



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 658 816 A5

⑤① Int. Cl. 4: B 23 K 20/08
B 21 D 53/02
B 23 P 15/26

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENT SCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 7460/82

㉔ Anmeldungsdatum: 21.12.1982

㉓ Priorität(en): 21.12.1981 US 332924

㉒ Patent erteilt: 15.12.1986

㉑ Patentschrift
veröffentlicht: 15.12.1986

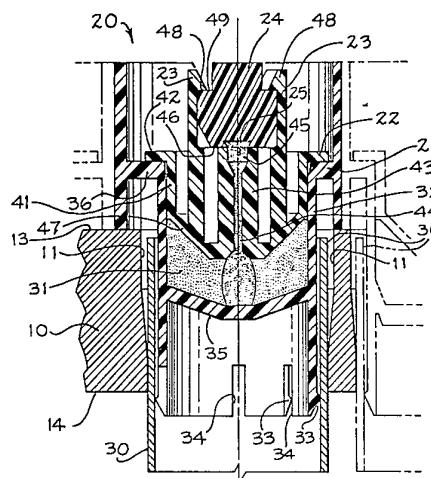
㉒ Inhaber:
Electric Power Research Institute, Inc., Palo
Alto/CA (US)

㉒ Erfinder:
Baird, Richard H., Santa Cruz/CA (US)
Blechar, Theodore J., Santa Cruz/CA (US)
Giladett, Leo V. B., Santa Cruz/CA (US)
Horner, Reginald M., Watsonville/CA (US)
Prouty, Gerald G., Santa Cruz/CA (US)
Rinde, David L., Boulder Creek/CA (US)

㉒ Vertreter:
Bovard AG, Bern 25

⑤④ **Verfahren und Einrichtung zum Bonden einer Anzahl Metallrohre mit einer metallischen Rohrplatte.**

⑤⑦ Das Verbinden von in Bohrungen (11) in einer Rohrplatte (10) eingesetzten Metallrohren (30) mit der Rohrplatte erfolgt durch Detonation einer Explosivladung (31), die im Innern des Rohres benachbart zur Frontseite (13) der Rohrplatte angeordnet wurde. Diese Ladung (31) besteht aus Nitroguanidin und befindet sich in einem taschenförmigen Teil (21) und einen Kopfteil (22) aufweisenden Behälter. Der taschenförmige Teil (21) umschliesst die Explosivladung (31) und dient zum Positionieren derselben im Rohr (30). Der Kopfteil (22) befindet sich oberhalb der Explosivladung und enthält eine Übertragungsladung (44) sowie eine Zündladung (45) zum Einleiten der Detonation der Explosivladung (31). Zum Einleiten der Zündung der Zündladungen (45) in den in Reihen angeordneten Rohren sind Zündschienen (24) und eine Zündungseinleitungsschiene vorhanden. Jede Zündschiene (24) wird durch die Kopfteile (22) der Behälter gehalten, damit eine an ihr befestigte lineare Ladung (25) die Zündladungen (45) nacheinander einzeln zündet. Die Zündungseinleitungsschiene verläuft quer zu den Zündschienen (24), damit eine an ihr befestigte lineare Zündungseinleitungsladung jede der linearen Ladungen (25) der Zündschienen (24) nacheinander zündet. Auf diese Weise wird das gleichzeitige Detonieren von Explosivladungen in benachbarten Rohren vermieden.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Bonden einer Anzahl Metallrohre mit einer metallischen Rohrplatte, wobei jedes Rohr in je einer von einer Anzahl Bohrungen in der Rohrplatte angeordnet ist, gekennzeichnet durch

a) Einführen je eines Sprengkörpers (20) in jedes Rohr (30), wobei jeder Sprengkörper eine in einem Behälter (21) untergebrachte explosive Ladung (31) aufweist, jeder Behälter so in das zugeordnete Rohr eingesetzt wird, dass sich die explosive Ladung im wesentlichen innerhalb des Rohrendes befindet, das benachbart zur Frontseite (13) der Rohrplatte (10) angeordnet ist, wobei sich die explosive Ladung (31) grösstenteils unterhalb der Frontseite (13) der Rohrplatte (10) befindet und der Behälter (21) zum Formen der explosiven Ladung (31) so ausgebildet ist, dass die teilweise aus dem Rohr (30) herausragende Stirnfläche der explosiven Ladung (31) im wesentlichen konkav ist, damit die durch die Detonation der explosiven Ladung erzeugten Kräfte eine metallurgische Verbindung zwischen einem Teil der Aussenfläche des Rohres und der diesen Teil umgebenden Innenfläche der entsprechenden Bohrung (11) bewirken, und

b) Einleiten der Detonation der genannten explosiven Ladungen in einer Weise, dass die explosiven Ladungen in den Rohren gemäss einem zeitlichen Muster detonieren, damit das gleichzeitige Detonieren von explosiven Ladungen in benachbarten Rohren weitgehend ausgeschlossen ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Detonieren der explosiven Ladungen in den Sprengkörpern wie folgt eingeleitet wird:

a) durch Anbringen einer ersten Zündschiene (24) an die in eine erste Reihe von den Rohren eingesetzten Sprengkörpern, wobei eine erste lineare explosive Ladung an der ersten Zündschiene angebracht ist, die erste lineare Ladung durch die erste Zündschiene so gehalten wird, dass Mittel zum Einleiten der Detonation der explosiven Ladung in den eingesetzten Sprengkörpern nacheinander längs der ersten linearen Ladung aktiviert werden und

b) durch Anbringen einer zweiten Zündschiene (24) an die in einer zweiten Reihe von den Rohren eingesetzten Sprengkörper, wobei eine zweite lineare explosive Ladung an der zweiten Zündschiene angebracht ist, die zweite lineare Ladung durch die zweite Zündschiene so gehalten wird, dass Mittel (25) zum Einleiten der Detonation der explosiven Ladung von den in der zweiten Reihe von den Rohren eingesetzten Sprengkörper aufeinanderfolgend längs der zweiten linearen Ladung aktiviert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite lineare Ladung zu unterschiedlichen Zeiten gezündet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündung der ersten und der zweiten linearen Ladung erfolgt durch

a) Anbringen einer Zündungseinleitungsschiene (27) an der ersten und zweiten Zündschiene (24), an der Zündungseinleitungsschiene ist eine lineare Zündungseinleitungsladung angebracht, die so angeordnet ist, dass Mittel (53) zum aufeinanderfolgenden Zünden der ersten und zweiten linearen Ladung entlang der Zündungseinleitungsladung aktiviert werden und

b) Zünden der Zündungseinleitungsladung.

5. Einrichtung zum Durchführen des Verfahrens nach Patentanspruch 1, gekennzeichnet durch

a) eine Anzahl Sprengkörper (20), von denen jeder in eines der Rohre (30) einführbar ist und jeder eine in einem Behälter (21) untergebrachte explosive Ladung (31) aufweist, wobei der Behälter so ausgebildet ist, dass sich die explosive Ladung bei in das Rohr eingesetztem Sprengkörper benachbart zur Frontseite (13) der Rohrplatte (10) im wesentlichen

innerhalb des Rohres und unterhalb der Frontseite (13) der Rohrplatte (10) befindet, und dass der Behälter (21) zum Formen der explosiven Ladung (31) so ausgebildet ist, dass die teilweise aus dem Rohr (30) herausragende Stirnfläche der explosiven Ladung (31) im wesentlichen konkav ist, so dass die bei der Detonation der durch den Behälter (21) geformten und positionierten explosiven Ladung frei werdenden Kräfte eine metallurgische Verbindung zwischen einem Aussenflächenteil des Rohres und dem diesen Teil umgebenden Innenflächenteil der Bohrung erzeugen, der Behälter Mittel (44) zum Einleiten der Detonation der explosiven Ladung enthält und

b) Mittel (24, 25, 26, 27) zum Aktivieren der genannten Mittel zum Einleiten der Detonation der explosiven Ladung in jedem Sprengkörper, wobei die Aktivierungsmittel bewirken, dass die Detonationen der explosiven Ladungen in den Rohren gemäss einem zeitlich festgelegten Plan erfolgen, so dass das gleichzeitige Detonieren von explosiven Ladungen in benachbarten Rohren weitgehend ausgeschlossen ist.

6. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Behälter einen tassenförmigen Teil (21) zur Aufnahme der explosiven Ladung und einen Kopfteil (22) zur Aufnahme der Mittel (44) zum Einleiten der Detonation der explosiven Ladung umfasst, dass der tassenförmige Teil einen hohlen kreiszylindrischen Teil (32) zum Einsetzen in eines der Rohre (30) und einen Verschluss (35) aufweist, der sich zum Formen eines Behälterbereiches für die explosive Ladung quer durch den kreiszylindrischen Teil erstreckt, dass der tassenförmige Teil (21) eine sich radial vom kreiszylindrischen Teil nach aussen erstreckenden Flanschen (41) und ein daran angeordnetes Abstandsglied (37) enthält, dass das Abstandsglied an der Frontseite (13) der Rohrplatte (10) anliegt, wenn der kreiszylindrische Teil (32) in das Rohr eingesetzt ist, dass das Abstandsglied so ausgebildet ist, dass beim in das Rohr eingesetzten kreiszylindrischen Teil der Verschluss (35) die durch die genannte Frontseite (13) gebildete Ebene durchstösst, damit die explosive Ladung sich im Bereich der genannten Frontseite befindet, und dass der Kopfteil (22) sich oberhalb der explosiven Ladung befindet und mit dem tassenförmigen Teil (21) verbunden ist.

7. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zum Einleiten der Detonation der explosiven Ladung mehrere Zündschienen (24) umfassen, wobei je eine dieser Zündschienen an den Sprengkörpern, die in den in einer Reihe angeordneten Rohren eingesetzt sind, angebracht ist, dass an jeder Zündschiene je eine explosive lineare Ladung (25) angebracht ist, dass die lineare Ladung durch die Zündschiene geführt ist, um die Mittel zum Einleiten der Detonationen der in der zugehörigen Reihe befindlichen Sprengkörper zu aktivieren, die Zündschienen zum zeitlich unterschiedlichen Zünden mit einer Zündungseinleitungsschiene (27) verbunden sind.

