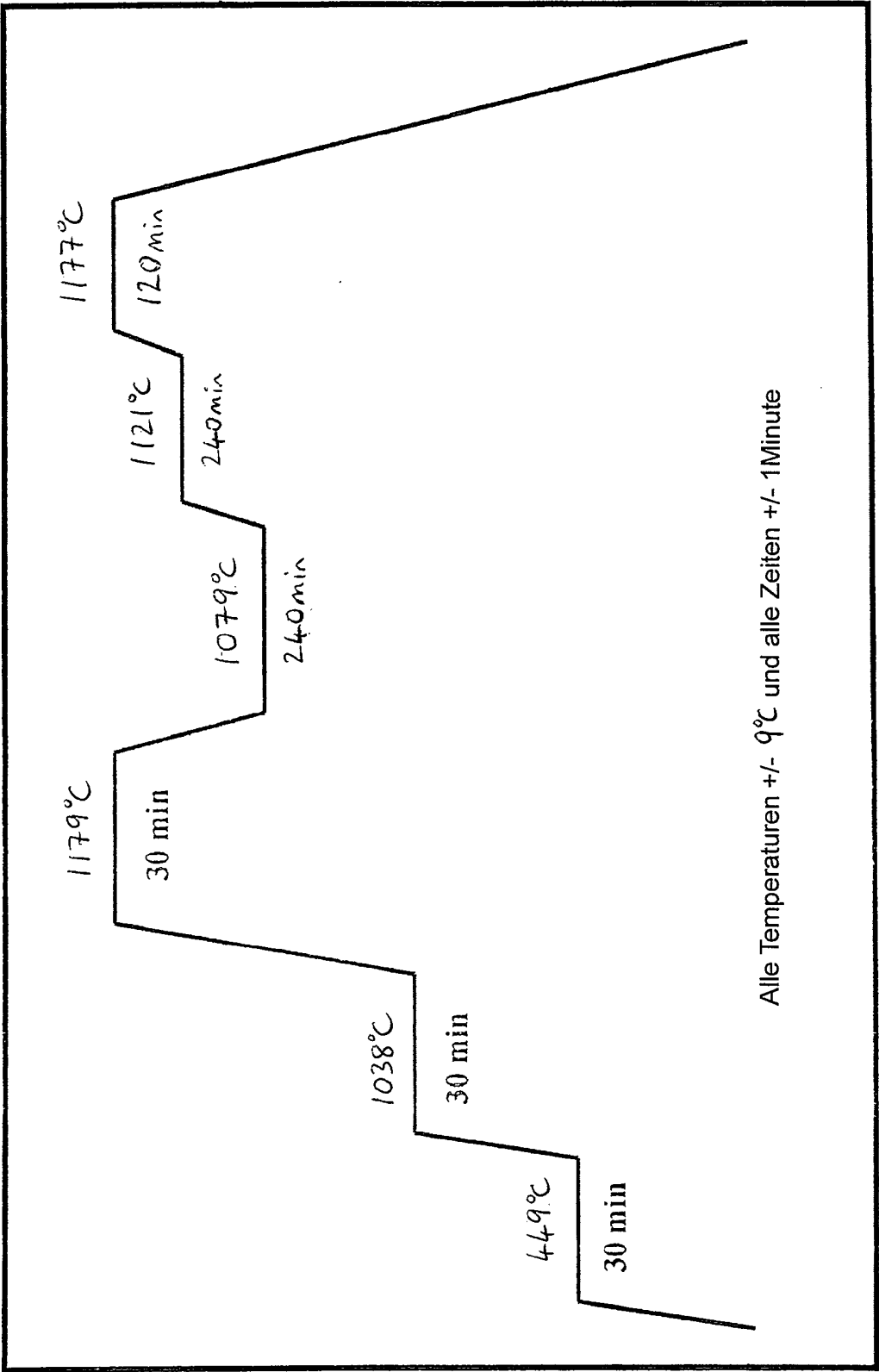


FIG. 3

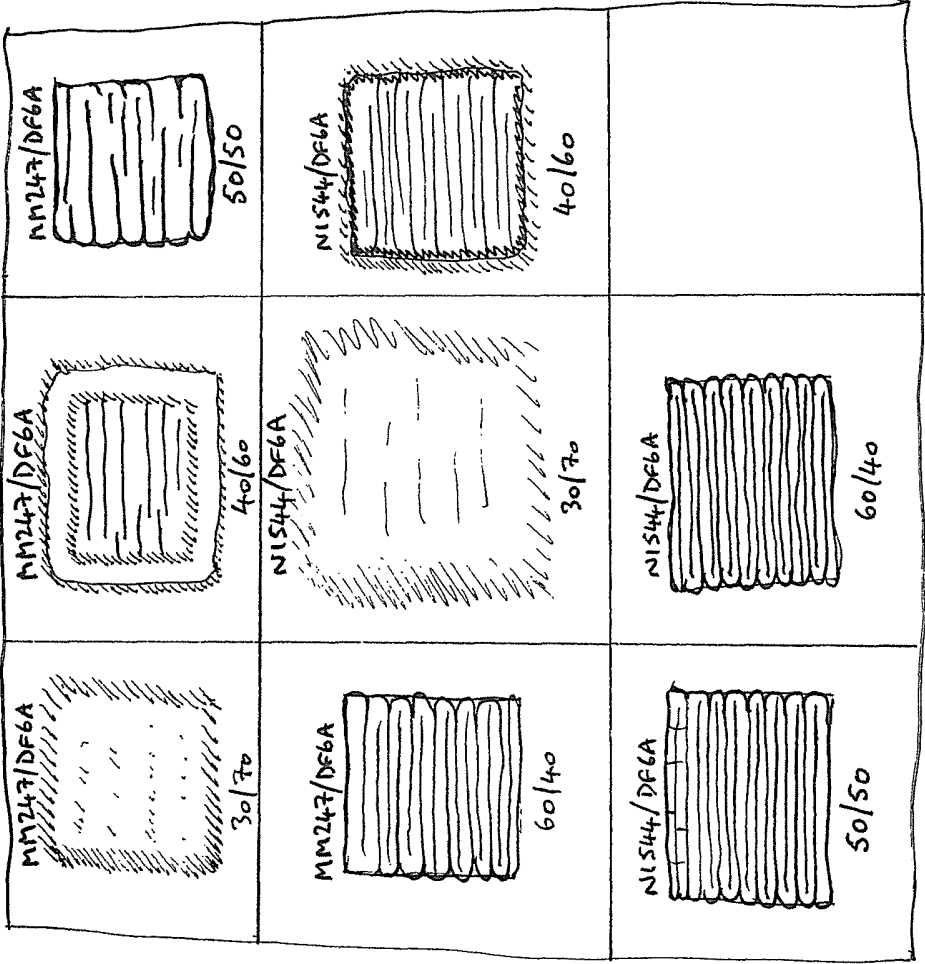