8. Einrichtung zum Durchführen des Verfahrens nach Anspruch 1, wobei ein Aussenflächenteil jedes Rohres mit dem diesen umgebenden Innenflächenteil einer der Bohrungen in der Rohrplatte gebondet wird, jede Bohrung von jeder benachbarten Bohrung durch einen einen Teil der Rohrplatte bildenden Steg getrennt ist und die kleinste Breite des Steges kleiner ist als der Durchmesser der Bohrungen, gekennzeichnet durch eine explosive Ladung (31) und Mittel (21, 22, 32, 36, 41) zum Umgeben der explosiven Ladung (31), wobei die genannten Mittel zum Positionieren der explosiven Ladung (31) grösstenteils unterhalb der Frontseite (13) der Rohrplatte (10) in dem Rohr (30) innerhalb der Bohrung (11) dienen und so ausgebildet sind, dass die teilweise aus dem Rohr (30) herausragende Stirnfläche der explosiven Ladung (31) im wesentlichen konkav ist, damit die durch die Detonation der durch die genannten Mittel ge-

formten und positionierten explosiven Ladung freierwerden die Kräfte eine metallurgische Verbindung zwischen einem Aussenflächenteil des Rohres und des diesen umgebenden Innenflächenteils der Bohrung bewirken, wobei sich diese Verbindungsstelle in der unmittelbaren Nachbarschaft der Frontseite der Rohrplatte befindet.

9. Einrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Positionierungsmittel einen Kunststoffbehälter umfasst, und dass der Behälter aufweist:

a) einen hohlen zylindrischen Teil (32) zum Einsetzen in das Rohr,

b) einen Verschlusssteil (35), der sich zum Bilden eines Raumes zur Aufnahme der explosiven Ladung quer durch den zylindrischen Teil erstreckt,

c) einen Flanschsteil (41), der sich radial vom zylindrischen Teil nach aussen erstreckt, und

d) ein mit dem Flanschsteil verbundenes Abstandsglied (37), das beim in das Rohr eingesetzten zylindrischen Teil an der Frontseite (13) der Rohrplatte (10) anliegt und den Verschlusssteil im Bereich der genannten Frontseite hält, damit sich die explosive Ladung benachbart zur genannten Frontseite befindet.

10. Einrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Kunststoffbehälter aus Polypropylen besteht.

11. Wärmeaustauscher, hergestellt nach dem Verfahren gemäss Patentanspruch 1, mit einer Anzahl Metallrohren und einer metallischen Rohrplatte, wobei jede Bohrung (11) von den benachbarten Bohrungen durch je einen einen Teil der Rohrplatte (10) bildenden Steg (12) getrennt ist, die kleinste Breite des Steges kleiner ist als der Durchmesser der Bohrungen und jedes Rohr (30) in eine Bohrung (11) in der Rohrplatte (10) eingesetzt ist, dadurch gekennzeichnet, dass ein Aussenflächenbereich jedes Rohres mit einem diesen Bereich umgebenden Innenflächenbereich der betreffenden Bohrung metallurgisch verbunden ist, und dass die metallurgische Verbindungsstelle sich nahe der Frontseite (13) der Rohrplatte befindet.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 1 und Einrichtungen nach dem Oberbegriff der Patentansprüche 5 und 8.

Das Verbinden von Metallrohren mit einer metallischen Rohrplatte ist besonders wichtig in der Herstellung von Wärmeaustauschern. In Dampfkondensatoren, die öfters in thermischen Kraftwerken und Kernkraftwerken verwendet werden, ist die Qualität der Verbindung zwischen den Rohren und der Rohrplatte besonders wichtig. Ein Dampfkondensator dieser Art ist ein Wärmeaustauscher, in welchem Kühlwasser durch die Rohre zirkuliert, deren Aussenflächen dem zu kondensierenden Dampf ausgesetzt sind.

Fehlerhafte Verbindungen zwischen den Rohren und der Rohrplatte in irgend einem Wärmeaustauscher, insbesondere in einem Dampfkondensator, der in einem elektrischen Kraftwerk verwendet wird, können zu grossen Schäden in den Ausrüstungen führen, woraus sich kostbare Stillenzeiten ergeben. Ungeachtet des Anwendungsgebietes der Wärmeaustauscher ist eine hohe Qualität der Verbindungen zwischen den Rohren und der Rohrplatte von beachtlicher Bedeutung im Hinblick auf eine minimale Korrosion.

Die bekannten Schweissstechniken zum Verbinden einer Mehrzahl von einzelnen Rohren mit einer Rohrplatte sind sehr zeitaufwendig. Weiter können die bekannten Schweissstechniken im allgemeinen nicht angewendet werden zum Verbinden von Rohren mit Rohrplatten, die aus unter-

schiedlichen Metallen bestehen. Dementsprechend sind schon verschiedene Techniken zum explosiven Bonden von Rohren mit Rohrplatten entwickelt worden. Verschiedene Arten zum explosiven Bonden einzelner Metallrohre mit einer Metallplatte sind in der Patentliteratur beschrieben, z. B. US-PS Nrn. 3 503 110, 3 698 067, 3 717 925, 3 774 291, 3 993 001, 4 003 513, 4 117 966 und 4 205 422. In der US-PS Nr. 3 993 001 ist das Bonden einer Reihe von Rohren mit einer Rohrplatte in einem einzigen Vorgang durch gleichzeitiges Einleiten der Detonation von explosiven Ladungen in all den Rohren der Reihenanzordnung beschrieben.

Bei einigen kinetischen Bondentechniken, in denen explosive Ladungen innerhalb der Rohre, die in Bohrungen einer Rohrplatte angeordnet sind, zur Explosion gebracht werden, besteht die Neigung zur Bildung von Rissen oder Spalten in der Frontseite der Rohrplatte, d. h., zwischen den Aussenflächen der Rohre und der diese umgebenden Innenflächen der Bohrungen. Solche Risse sind potentielle Stellen zur Bildung von Korrosion, welche Stellen schwach werden und eine fehlerhafte Verbindung zur Folge haben. Eine vorteilhafte Weiterentwicklung zum Minimalisieren der Rissbildung in der Frontseite wurde von der Firma Westinghouse Electric Corporation vorgeschlagen, indem eine Metallplatte über der Frontseite der Rohrplatte vor der Detonation der explosiven Ladungen befestigt wird. Dieser Vorteil wird jedoch erkauft, indem Schwierigkeiten beim Herstellen und dem genauen Aufsetzen der genannten Metallplatte auftreten.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein zuverlässiges Verfahren zum metallurgischen Bonden einer Reihe von Metallrohren mit einer metallischen Rohrplatte, beispielsweise bei der Herstellung von Wärmeaustauschern, anzugeben. Es soll eine Technik angegeben werden, gemäss welcher Metallrohre, die in einer Reihe von Bohrungen in einer metallischen Rohrplatte angeordnet sind, mit der Rohrplatte durch Detonieren von explosiven Ladungen verbunden werden, ohne dass dabei Rissbildungen auf der Frontseite der Rohrplatte auftreten. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine Einrichtung zum Durchführen des oben genannten Verfahrens zu schaffen.

Das erfindungsgemässe Verfahren ist durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruches 1 angeführten Merkmale gekennzeichnet.

Die erfindungsgemässe Einrichtung ist in den Patentansprüchen 5 und 8 definiert.

Die Sprengladung ermöglicht, eine explosive Ladung von spezieller Form in dem Rohr anzubringen, so dass die durch die Detonation der explosiven Ladung freierwerden Kräfte bewirken, dass ein Teil des Randes des Rohres zur benachbarten Innenfläche der Bohrung nach aussen hin bewegt wird und mit ausreichender kinetischer Energie auf der Innenwand der Bohrung auftrifft, um eine Verschweissung eines Oberflächenteiles des Rohres mit der diesen Teil umgebenden Innenfläche der Bohrung zu bewirken.

Die Form des Sprengkörpers und die Anordnung des Sprengkörpers in dem Rohr sind so gewählt, dass aufgrund der Detonation der Sprengladung eine Verbindung zwischen dem Rohr und der Innenfläche der Bohrung in der Rohrplatte, im Bereich der Frontseite der Rohrplatte, bewirkt wird. Ein anderer Faktor ist das Auswählen der Stelle, an welcher der Sprengkörper innerhalb des Rohres angeordnet wird, d. h., die Bestimmung der Tiefe, bis zu welcher die Sprengladung in das Rohr eingeführt wird. Es ist wünschenswert, dass ein Teil des Rohres, der unmittelbar an die Rückseite der Rohrplatte anschliesst, leicht ausgebuchtet wird, um zu verhindern, dass auf der Dampfseite Risse entstehen. Die Form der Sprengladung und die Lage derselben in dem Rohr sind auf die strukturellen Eigenschaften und

Abmessungen der einzelnen Rohre und der Rohrplatte abgestimmt.

Die Einrichtung zum Durchführen des Verfahrens umfasst eine neuartige Zündanordnung zum Einleiten der Detonationen der einzelnen explosiven Ladungen in den Sprengkörpern, die in die Rohre eingeführt sind, welche mit der Rohrplatte verbunden werden sollen. Die Zündanordnung ist so ausgebildet, dass Detonationen von explosiven Ladungen in benachbarten Rohren in den meisten Fällen nicht gleichzeitig sondern in zeitlichen Abständen erfolgen können.

Die einzelnen explosiven Ladungen werden durch die Zündanordnung gemäss einem festgelegten Zeitplan zur Detonation gebracht, wobei gleichzeitige Detonationen in benachbarten Rohren soweit als möglich vermieden werden. Gleichzeitiges Detonieren von explosiven Ladungen in benachbarten Rohren, was gemäss dem Stand der Technik bevorzugt wird, finden erfindungsgemäss nur rein zufälligerweise statt, als Ergebnis der Summierung von Herstellungstoleranzen und der unhomogenen explosiven Ladungen. Dementsprechend kann das Auftreten von gleichzeitigen Detonationen in benachbarten Rohren in praktisch annehmbaren Grenzen gehalten werden durch Einhalten der gegebenen Herstellungstoleranzen und die Verwendung von möglichst homogenem explosivem Material.

Das oben angegebene Verfahren ist insbesondere anwendbar, wenn die Bohrungen in der Rohrplatte, in welche Bohrungen die Rohre eingesetzt werden, eng aufeinander abgestimmt sind. Gemäss der üblichen Konstruktionspraxis für Wärmeaustauscher ist der minimal erlaubte Abstand zwischen zwei Bohrungszentren, d. h. zwischen benachbarten Rohrzentren für konzentrisch in der Bohrung angeordnete Rohre, nur 1, 2 mal den Aussendurchmesser der Rohre. Der ungünstigste Effekt, der sich bei gleichzeitiger Detonation von explosiven Ladungen in direkt benachbarten Rohren ergibt, ist die kristalline Deformation (Oberflächenausbruch) derjenigen Teile (Stege) der Rohrplatte zwischen den Bohrungen. Oberflächenausbrüche bei den Stegen können insbesondere dann auftreten, wenn der Abstand zwischen benachbarten Bohrungen zu klein dimensioniert worden ist. Erfindungsgemäss kann eine metallurgische Verbindung erhalten werden, ohne dass dabei wesentliche Oberflächenausbrüche im Bereich der Stege auftreten, auch wenn die Stegbreite zu klein ist, wie dies bei den üblichen Dampfkondensatoren der Fall ist.

Das zeitlich gestaffelte Zünden der explosiven Ladungen reduziert die gleichzeitige Detonation von explosiven Ladungen in benachbarten Rohren und damit wird die Möglichkeit der Beschädigung der Stege zwischen den Bohrungen der Rohrplatte minimalliert. Beschädigungen treten nur aufgrund der Schockwellen, hervorgerufen durch die gleichzeitige Detonation von explosiven Ladungen in zwei benachbarten Rohren auf. Die Zündanordnung zum Einleiten der gewünschten zeitlich gestaffelten Detonationen der explosiven Ladungen sorgt dafür, dass Detonationen in benachbarten Rohren in zeitlichen Abständen erfolgen, die ausreichend gross sind, um die ungünstige Auswirkung der gleichzeitigen Detonation in benachbarten Rohren weitgehend zu vermeiden.

Wenn die Abstände zwischen benachbarten Bohrungen in der Rohrplatte klein sind, so bewirkt die Detonation der explosiven Ladung in einer bestimmten Bohrung der Rohrplatte, dass diese Bohrung sich ausweitet. Vorausgesetzt, dass die in zur bestimmten Bohrung benachbarten Bohrungen eingesetzten explosiven Ladungen detonieren bevor die bestimmte Bohrung Zeit gehabt hat um sich zu verändern, so wird sich die Wand der bestimmten Bohrung bewegen und eine Mitnahmebewegung der Wände der benachbarten

Bohrungen bewirken, in welchen die explosiven Ladungen noch nicht detoniert sind. Die Bewegung der Wände von benachbarten Bohrungen sind das Resultat des Übergreifens der Stege der Rohrplatte in die ringförmigen Spielräume um die Rohre in benachbarten Bohrungen (Fluchtdistanz). Dieses Übergreifen der Stege über die Fluchtdistanzen um die Rohre in benachbarten Bohrungen, verhindert die kinetische Energie, mit welcher diese Rohre auf die sie umgebenden Innenflächen der Bohrungen auftreffen, wenn die explosiven Ladungen in diesen Rohren in benachbarten Bohrungen nacheinander zur Detonation gebracht werden.

Die Zündanordnung erzeugt ein spezifisches «Zeitfenster» für die Detonation in jedem Rohr einer Anzahl von benachbarten Rohren. Das Zeitfenster für jedes Rohr ist genügend gross, damit gleichzeitige Detonationen der explosiven Ladungen in benachbarten Rohren soweit als möglich vermieden werden, wobei das gleichzeitige Detonieren in benachbarten Rohren nur sehr selten auftritt, wenn die Herstellungstoleranzen sich einseitig summieren und die explosive Ladung Unhomogenitäten aufweist. Das Zeitfenster ist andererseits ausreichend eng, damit die Detonation der explosiven Ladung in irgend einem Rohr stattfindet, bevor sich die das betreffende Rohr umgebende Innenfläche der Bohrung als Folge von vorangegangenen Detonationen in benachbarten Rohren bewegt. Gemäss einer besonderen Ausführungsform der Erfindung werden nur sekundäre Explosivstoffe in der Zündanordnung verwendet, im Gegensatz zu den Sprengladungen, die in die mit der Rohrplatte zu verbindenden Rohre eingeführt werden. Primäre Explosivstoffe werden nicht verwendet, wodurch das mit der Verwendung von primären Explosivstoffen innewohnende grosse Sicherheitsrisiko umgangen wird. Das für die explosiven Ladungen bevorzugt verwendete explosive Material ist Nitroguanidin.

Die explosive Ladung jedes Sprengkörpers ist in einem Behälter untergebracht, der aus geformtem Kunststoff besteht und chemisch stabil ist, so dass keine giftigen Dämpfe entstehen, wenn die explosive Ladung detoniert. Weiter besteht der Behälter aus einem Material, das bei der Detonation keine Rückstände bildet, die das Rohr verstopfen. Vorzugsweise wird der Behälter aus Propylen hergestellt.

Jede Sprengladung kann einen hexagonalen Teil aufweisen, so dass, wenn der Sprengkörper in das betreffende Rohr eingesetzt ist, diese Teile über den Rand der Bohrung auf der Frontseite der Rohrplatte vorstehen. Die hexagonalen Teile der einzelnen Sprengkörper, welche die Ränder der Bohrungen auf der Frontseite der Rohrplatte überragen, schmiegen sich alle aneinander, um einen Schutzüberzug für die Frontseite der Rohrplatte im Bereich der Bohrungen zu bilden.

Beim Benützen des obigen Verfahrens bei der Herstellung von Wärmeaustauschern werden die Rohre in entsprechende Bohrungen in einer metallischen Rohrplatte eingesetzt. Normalerweise sind die Bohrungen in senkrecht zueinander verlaufenden Zeilen und Spalten auf der Rohrplatte angeordnet und das erfindungsgemässe Verfahren ist aber nicht nur auf diese geometrische Anordnung beschränkt. Jede Bohrung ist so dimensioniert, dass eine Fluchtdistanz im Bereich der Frontseite der Rohrplatte zwischen der Aussenfläche des Rohres und der Innenfläche der Bohrung vorhanden ist, in welche das Rohr eingesetzt ist. Der Durchmesser der Bohrung im Bereich der Rückseite der Rohrplatte ist reduziert um eine Spielanpassung zwischen der Aussenfläche des eingesetzten Rohres und der Innenfläche der betreffenden Bohrung zu erhalten. Die Bohrung besitzt einen sich verjüngenden Bereich zwischen dem erweiterten Teil in der Nachbarschaft der Frontseite (Fluchtdistanzbereich) und dem verengten Teil in der Nachbarschaft der Rückseite der Rohrplatte (spielfreier Bereich).

Die Fluchtdistanz zwischen dem Rohr und der im Bereich der Frontseite der Rohrplatte befindlichen Bohrungszeit ermöglicht ein kinetisches metallurgisches Verbinden eines Teiles der Oberfläche des Rohres und eines Teiles der Innenfläche der Bohrung anschließend an die Detonation der explosiven Ladung innerhalb des Rohres. Der zur Frontseite der Rohrplatte benachbarte Teil des Rohres expandiert infolge der Detonation der explosiven Ladung und flieht in Richtung der Innenfläche der Bohrung hin und trifft mit genügend kinetischer Energie auf diese Innenfläche auf, um eine metallurgische Verbindung zu erzeugen.

Der spielfreie Sitz zwischen dem Rohr und dem zur Rückseite der Rohrplatte benachbarten Bohrungsteil ergibt eine konzentrische Ausrichtung des Rohres in der betreffenden Bohrung, wodurch die parallele Ausrichtung des Rohres mit anderen in Bohrungen der Rohrplatte eingesetzten Rohren erleichtert. Der spielfreie Sitz ergibt eine Stützfläche zwischen dem Rohr und der Bohrung, welche die gebondete Verbindung zwischen dem Rohr und der Bohrung schützt vor Beanspruchung, die sich während des Betriebes des Wärmeaustauschers ergeben. Die Stützfläche dient zum Minimalisieren des Effektes, dass während dem Betrieb des Wärmeaustauschers auftretende Vibrationen des Rohres auf die gebondete Verbindungsstelle übertragen werden. Weiter ermöglicht die Stützfläche die Durchführung einer «gut-nicht gut»-Kontrolle der Rundheit der Rohre, wenn das Rohr in die Bohrung eingesetzt wird.

Normalerweise sind in die Rohrplatte eines Wärmeaustauschers runde zylindrische Rohre in runde zylindrische Bohrungen eingesetzt, so dass jedes Rohr im Bereich der Frontseite der Rohrplatte endet. Die Rohre sind normalerweise so angeordnet, dass ein Ende jedes Rohres bezüglich der Frontseite der Rohrplatte etwas zurückgesetzt ist. Diese Zurücksetzung der Rohre ergibt eine leicht glockenförmige Öffnung in jedem Rohr, nachdem die Verbindung durchgeführt worden ist, wodurch die hydrodynamischen Strömungseigenschaften für das in die Rohre eintretende Kühlwasser optimiert werden. Selbstverständlich können auch Rohre mit nicht rundem Querschnitt auf die oben angegebene Art mit einer Rohrplatte mit entsprechenden Bohrungen verbunden werden.