FIG. 4

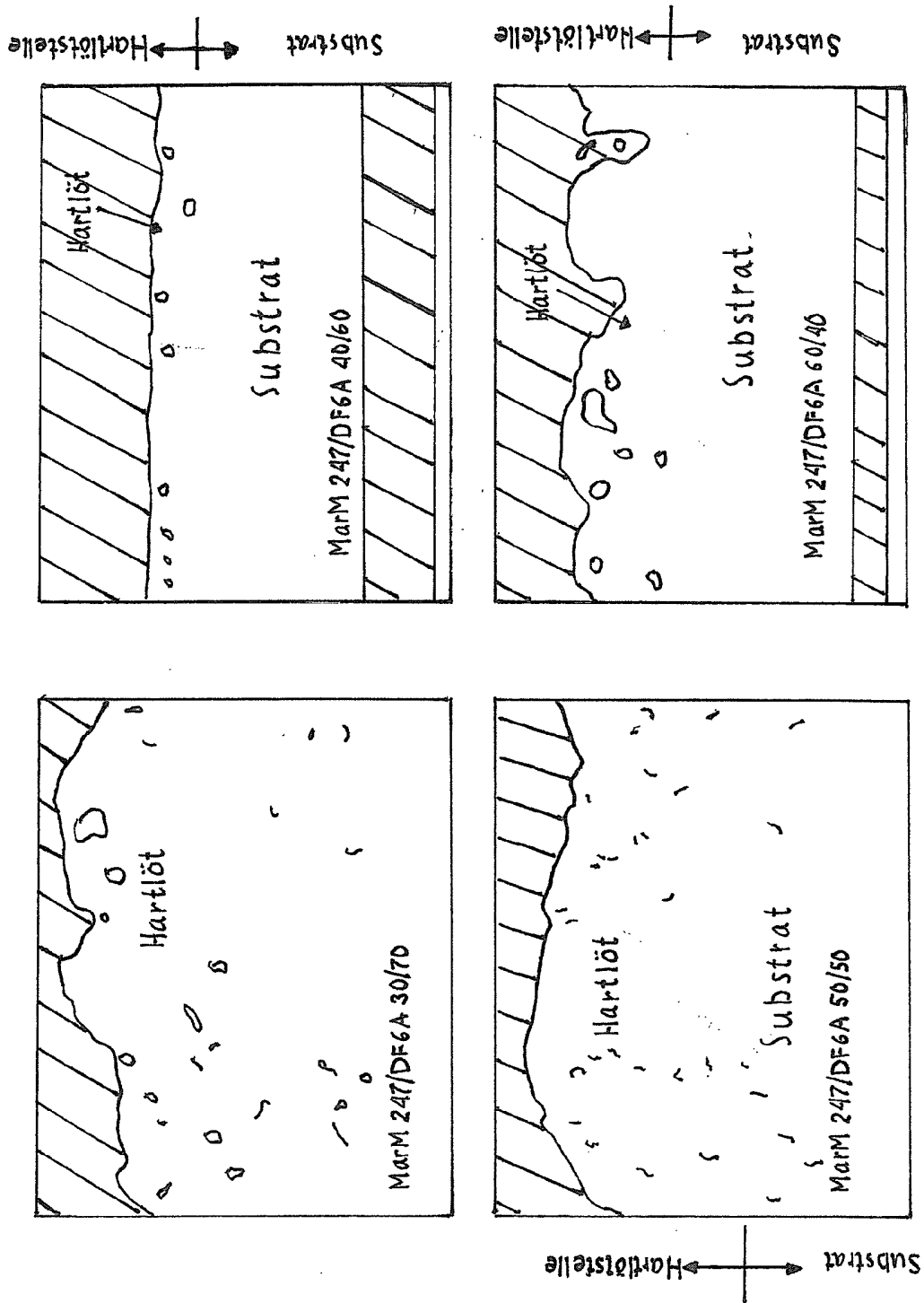


FIG. 5