Der verwendete Sprengkörper enthält die explosive Ladung, die in einem nur einmal zu verwendenden Behälter untergebracht ist. Der Behälter wird aus einem chemisch stabilen, formbaren Kunststoff hergestellt, vorzugsweise aus Polypropylen, welcher Kunststoff keine giftigen Dämpfe erzeugt, wenn er während der Detonation der explosiven Ladung verdampft. Durch den Behälter wird die explosive Ladung geformt und die Unterbringung derselben innerhalb des Rohres ermöglicht, so dass bei der Detonation freiwerdende Kräfte einen Teil der Rohrwand radial nach aussen bewegt und zwar über die Fluchtdistanz, bis der Rohrteil auf der Innenfläche der Bohrung auftrifft. Die explosive Ladung ist durch den Behälter so geformt und angeordnet, dass dadurch eine metallische Verbindung zwischen dem Rohr und der Bohrung hergestellt wird und zwar im Bereich der Frontseite der Rohrplatte. Der Behälter umfasst vorzugsweise einen tassenförmigen Teil für die explosive Ladung und einen Kopfteil mit explosiven Mitteln zum Zünden der explosiven Ladung. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel enthält der Kopfteil eine Übertragungsladung und eine Zündtablette zum Erleichtern der Detonation der Übertragungsladung.

Der tassenförmige Teil besitzt einen hohlen zylindrischen Teil von vom vorgesehenen Verwendungszweck abhängigen Durchmesser und Länge zum Einführen in das in eine Bohrung der Rohrplatte eingesetzte Rohr. Ein Verschluss teil des tassenförmigen Teiles erstreckt sich in den zylindrischen

Teil, um den Behälterbereich zu bilden, in dem die explosive Ladung eingebracht wird. Ein flanschartiger Teil des tassenförmigen Teiles erstreckt sich vom zylindrischen Teil radial nach aussen und ist an einem verlängerten Abstandsglied befestigt, das sich coaxial und parallel zum zylindrischen Teil erstreckt. Ein Ende des Abstandsgliedes liegt auf der Frontseite der Rohrplatte auf, wenn der zylindrische Teil in das Rohr eingesetzt ist. Das Abstandsglied des tassenförmigen Teiles begrenzt die Tiefe bis zu welcher der Sprengkörper in das Rohr eingeführt werden kann, wodurch die Lage der explosiven Ladung an der gewünschten Stelle innerhalb des Rohres festgelegt ist.

Der Kopfteil kann eine zylindrische Wand aufweisen, die zum Einführen mit einem möglichst spielfreien Sitz in den zylindrischen Teil entsprechend dimensioniert ist. Der Kopfteil besitzt dann einen inneren zylindrischen Teil, welcher einen verlängerten Bereich definiert, in welchem die Übertragungsladung enthalten ist. Der verlängerte Bereich des inneren zylindrischen Teiles des tassenförmigen Teiles steht in Verbindung mit dem Raum, in dem die explosive Ladung untergebracht ist, so dass die Übertragungsladung mit der explosiven Ladung in Berührung ist. Vorzugsweise erstreckt sich die Übertragungsladung über den verlängerten Bereich des Kopfteles hinaus in den Raum, in dem die explosive Ladung untergebracht ist, so dass die Berührungsfläche zwischen der Transferladung und der explosiven Ladung maximal gross ist.

Der Bodenteil des Kopfteles kann kegelstumpfförmig ausgebildet sein und sich in den Behälterbereich mit der explosiven Ladung hinein erstrecken, wodurch die explosive Ladung geformt wird, damit der gewünschte Verbindungseffekt erreicht wird, wenn die explosive Ladung zur Detonation gebracht wird. Der Bodenteil des Kopfteles ist so geformt, dass eine achsialsymmetrische Verteilung der explosiven Ladung innerhalb des Rohres erreicht wird und formt die explosive Ladung so, dass bei der Detonation auftretende Kräfte die gewünschte Verbindung zwischen dem Rohr und der Innenfläche der dieses umgebenden Bohrung im Bereich der Frontseite der Rohrplatte erzeugen.

Ein oben beschriebener Sprengkörper wird in jedes Rohr der Rohranordnung eingeführt, die in entsprechende Bohrungen in der Rohrplatte eingesetzt sind. Die Abstandsglieder des tassenförmigen Teiles jedes einzelnen Sprengkörpers weist eine hexagonale zylindrische Form auf, die ermöglicht, dass die Abstandsglieder der tassenförmigen Teile sich oberhalb der Frontseite der Rohrplatte aneinander anschmiegen, so dass die ganze Frontseite der Rohrplatte im Bereich der Bohrungen durch die Abstandsglieder abgedeckt sind, wenn die Sprengkörper in die Rohre eingesetzt sind. Auf diese Weise ist die Frontseite der Rohrplatte vor Beschädigungen durch Verkratzen oder Verbrennen geschützt, welche Beschädigungen durch die in der Zündanordnung verwendeten Explosivstoffe zum Zünden der explosiven Ladungen in den einzelnen Sprengkörpern entstehen könnten.

Die Bohrungen in der Rohrplatte und somit die in diese eingesetzten Rohre eingeführten Sprengkörper sind in einer Anzahl von gestreckten Reihen angeordnet. Jeder Sprengkörper besitzt zwei Arme, die sich vom Bodenteil des Kopfteles nach oben erstrecken und im wesentlichen parallel zum inneren zylindrischen Teil des Kopfteles verlaufen. Die entfernten Enden der Armpaare sind zum Aufnehmen einer Zündschiene der Zündanordnung ausgebildet. Somit kann die Zündschiene an allen Sprengladungen, die in einer gestreckten Reihe angeordnet sind, befestigt werden. Eine Anzahl von Zündschienen ist vorgesehen, von denen jede für eine Reihe von Rohren bestimmt ist. Die Gesamtzahl der Zündschienen ist von der Anzahl der gestreckten Reihen der mit der Rohrplatte zu verbindenden Rohre abhängig.

Die Detonation der explosiven Ladung in einem bestimmten Sprengkörper wird eingeleitet durch die Zündung der Übertragungsladung im Innern des zylindrischen Teiles des Kopfteles des Sprengkörpers. Die Zündung der Übertragungsladung wird eingeleitet durch die Zündung der Zündtablette, die sich im Innern des oberen Endes des inneren zylindrischen Teiles des Kopfteles befindet. Der innere obere Endbereich steht in Verbindung mit dem verlängerten Bereich, so dass die Zündladung in Berührung mit der Übertragungsladung steht.

Eine lineare Ladung, bei welcher sich die Zündung, ähnlich wie bei einer Zündschnur, mit der Zeit ausbreitet, ist auf jeder Zündschiene angeordnet. Die Zündschiene ist auf jeder in die Rohre eingeführten Sprengladung befestigt. Das Zünden der Zündladung in den Sprengkörpern der linearen Anordnung werden aufeinanderfolgend eingeleitet in Abhängigkeit der zeitlichen Ausdehnung der Zündung der linearen Ladung auf der Zündschiene. Eine Zündungseinleitungsschiene ist quer über den verschiedenen Zündschienen angeordnet und an ihnen befestigt und eine lineare Zündungseinleitungsladung ist an der Zündungseinleitungsschiene angebracht. Die lineare Ladung auf den verschiedenen Zündschienen werden aufeinanderfolgend gezündet, in Abhängigkeit der Ausbreitung der Zündung der linearen Zündungseinleitungsladung auf der Zündungseinleitungsschiene.

Nachstehend ist die Erfindung mit Bezugnahme auf die Zeichnungen beispielsweise näher beschrieben. Es zeigen

Fig. 1 die schaubildliche Darstellung einer Einrichtung zum Verbinden einer Reihe von Metallrohren mit einer metallischen Rohrplatte, teilweise im Schnitt,

Fig. 2 die Draufsicht auf einen Teil der Einrichtung gemäss der Fig. 2, wobei ein einzelner Sprengkörper und ein Teil einer Zündschiene sichtbar ist,

Fig. 3 einen Schnitt entlang der Linie 3—3 in der Fig. 2,

Fig. 4 die auseinandergezogene perspektivische Darstellung des Sprengkörpers und der Zündschiene,

Fig. 5 die schaubildliche Darstellung des zusammengesetzten Sprengkörpers gemäss der Fig. 4,

Fig. 6 einen Querschnitt durch ein mit der Rohrplatte verbundenes Rohr zur schematischen Darstellung der Wirkung der bei der Detonation der explosiven Ladung entstehenden Kräfte,

Fig. 7 einen Teil der Querschnittsdarstellung der Fig. 3 in vergrössertem Massstab gezeichnet,

Fig. 8 die gleichen Teile in derselben Darstellungsart wie in der Fig. 6, jedoch nach erfolgter Detonation der explosiven Ladung im Sprengkörper,

Fig. 9 die Draufsicht auf einen Teil der Rohrplatte gemäss der Fig. 1, wobei in einer Bohrung die bei der Detonation der explosiven Ladung freiwerdenden Kräfte schematisch dargestellt sind,

Fig. 10 die Draufsicht auf einen Teil der Einrichtung gemäss der Fig. 1, wobei die Zündschienenanordnung zum Einleiten der Detonation der explosiven Ladungen in jeder Reihe der Rohre sichtbar ist,

Fig. 11 die Draufsicht auf eine ähnliche Einrichtung wie in der Fig. 1 gezeigt mit einer Zündschienenanordnung zum Einleiten der Detonationen der explosiven Ladungen, die alternierend angeordnet sind und

Fig. 12 die schaubildliche Darstellung eines Einsatzes zum Einführen in alternierenden Reihen von Bohrungen, wenn die Zündschienenanordnung gemäss der Fig. 11 verwendet wird, teilweise im Schnitt.