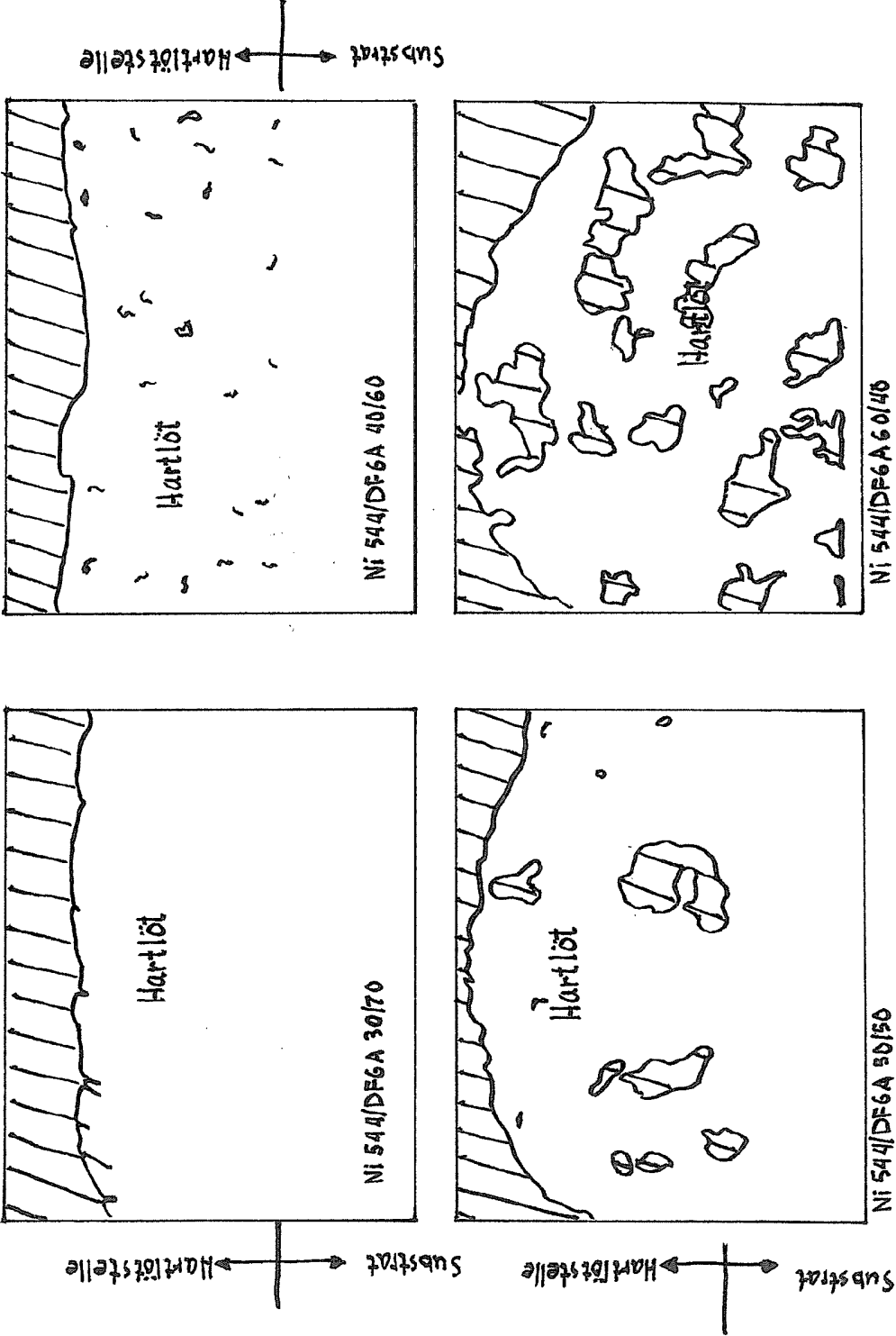


FIG. 6

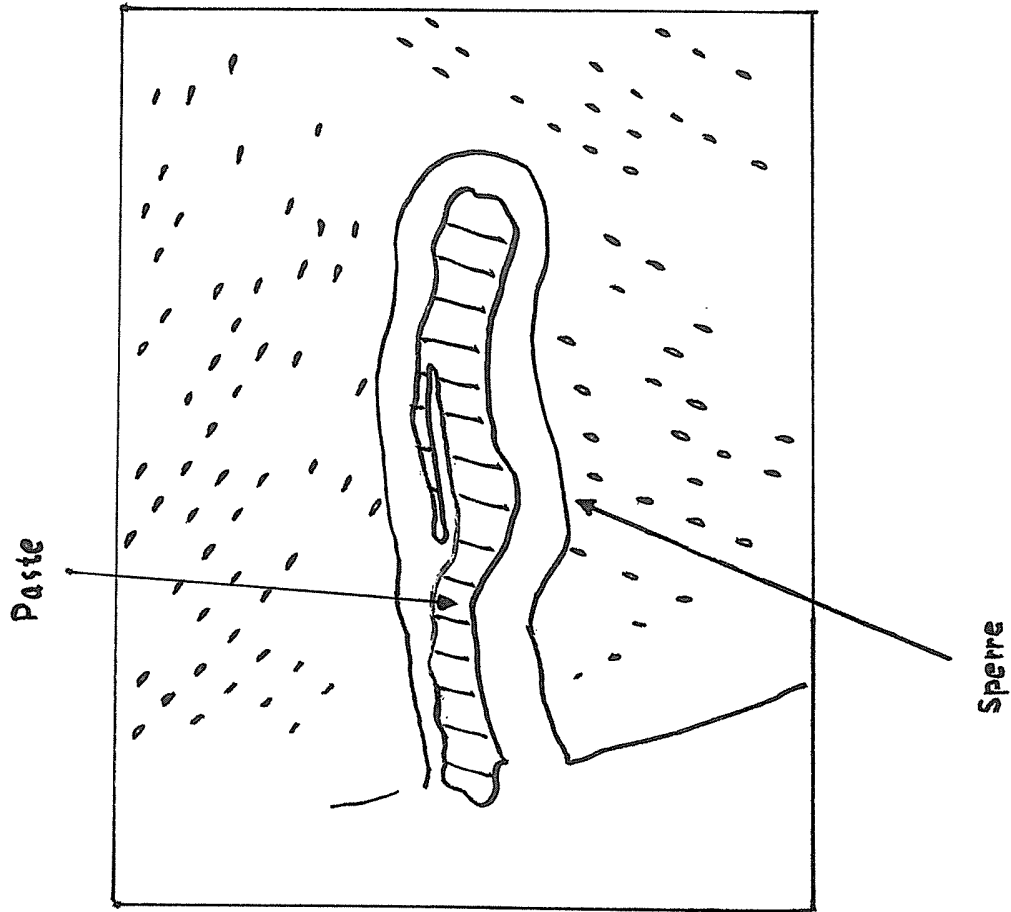


FIG. 7A

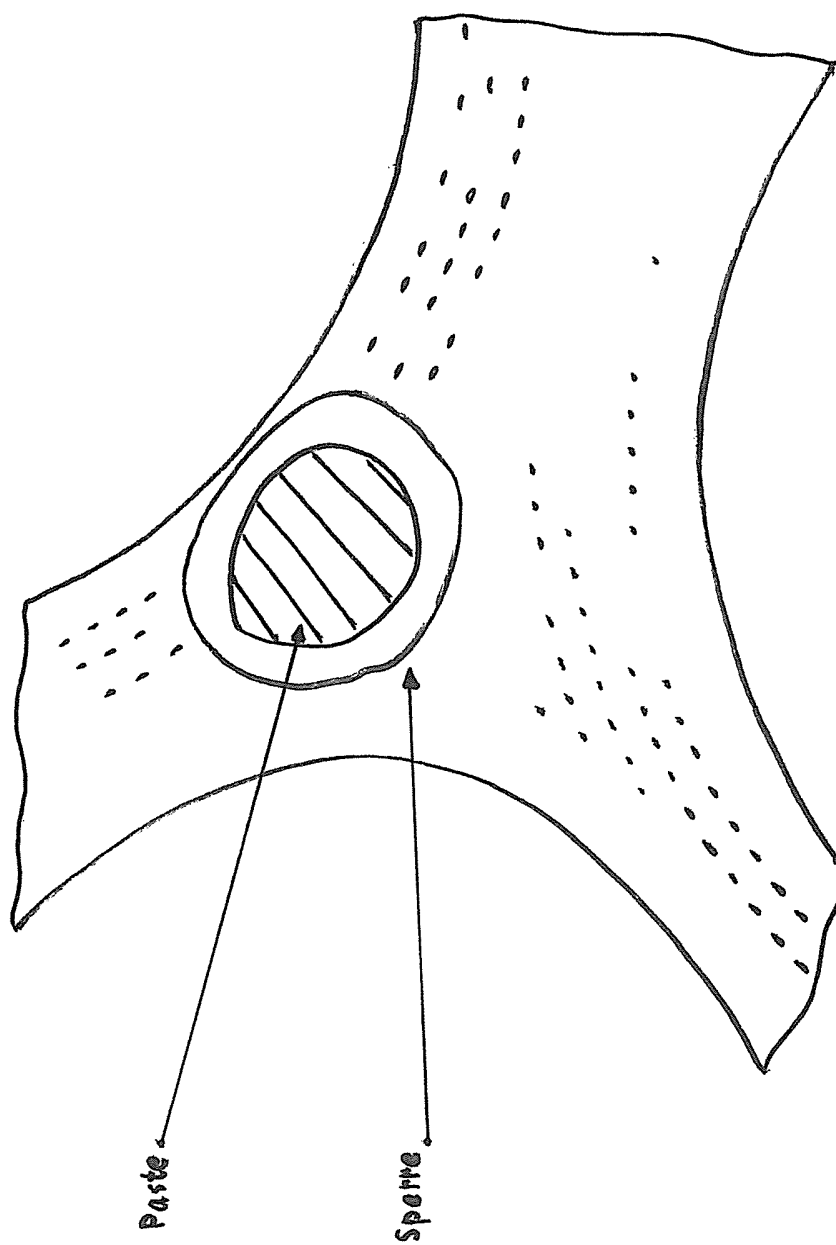


FIG. 7B