Eine in der Fig. 1 schaubildlich und teilweise im Schnitt dargestellte Rohrplatte 10 besitzt eine Mehrzahl von kreiszylindrischen Bohrungen 11, die in mehreren geraden parallelen Reihen angeordnet sind. Die Bohrungen 11 weisen alle die gleiche Form auf. Alle benachbarten Bohrungen, ob sie

sich in einer Reihe oder in benachbarten Reihen befinden, sind voneinander durch einen Teil der Rohrplatte 10, d. h. einen Steg 12 zwischen den Bohrungen voneinander getrennt.

In Übereinstimmung mit der Erfindung sind die Metallrohre in entsprechenden Bohrungen 11 angeordnet zum kinetischen Bonden von Innenflächenteilen der Bohrungen 11 mit den betreffenden Aussenflächen der Rohre unter Anwendung von explosiven Ladungen. Der Steg 12 zwischen zwei benachbarten Bohrungen ist wesentlich kleiner als der Durchmesser der Bohrungen 11, so dass eine relativ dichte Anordnung von Rohren mit der Rohrplatte 10 verbunden werden kann. Weil die Erfindung unabhängig ist von der Art des Metalles, aus dem die Rohrplatte 10 und die Rohre hergestellt sind, ist es beachtenswert, dass die kinetische Verbindungstechnik gemäss der Erfindung auch verwendet werden kann, wenn die Rohrplatte 10 und die Rohre aus unterschiedlichen Metallen bestehen. Bekannte konventionelle Schweissstechniken sind andererseits im allgemeinen nicht geeignet zum Verbinden von ungleichen Metallen der typischerweise verwendeten Art, d. h. Metalle, die zum Herstellen von Dampfkondensatoren benützt werden. Versuchsweise wurden Rohre routinemässig mit Rohrplatten verbunden, deren Stege zwischen zwei benachbarten Bohrungen eine minimale Breite aufweisen, wie dies bei normalen Dampfkondensatoren in der Praxis der Fall ist, d. h., der minimale Abstand zwischen zwei benachbarten Bohrungszentren war 1,2 mal grösser als der Aussendurchmesser, der in diese Bohrungen eingesetzten Rohre.

Jede Bohrung 11 ist so dimensioniert, dass ein ringförmiger Luftspalt, zum Bilden einer sogenannten Fluchtdistanz, im Bereich der Frontseite 13 der Rohrplatte 10 zwischen einem Aussenflächenteil des eingesetzten Rohres 30 und dem dieses umgebenden Innenflächenteil der Bohrung 11 vorhanden ist. Gegen die Rückseite 14 der Rohrplatte 10 hin verjüngt sich jede Bohrung um einen spielfreien Sitz zwischen der Aussenfläche des Rohres und der Innenfläche der Bohrung 11 zu bilden. Jede Bohrung 11 besitzt einen konischen Bereich zwischen dem erweiterten Bereich benachbart zur Frontseite 13 (ein Fluchtdistanzbereich) und dem verengten Bereich benachbart zur Rückseite 14 (ein spielfreier Bereich) der Rohrplatte 10.

Eine Mehrzahl von Sprengladungen 20 ist vorgesehen zum Einsetzen in entsprechende Rohre, die in den betreffenden Bohrungen 11 eingesetzt sind, wie dies in der Fig. 2 dargestellt ist. Die einzelnen Sprengkörper 20 für eine besondere Anwendung sind normalerweise untereinander auswechselbar und können in einer standardisierten Grösse für standardisierte Anwendungen hergestellt werden. Jeder Sprengkörper 20 umfasst eine explosive Ladung, die in einem einmal verwendbaren Kunststoffbehälter untergebracht ist, der so ausgebildet ist, dass die explosive Ladung innerhalb des Rohres in der Nachbarschaft der Frontseite 13 der Rohrplatte 10 angeordnet werden kann.

Wie aus der Schnittzeichnung der Fig. 3 ersichtlich ist, umfasst der Kunststoffbehälter des Sprengkörpers 20 einen tassenförmigen Teil 21 zum Aufnehmen der explosiven Ladung 31 und einen Kopfteil 22 zur speziellen Formgebung für die explosive Ladung 31. Es ist ein besonderes Merkmal des hier beschriebenen Sprengkörpers 20, dass die explosive Ladung im wesentlichen nur ein explosives Material enthält und es ist nicht notwendig, nichtexplosive Substanzen beizufügen, sondern die besondere Formgebung der explosiven Ladung ergibt die gewünschte Verbindungswirkung, wenn die explosive Ladung detoniert ist. Der Kopfteil 22 jedes Sprengkörpers 20 besitzt zwei Arme 23, die sich zum Umfassen einer Zündschiene 24 nach oben erstrecken, welche Zündschiene eine lineare Ladung 25 trägt, die auf ähnliche Weise wie eine Zündschnur in ihrer Längsrichtung abbrennt.

Die lineare Ladung 25 jeder Zündschiene 24 wird benützt, um die Detonation der explosiven Ladungen in den verschiedenen Sprengkörpern 20 einzuleiten in Abhängigkeit der Lage, in welcher sie längs einer Reihe von Bohrungen 11 angeordnet sind. Für jede Reihe von Sprengkörpern 20 ist eine Zündschiene 24 vorgesehen und jede Zündschiene 24 wird durch die Arme 23 aller Sprengkörper 20 in der entsprechenden linearen Anordnung gehalten. Es sind mehrere Zündschienen 24 vorgesehen, d. h. für jede Reihe von Bohrungen 11 je eine, und die Zündung der linearen Ladung 25 der verschiedenen Zündschienen 24 wird zeitlich aufeinanderfolgend eingeleitet durch das Zünden einer linearen Zündungseinleitungsladung 26, die von einer Zündungseinleitungsschiene 27 gehalten wird. Wie in der Fig. 1 gezeigt, ist die Zündungseinleitungsschiene 27 quer zu den Zündschienen 24 angeordnet und an ihnen befestigt. Das Zünden der linearen Zündungseinleitungsladung 26 kann durch konventionelle Mittel, z. B. eine Zündkapsel, eingeleitet werden, wenn der kinetische Verbindungsprozess beginnen soll.

Die Fig. 3 zeigt ein Metallrohr 30, das in der Bohrung 11 angeordnet ist, so dass das obere Ende des Rohres 30 gegenüber der Frontseite 13 der Rohrplatte 10 etwas zurückgesetzt ist. Im Bereich der Frontseite 13 der Rohrplatte 10 ist die Bohrung 11 relativ weit, um eine Fluchtdistanz zwischen der Aussenfläche des Rohres 30 und der diesen Teil umgebenden Innenfläche der Bohrung zu erhalten. Im Bereich der Rückseite 14 (auch die Dampfseite genannt) der Rohrplatte 10 ist die Bohrung 11 verengt, um einen spielfreien Sitz zwischen der Aussenfläche des Rohres 10 und den diesen Teil umgebenden Innenfläche der Bohrung 11 zu erhalten. Zwischen dem Fluchtdistanzbereich in der Nachbarschaft der Frontseite 13 und dem spielfreien Bereich in der Nachbarschaft der Rückseite 14 der Rohrplatte 10 besitzt die Bohrung 11 einen konischen Bereich. Der spielfreie Bereich der Bohrung 11 erleichtert die seitliche und konzentrische Anordnung der Rohre innerhalb der Bohrungen 11.

Der in der Fig. 3 dargestellte Kunststoffbehälter des Sprengkörpers 20 zum Aufnehmen der explosiven Ladung 31 ist innerhalb des Rohres 30 und benachbart zur Frontseite 13 der Rohrplatte 10 angeordnet. Die explosive Ladung 31 bewirkt bei ihrer Detonation, dass jener Teil des Rohres 30, welcher benachbart zur Frontseite 13 der Rohrplatte 10 ist, sich radial nach aussen und über die Fluchtdistanz bewegt, um danach auf die Innenfläche der Bohrung 11 mit ausreichender kinetischer Energie aufzutreffen, die genügt, die Aussenfläche des Rohres 30 mit der Innenfläche der Bohrung im Bereich der Frontseite 13 zu verschweissen. Die explosive Ladung 31 wird durch den tassenförmigen Teil 21 und den Kopfteil 22 so geformt, dass die durch den unteren Bereich 47 des Kopfteils 22 geformte Stirnfläche der explosiven Ladung 31 konkav ist, wobei ein kleinerer Teil der genannten Stirnfläche über die Frontseite 13 der Rohrplatte 10 nach aussen vorsteht, und dass die bei der Detonation der explosiven Ladung 31 freiwerdenden Kräfte eine Schweissverbindung zwischen der Aussenfläche des Rohres 30 und der diesen Bereich umgebenden Innenfläche der Bohrung 11 in unmittelbarer Nachbarschaft der Frontseite 13 der Rohrplatte 10 ergeben.

Die leichte Zurücksetzung des Rohres 30 und der konische Bereich der Bohrung 11 ergeben eine leicht trichterförmige Öffnung des Rohres 30 nach der Verbindung mit der Rohrplatte 10. Der spielfreie Sitz zwischen dem Rohr 30 und der Bohrung 11 im Bereich der Rückseite 14 der Rohrplatte 10 ergeben eine Stützfläche zwischen dem Rohr 30 und der Bohrung 11. Diese Stützfläche schützt die Verbindung gegen die Auswirkungen von Beanspruchungen, die im späteren Betrieb auftreten können, z. B. in einem Dampfkondensator. Die zur Rückseite 14 benachbarten Stützflächen der Rohr-

platte 10 dienen auch zum Minimalisieren der Ausbauchung des Rohres ausserhalb der Bohrung 11 während der Detonation der explosiven Ladung 31.