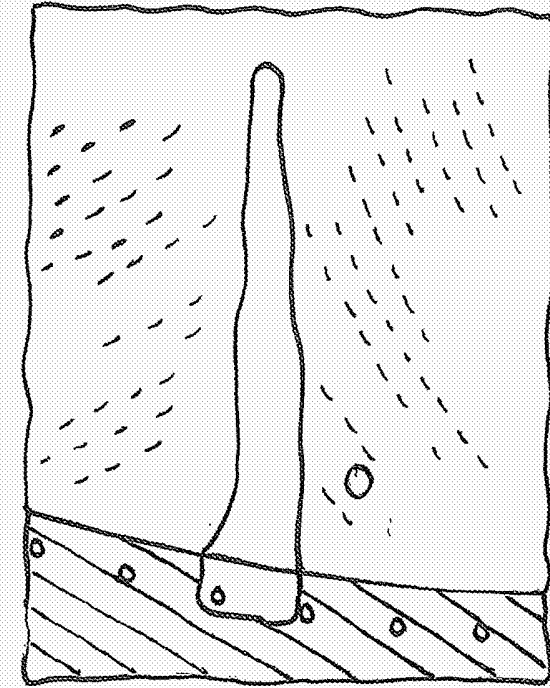


FIG. 8B

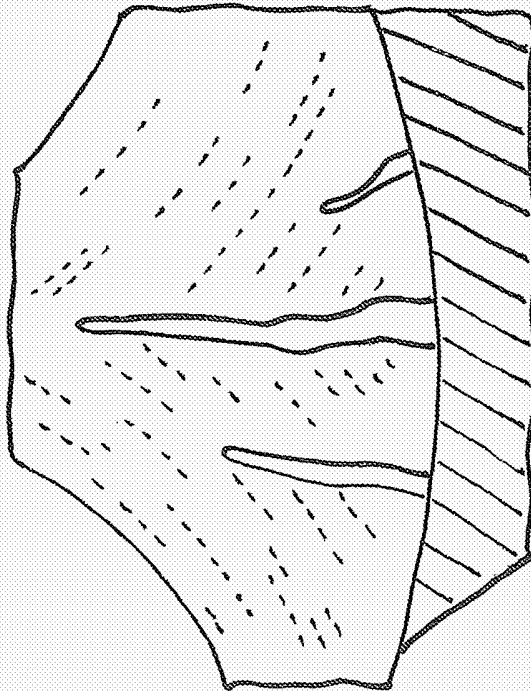


FIG. 8A

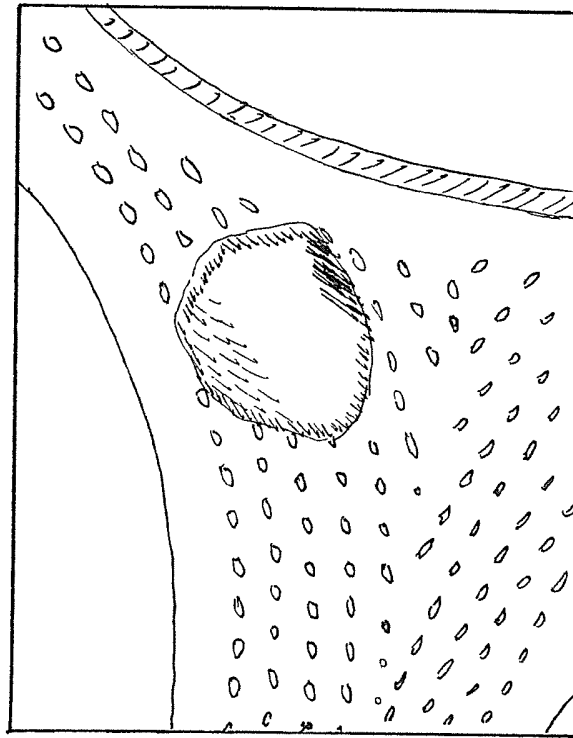


FIG. 9B