Der Kunststoffbehälter des Sprengkörpers 20 ist aus einem formbaren Material hergestellt, das keine giftigen Dämpfe erzeugt, wenn die explosive Ladung 31 detoniert. Ein Material, das sich zur Herstellung dieses Behälters gut eignet, ist Polypropylen, das durchsichtig ist und dementsprechend eine visuelle Kontrolle der explosiven Ladung 31 gestattet. Die explosive Ladung 31 ist ein sekundärer Explosivstoff, der stabil und relativ sicher gegenüber zufälligen Detonationen ist. Ein Sprengstoff, der sich für die explosive Ladung 31 gut eignet, ist Nitraguanidin-Pulver. Die Menge und Dichte des verwendeten Nitraguanidin-Pulvers wird ausgewählt entsprechend den Dimensionen und Formen der Rohrplatte 10, der Bohrungen 11 und der Rohre 30.

Der tassenförmige Teil 21 des Behälters für die explosive Ladung 31 besitzt einen hohlen kreiszylindrischen Teil 32, dessen Abmessungen so gewählt sind, dass er in das Rohr 30 eingesetzt werden kann. Das untere Ende des zylindrischen Teiles 32 besitzt einen Rand 33, der sich seitwärts nach aussen erstreckt und gegen die Innenfläche des Rohres 30 anliegt, wenn der zylindrische Teil 32 in das Rohr 30 eingesetzt ist. Am unteren Ende des hohlen zylindrischen Teiles 32 sind achsial verlaufende Schlitze 34 (d. h. vier symmetrisch angeordnete Schlitze) angeordnet, um ein federndes Anpassen des unteren Teiles des hohlen zylindrischen Teiles 32 zu ermöglichen, wenn der Sprengkörper 20 in das Rohr 30 eingesetzt wird. In der Fig. 3, die eine Schnittdarstellung längs der Linie 3—3 der Fig. 2 ist, sind zwei derartige Schlitze 34 sichtbar. Die nach innen federnden geschlitzten Teile des unteren Endes des hohlen zylindrischen Teiles 32 ermöglichen, dass der Rand 33 in federnder Berührung mit der Innenfläche des Rohres steht und dadurch können Herstellungstoleranzen der Rohre 30 ausgeglichen werden.

Der tassenförmige Teil 21 besitzt einen Verschlusssteil 35, der sich quer durch den hohlen zylindrischen Teil 32 erstreckt. Der Verschlusssteil 35 und der hohle zylindrische Teil 32 bestimmen die Form der explosiven Ladung 31. Das obere Ende des hohlen zylindrischen Teiles 32 besitzt einen Flansch 36, der sich radial nach aussen über den Durchmesser der Bohrung im Bereich der Frontseite 13 der Rohrplatte 10 hinauserstreckt. Mit dem Flansch 36 ist ein Abstandsglied 37 verbunden, welches hexagonal zylindrisch und coaxial zum hohlen zylindrischen Teil 32 angeordnet ist. Das untere Ende des Abstandsgliedes 37 liegt an der Frontseite 13 der Rohrplatte 10 an, und begrenzt somit die Strecke, um welche der Sprengkörper 20 in das Rohr eingesetzt werden kann.

Das Abstandsglied 37 des tassenförmigen Teiles 21 dient zum Positionieren der explosiven Ladung 31 innerhalb des Rohres 30 an einer geeigneten Stelle zum Verbinden des Rohres 30 mit dem Innenflächenteil der Bohrung 11 im Bereich der Frontseite 13 der Rohrplatte 10. Die Tiefe, bis zu welcher die explosive Ladung 31 in das Rohr 30 eingeschoben wird, bestimmt auch das Ausmass der Ausbuchtung des Rohres unmittelbar ausserhalb der Bohrung 11 auf der Rückseite 14 der Rohrplatte 10. Die leichte Ausbuchtung dient zum Stauchen des Rohres 30 gegen die Bohrung 11 auf der Rückseite 14 der Platte 10, wodurch Missbildungen in einem Dampfkondensator vermieden werden.

Aus den Fig. 19 ist es ersichtlich, dass die hexagonale Form der Abstandsglieder 37 der verschiedenen tassenförmigen Teile 21 gestatten, benachbarte Abstandsglieder 37 ineinander zu verschachteln, wobei sie zusammen einen Schutzschirm über der Frontseite 13 der Rohrplatte 10 während des Verbindungsprozesses bilden. Gemäss der Fig. 1 sind in zwei gegenüberliegenden Enden der hexagonal geformten Abstandsglieder Schlitze 38 vorhanden. Diese

Schlitze gestatten, die einzelnen Zündschienen 24 einzusetzen, so dass die lineare Ladung 25 auf der Unterseite der Zündschiene 24 die Detonation der explosiven Ladungen in der linearen Anordnung der Sprengkörper 20 einleiten können, in welche die Zündschiene 24 eingesetzt ist.

Der Kopfteil 22 des Behälters für die explosive Ladung 31 besitzt eine äussere zylindrische Wand 41, die so dimensioniert ist, dass sie spielfrei in den hohlen zylindrischen Teil 32 des tassenförmigen Teiles 21 eingesetzt werden kann. Ein radial nach aussen absteher Flansch 42 des Kopfteles 22 weist einen grösseren Durchmesser auf als der zylindrische Teil 32 und liegt auf dem Flanschteil 36 des tassenförmigen Teiles 21 auf. Der Kopfteil 22 besitzt einen inneren hohlen kreiszylindrischen Teil 42, der eine längliche Kammer umschliesst, in welcher eine explosive Übertragungsladung 44 untergebracht ist.

Der längliche Raum in dem Kopfteil 22 steht in Verbindung mit dem Innern der Kammer des tassenförmigen Teiles 21, so dass die Übertragungsladung 44 in Berührung mit der explosiven Ladung 31 ist. Vorzugsweise erstreckt sich die Übertragungsladung 44 über den länglichen Raum nach unten hinaus und durch die explosive Ladung 31 hindurch bis zum Boden 35 des tassenförmigen Teiles 21. Auf diese Weise ist die Berührungsfläche zwischen der Übertragungsladung 34 und der explosiven Ladung 31 maximal gross. Die Übertragungsladung 44 wird verwendet zum Einleiten der Detonation der explosiven Ladung 31 und ist vorzugsweise eine Mischung von Pentaerythrit-Tetranitrat (PETN) und einem Elastomer. Dieses explosive Produkt wird verkauft durch E.I. du Pont de Nemours und Company unter der Markenbezeichnung «Detasheet».

Das obere Ende des inneren hohlen zylindrischen Teiles 43 des Abteles 22 besitzt einen erweiterten Raum zur Aufnahme einer explosiven Zündladung 45. Dieser Raum steht in Verbindung mit dem länglichen Raum, in welchen die Übertragungsladung 44 eingebracht ist, so dass die Zündladung 45 in Berührung mit der Übertragungsladung 44 ist. Die Zündladung 45 wird verwendet zum Zünden der Übertragungsladung 44 und umfasst eine Tablette, die im wesentlichen aus reinem Pentaerythrit-Tetranitrat (PETN) besteht. Die Zündladung 45 ist leichter entzündbar als die Übertragungsladung 44 und dient zum Erleichtern des 90°-Kurswechsels der Ausbreitungsrichtung der fortschreitenden Zündung in der linearen Ladung 25 in die Übertragungsladung 44. Ein dünnes Deckblatt 46 mit einer Dicke von etwa 0,076 mm, ist an dem oberen Ende des inneren hohlen zylindrischen Teiles 43 des Kopfteles 22 befestigt, um die Zündladung 45 vor Staub und Feuchtigkeit zu schützen. Das Deckblatt 46 kann aus Papier, einer metallischen Folie oder aus einem durchsichtigen Kunststoff hergestellt sein.

Polypropylen, aus welchem vorzugsweise der tassenförmige Teil 21 und der Kopfteil 22 hergestellt sind, ist ein durchsichtiges Material, durch welches die explosive Ladung 31, die Übertragungsladung 44 und die Zündladung 45 sichtbar ist. Das für die explosive Ladung 31 verwendete Nitroguanidin ist normalerweise von weisslicher Farbe und die Übertragungsladung 44 aus Detasheet ist normalerweise grünlichschwarz. Die Zündtablette 45 kann in einer gewünschten Farbe, z. B. rot, gefärbt sein, um einen sichtbaren Kontrast gegenüber der Übertragungsladung 44 zu erhalten. Die Durchsichtigkeit des Polypropylens ermöglicht eine visuelle Kontrolle, ob sich die einzelnen explosiven Ladungen an der richtigen Stelle innerhalb des Sprengkörpers 20 befinden.

Ein unterer Bereich 47 des Kopfteles 22 erstreckt sich vom inneren hohlen zylindrischen Teil 43 nach aussen zum zylindrischen Wandteil 41 des Kopfteles 22 und befindet sich oberhalb der explosiven Ladung 31 innerhalb des vom

tassenförmigen Teil 21 umschlossenen Raumes. Wenn der Kopfteil 22 in den tassenförmigen Teil 21 eingesetzt ist, bestimmt der untere Bereich 47 des Kopfteles 22 die Richtung des umgestülpten kegelförmigen Raumes innerhalb des tassenförmigen Teiles 21. Der untere Bereich 47 des Kopfteles 22 komprimiert die explosive Ladung 31 und bewirkt, dass diese eine achsialsymmetrische Verteilung innerhalb des tassenförmigen Teiles 21 erfährt und sich im Bereich der Frontplatte 13 der Rohrplatte 10 befindet.

Die Arme 23, welche die Zündschiene 24 umfassen, erstrecken sich vom unteren Bereich 47 des Kopfteles 22 etwa parallel zu den inneren und äusseren zylindrischen Teilen 43 und 41 nach oben. Wenn der vom tassenförmigen Teil 21 umschlossene Raum mit der geeigneten Menge von pulverförmiger Explosivladung gefüllt ist und der Kopfteil 22 mit der Übertragungsladung 44 und der Zündladung 45 versehen wurde, wird der Kopfteil 22 mit dem tassenförmigen Teil 21 vereinigt, durch Heiss-Siegeln des Flanschen 42 an den flanschförmigen Teil 36.