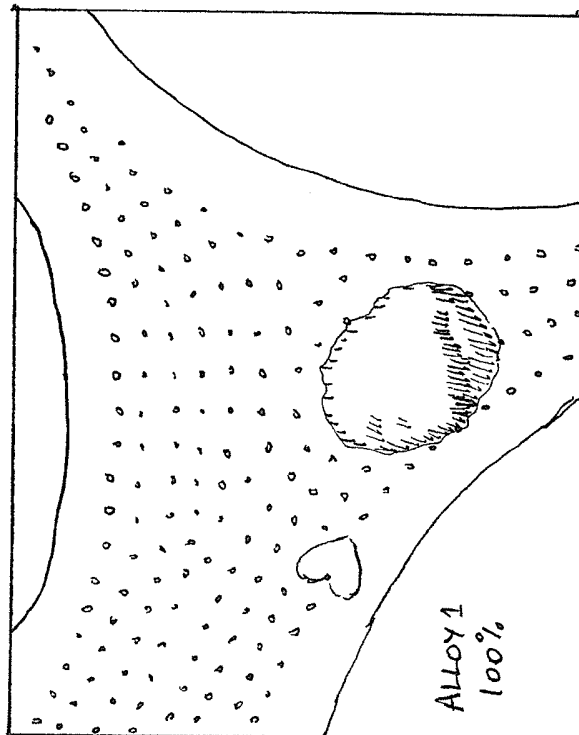


FIG. 9A

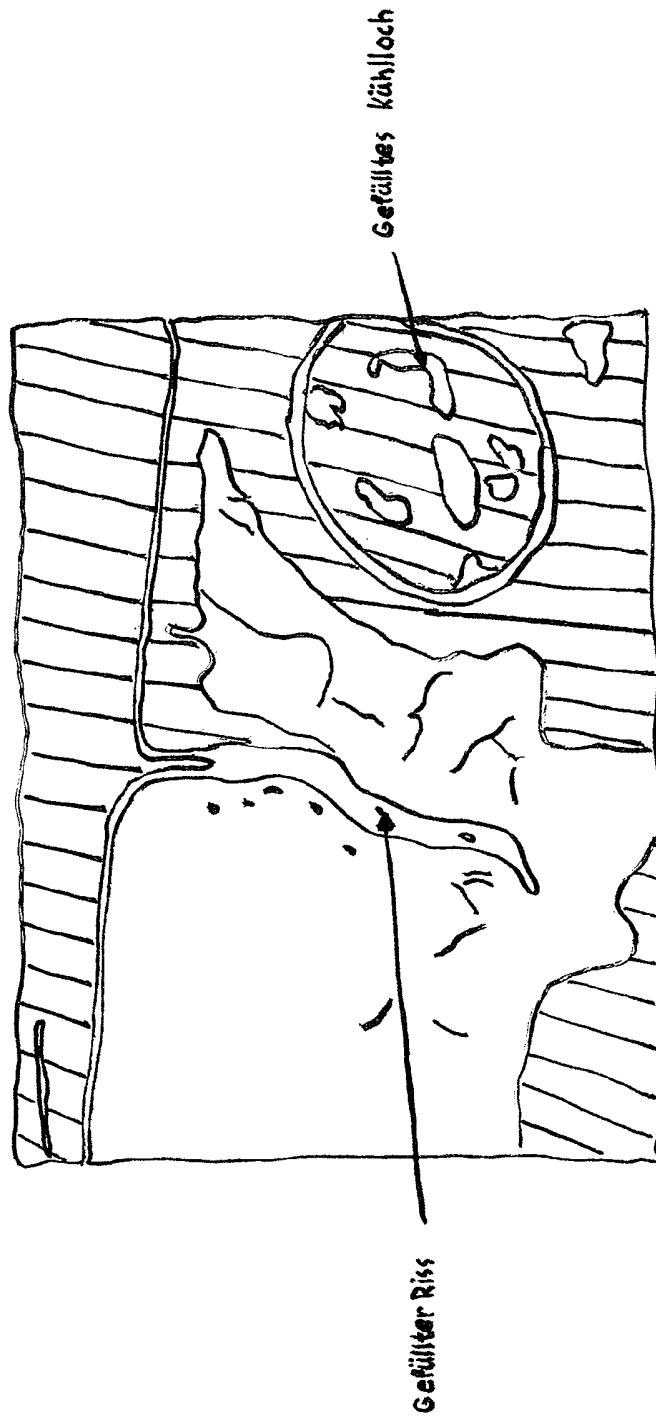


FIG. 10

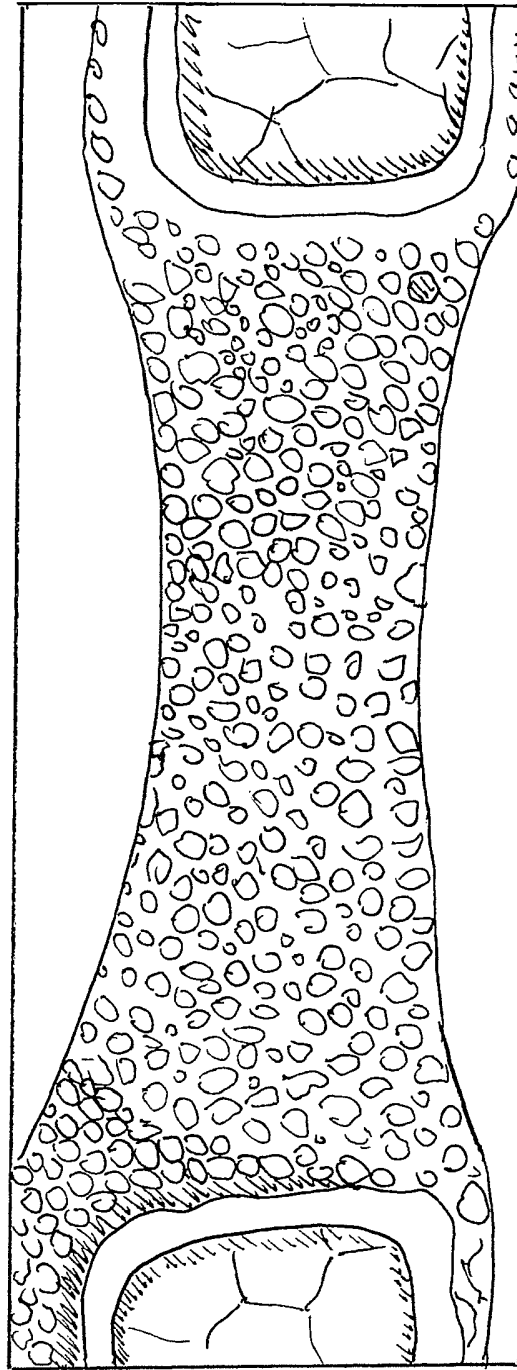


FIG. 11