In der auseinandergezogenen Darstellung der Fig. 4 sind weitere Einzelheiten des tassenförmigen Teiles 21 und des Kopfteles 22 schaubildlich dargestellt. Das Anordnen der Zündschiene 24 an den Sprengkörper 20 wird ausgeführt durch Einschieben der Zündschiene 24 zwischen die beiden Arme 23, so dass an den Enden der Arme 23 angeordnete Vorsprünge 48 über Seitenteile 49 der Zündschiene 24 schnappen und diese umgreifen. Wenn die Zündschiene 24 durch die Vorsprünge 48 umgriffen ist, so befindet sich die lineare Ladung 25 auf der Unterseite der Zündschiene 24 direkt über der Zündladung 45 am oberen Ende des inneren hohlen zylindrischen Teiles 43 des Kopfteles 22.

Durch die zeitlich fortschreitende Zündung der linearen Ladung 25 irgend einer der Zündschienen 24 werden die einzelnen Zündladungen 45 in den mit der betreffenden Zündschiene verbundenen Sprengkörpern 20 zeitlich nacheinander gezündet. Wenn die Zündung der linearen Ladung 25 die Zündladung 45 des betreffenden Sprengkörpers 20 erreicht, so wird die Zündladung 45 gezündet, die ihrerseits die Zündung der Übertragungsladung 44 verursacht, die ihrerseits die Detonation der explosiven Ladung 31 des betreffenden Sprengkörpers 20 einleitet. Weil die einzelnen Zündladungen 45 der verschiedenen in einer Reihe angeordneten Sprengkörper 20 zu unterschiedlichen Zeiten gezündet werden, wird das gleichzeitige Detonieren von explosiven Ladungen in benachbarten Rohren derselben Reihe vermieden.

Die Fig. 4 zeigt, dass die lineare Ladung 25 in einer Längsnute auf der Unterseite der Zündschiene 24 angeordnet ist. Um die Zündung einer Anzahl Zündschienen 24 zu ermöglichen, ist jede der Zündschienen 24 mit einer Quernut 50 auf der oberen Seite jeder Zündschiene 24 versehen, welche Quernut 50 zur Aufnahme einer Zündschiene 27 bestimmt ist. Im oberen Bereich der Seitenwände der Quernut 50 stehen Nasen 51 nach innen vor, die beim Einsetzen der Zündungseinleitungsschiene 27 in die Quernuten 50 in Längsnuten der Zündungseinleitungsschiene einschnappen und diese festhalten. Im Boden jeder der Nuten 50 ist eine Bohrung 52 vorgesehen, in welche eine explosive Übertragungstablette 53 eingesetzt ist. Die Übertragungstablette 53 ist vorzugsweise aus im wesentlichen reinem Pentaerythrit-Tetranitrat (PETN) hergestellt und dient zum Erleichtern des Richtungswechsels der Ausbreitung des Zündungsvorganges in der linearen Zündungseinleitungsladung 26 zur linearen Ladung 25.

Im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist ein dünnes Plättchen 54, z. B. aus Papier, aus einer metallischen Folie oder aus durchsichtigem Kunststoff, auf dem Boden der Quernut 50 und über der Übertragungstablette 53 angeordnet, um die Übertragungstablette 53 vor Staub und/oder Feuchtigkeit zu

schützen. Ein dünner Abdeckstreifen 55, z. B. ein Streifen Papier oder eine metallische Folie, ist auf der Unterseite der Zündschiene 24 über der linearen Ladung 25 vorgesehen, um die lineare Ladung 25 vor Verschmutzung und/oder Feuchtigkeit zu schützen. Das Abdeckplättchen 54 und der Abdeckstreifen 55 auf der Zündschiene 24 und auch das Deckblatt 46 über der Zündladung 45 in dem Sprengkörper 20 sind dünn genug (z. B. etwa 0,076 mm), um zerstört zu werden, wenn die linearen Ladungen 26 und 25 in deren Nachbarschaft zünden, und dementsprechend das Fortschreiten des Zündvorganges längs der linearen Entladungen längs der Schienen 27 und 24 nicht unterbrechen.

Wenn die Zündungseinleitungsschiene 27 in die verschiedenen Zündschienen 24 eingesetzt ist, siehe Fig. 5, so ist die lineare Zündungseinleitungsladung 26, die durch die Zündungseinleitungsschiene 27 gestützt ist, so angeordnet, dass sie über den Deckblättchen 54, welche die Übertragungstabletten 53 in den Bohrungen 52 der Zündschienen 24 liegt. Vorzugsweise ist über der linearen Zündungseinleitungsladung 26, welche sich auf der Unterseite der Zündungseinleitungsschiene 27 befindet, ein Deckstreifen 56, z. B. ein Streifen Papier, eine metallische Folie oder eine durchsichtige Kunststoffolie, aufgebracht, um die lineare Zündungseinleitungsladung 26 vor Staub und/oder Feuchtigkeit zu schützen. Die einzelnen linearen Ladungen 25 und die linearen Zündungseinleitungsladungen 26 bestehen aus einem stabilen sekundären Explosivstoff wie Pentaerythrit-Tetranitrat (PETN) gemischt mit einem Elastomer. Das oben erwähnte explosive «Detasheet» ist für die linearen Ladungen 25 und 26 geeignet.

Es ist wichtig, dass die Detonation der explosiven Ladung 31 mit einer solchen Geschwindigkeit erfolgt, dass der Endbereich des Rohres 30 mit Schallgeschwindigkeit auf die Innenfläche der Bohrung 11 auftrifft. Wenn die Detonation der explosiven Ladung 31 mit einer solchen Geschwindigkeit ausgeführt wird, dass eine Überschallstosswelle ausgelöst wird, so wird die resultierende Verbindung zwischen der Rohrplatte 10 und dem Rohr 30 Schichtspaltungsseffekten ausgesetzt, die durch die reflektierten Schockwellen hervorgerufen werden. Es wurde durch Versuche gefunden, dass Nitroguanidin von kontrollierter Dichte bei der Detonation eine Überschalldruckwelle erzeugt, welche eine optimale Verbindung zwischen der Rohrplatte 10 und dem Rohr 30 ergibt. Nitroguanidin-Pulver ist insbesondere geeignet für die explosive Ladung 31, weil es zusätzlich zu seiner chemischen Stabilität auch genau abgemessen und verdichtet werden kann, um die gewünschte Dichte für die optimale Detonationsgeschwindigkeit für den speziellen Verwendungszweck zu erhalten.

Die Fig. 6 ist eine schematische Darstellung der aus der Detonation der explosiven Ladung 31 innerhalb des Rohres 30 im Bereich der Frontseite 13 der Rohrplatte 10 resultierenden Druckwelle. Die Druckwelle bewirkt, dass der Endbereich des Rohres 30 sich radial nach aussen ausdehnt und mit genügender kinetischer Energie auf die Innenfläche der Bohrung 11 auftrifft, um die gewünschte Verbindung zu erhalten. Dadurch findet an der Grenzfläche zwischen der Aussenfläche des Rohres 30 und der Innenfläche der Bohrung 11 eine metallurgische Legierung statt. Unmittelbar im Bereich der Rückseite 14 der Rohrplatte 10 tritt eine leichte Ausbuchtung des Rohres 30 auf. Das Ausmass der Ausbuchtung wird durch die relativ grosse Stützfläche zwischen dem Rohr 30 und der Innenseite der Bohrung 11 benachbart zur Rückseite 14 der Rohrplatte 10 auf ein Minimum beschränkt. Die leichte Ausbuchtung des Rohres 30 ist wünschenswert zum Erhalten eines geschmiedeten Überganges des Rohres 30 auf die Rohrplatte 10 im Bereich der Rückseite der Rohrplatte 10.

Vergrösserte Ausschnitte des Rohres 30 und der Bohrung 11 in der Rohrplatte 10 vor und nach der Detonation der explosiven Ladung 31 sind in der Fig. 7 bzw. 8 dargestellt. In der Fig. 7 ist die aus der Detonation der explosiven Ladung 31 ausgelöste Druckwelle durch Pfeile dargestellt, welche Druckwelle das Ende des Rohres 30 radial nach aussen zur Innenfläche der Bohrung 11 hin bewegt. In der Fig. 7 ist der durch das Aufprallen des Endteiles des Rohres 30 auf die Innenfläche der Bohrung 11 erzeugte Legierungseffekt dargestellt, durch welchen Effekt ein Ineinandergreifen der beiden Materialien, aus denen das Rohr 30 und die Rohrplatte 10 bestehen, erreicht wird. Der Legierungseffekt ist in der Fig. 8 durch den gestrichelt dargestellten Bereich der Schraffurlinien in der Grenzschicht zwischen dem Rohr 30 und der Rohrplatte 10 dargestellt.

Das Ineinandergreifen der Materialien aus denen das Rohr 30 und die Rohrplatte 10 bestehen, erfolgt im wesentlichen gemäss einem sinusförmigen Muster, wobei die Amplitude der Sinuswelle zur Stärke der Verbindung zwischen dem Rohr 30 und der Rohrplatte 10 in Beziehung stehen. Die Amplitude der Sinuswellen ist erfindungsgemäss die stärkste Bindung zwischen dem Rohr 30 und der Rohrplatte 10 am grössten in der unmittelbaren Nachbarschaft zur Frontfläche 13 der Rohrplatte 10, wie dies in der Fig. 8 schematisch dargestellt ist. Dass die Verbindung der Nachbarschaft der Frontfläche 13 der Rohrplatte 10 am stärksten ist, kann durch eine elektronenmikroskopische Analyse eines Querschnittes durch die Verbindungsstelle festgestellt werden.

Die Stärke der Verbindung zwischen dem Rohr 30 und der Rohrplatte 10 ist unter anderem abhängig von der Grösse der Fluchtdistanz zwischen der Aussenfläche des Rohres 30 und dem dieses umgebenden Innenflächenteil der Bohrung 11. Wenn der Steg 12 zwischen benachbarten Bohrungen 11 relativ dünn ist, so hat die Detonation der explosiven Ladung 31 in einer gegebenen Bohrung die Tendenz, die Bohrung 11 auszuweiten, mit der Folge, dass die Bohrung umgebenden Stege 12 bewegt werden. Stegbewegungen zwischen benachbarten Bohrungen 11, verursacht durch nicht simultanes Detonieren der explosiven Ladung in benachbarten Bohrungen hat einen bedeutenden Einfluss auf die Verbindungsstärke, weil Stegbewegungen ergeben, dass die Fluchtdistanz zwischen benachbarten Bohrungen 11 verkleinert wird.

Ein Teil einer Rohrplatte 10 mit dünnen Stegen ist in der Fig. 9 in der Draufsicht dargestellt, wobei die Breite d jedes Steges 12 nur einen Bruchteil des Durchmessers W jeder Bohrung 11 ist. Die in der Fig. 9 mit den Referenzbuchstaben A und B bezeichneten einzelnen Bohrungen 11 sind Bohrungen, in welchen die Detonation der explosiven Ladungen durch dieselbe Zündschiene ausgelöst wurden, während die Bohrung 11, die mit dem Bezugszeichen C versehen ist, eine explosive Ladung enthält, deren Detonation durch eine andere Zündschiene, die sich zur erstgenannten Zündschiene parallel erstreckt, ausgelöst wird. Genau gleichzeitige Detonationen der explosiven Ladungen in den Bohrungen A und B können nicht auftreten, weil das Fortschreiten der Zündung der linearen Ladung der den Bohrungen A und B gemeinsamen Zündschiene eine endliche Zeit benötigt. Gleichzeitige Detonationen der explosiven Ladungen in den Bohrungen A und C oder in den Bohrungen B und C können in seltenen Fällen auftreten, aber diese gleichzeitigen Detonationen sollen auf ein Minimum beschränkt werden, weil dadurch unerwünschte Oberflächenausbrüche in den Stegen auftreten. Wenn jedoch das Zeitintervall zwischen den Detonationen der explosiven Ladungen in benachbarten Bohrungen A und B, A und C oder B und C zu lang sind, so wird durch die Detonation der explosiven Ladung in beispielsweise

se der Bohrung A, den Steg 12 auf die benachbarten Bohrungen B und C hin bewegen, so dass die Fluchtdistanz verkürzt wird.

Es wurde versuchsweise festgestellt, dass die minimale Stegdicke, die bei normalen Dampfkondensatoren vorkommen, d. h., für eine minimale Stegdicke von 1,2 mal den Ausendurchmesser des Rohres 30, ein Zeitintervall zwischen 5 bis 10 Mikrosekunden vergeht zwischen der Erzeugung der Druckwelle durch die Detonation der explosiven Ladung 31 und dem Beginn der Bewegung der benachbarten Stege 12. Es wurde auch gefunden, dass die Materialausbrüche bei den Stegen vermieden werden können, wenn eine Zeit grösser als 2,5 Mikrosekunden verstreicht zwischen den Detonationen der explosiven Ladungen in benachbarten Rohren 30. Wenn die Einleitung der Detonation der explosiven Ladung 31 in der Bohrung B so erfolgt, dass sie während eines «Zeitfensters» von etwa 2,5 bis 5 Mikrosekunden nach der Einleitung der Detonation der explosiven Ladung 31 in der Bohrung A auftritt, kann das Ausbrechen des Materials in den Stegen und die Verkleinerung der Fluchtdistanz durch das Zünden mittels der gleichen linearen Ladung vermieden werden. Aus denselben Gründen wird, wenn die Einleitung der Detonation der explosiven Ladung in der Bohrung C so erfolgt, dass sie während einem «Zeitfenster» von etwa 2,5 bis 5 Mikrosekunden nach der Detonation der explosiven Ladung in der Bohrung A und während einem «Zeitfenster» derselben Dauer vor der Einleitung der Detonation der explosiven Ladung in der Bohrung B stattfindet, die Bildung von Materialausbrüchen in den Stegen und die Verkürzung der Fluchtdistanz vermieden, durch verschiedene lineare Ladungen in benachbarten Zündschienen.

Das zeitliche Abstimmen im Bereich der Mikrosekunden-Toleranzen der Detonationen der explosiven Ladungen in benachbarten Rohren 30 ist grösstenteils von der Steuerung der physikalischen und chemischen Parameter abhängig, die beim Herstellen der Komponenten der Einrichtung und des explosiven Materials zum Ausführen des Verbindungsvorganges benötigt werden. Innerhalb der Grenzen der Herstellungstoleranzen kann ein zeitlicher Zündungsablauf bestimmt werden, um Detonationen der explosiven Ladungen in den Rohren 30, die in den Bohrungen 11 einer Rohrplatte 10 mit schmalen Stegen angeordnet sind, einzuleiten, so dass die schädlichen Effekte wie Materialausbrüche in den Stegen und Verkürzung der Fluchtdistanz vermieden werden können. Der bevorzugte zeitliche Zündungsablauf kann erreicht werden durch eine Zündanordnung, die in der Fig. 10 dargestellt ist, wobei die in der Draufsicht dargestellte Zündungseinleitungsschiene 27 jede der Zündschienen 24 in einem Winkel von etwa 60° durchquert. Nachstehend sind die Zündschienen 24 als erste, zweite, dritte usw. Zündschiene bezeichnet.

Die lineare Zündungseinleitungsladung 26 an der Zündungseinleitungsschiene 27, siehe Fig. 1 und 4, wird mit Hilfe von bekannten Mitteln gezündet und die Zündung breitet sich längs der Zündungseinleitungsschiene 27 in der durch die Pfeile in der Fig. 10 angegebenen Richtung aus. An einer durch den Buchstaben X auf der Zündungseinleitungsschiene 27 angegebenen Stelle erreicht die Zündung die erste Zündschiene und zündet die lineare Ladung 25 der ersten Zündschiene. Die Zündung setzt sich längs der Zündungseinleitungsschiene 27 fort und erreicht die Stelle Y, bei welcher die lineare Ladung 25 der zweiten Zündschiene gezündet wird. Gleichzeitig setzt sich der Zündvorgang auf der gezündeten ersten Zündschiene fort bis zum Punkt X₁, worauf die Detonation der explosiven Ladung in der ersten Bohrung der zur ersten Zündschiene gehörigen Reihenanzahl von Bohrungen eingeleitet wird.

Der Zündvorgang längs der Zündungseinleitungsschiene 27 setzt sich fort bis zum Punkt Z, während der Zündvorgang längs der ersten Zündschiene den Punkt X₂ erreicht und der Zündvorgang auf der gezündeten zweiten Zündschiene den Punkt Y₁ erreicht. Der zeitliche Abstand, zu welchem die Zündung die Punkte X und Y, X und Z, X und X₁, X₁ und X₂, und Y und Y₁ usw. erreicht, ist im wesentlichen gleich, so dass die Detonationen der längs der verschiedenen Zündschienen 24 angeordneten explosiven Ladungen in benachbarten Bohrungen innerhalb etwa 5 Mikrosekunden aufeinanderfolgen.

Bei der Anordnung gemäss der Fig. 10 ist das Zeitintervall für die Ausbreitung der Zündung längs der ersten Zündschiene 24 vom Punkt X bis zum Punkt X₁ ungefähr das gleiche wie das Zeitintervall für die Ausbreitung der Zündung vom Punkt X bis zum Punkt Y längs der Zündungseinleitungsschiene 27. Die Detonation der explosiven Ladung 31 in der Bohrung 11 an der Stelle X₁ auf der ersten Zündschiene erfolgt normalerweise nicht genau zum gleichen Zeitpunkt wie die Zündung der linearen Ladung an der zweiten Zündschiene, weil keine endliche Zeit notwendig ist für das Fortschreiten der Zündung von der Stelle X₁ auf der ersten Zündschiene und Umlenkung des Zündvorganges um 90° um die Zündladung 45 des Sprengkörpers 20 in der ersten Bohrung 11 an der Stelle X₁ zu zünden. Eine weitere endliche Zeit wird benötigt, um nach dem Zünden der Zündladung 45 das Zünden der Übertragungsladung 44 zu erreichen und weiter wird eine endliche Zeit benötigt, bis die gezündete Übertragungsladung 44 die Detonation der betreffenden explosiven Ladung 31 einleitet.

Bezogen auf die Fig. 10 weitet sich der Zündvorgang längs der ersten Zündschiene vom Punkt X₁ bis zum Punkt X₂ mit einer solchen Geschwindigkeit aus zum Einleiten der Detonation der explosiven Ladung in einer zweiten Bohrung bei der Stelle X₂ auf der ersten Zündschiene, welche Geschwindigkeit fast (jedoch nicht genau) die gleiche ist, wie die Geschwindigkeit der Ausbreitung der Zündung längs der zweiten Zündschiene vom Punkt Y bis zum Punkt Y₁ zum Einleiten der Detonation der explosiven Ladung in einer benachbarten ersten Bohrung beim Punkt Y₁ auf der zweiten Zündschiene. Auf diese Weise wird eine Veränderung der Fluchtdistanz in jeder der zwei benachbarten Bohrungen gegeben durch den Steg 12 zwischen zwei benachbarten Bohrungen vermieden. Das Einleiten von Detonationen in benachbarten Bohrungen 11 sind zeitlich gegenüber einander verschoben und erfolgen während eines «Zeitfensters», das eng genug ist um das Ausbrechen des Materials in den Stegen zu vermeiden, aber breit genug ist, um eine Änderung der Fluchtdistanz zu verhüten. Das bevorzugte «Zeitfenster» für Detonationen der explosiven Ladungen in benachbarten Bohrungen 11 beträgt 2,5 bis 5 Mikrosekunden.

Gleichzeitiges Einleiten von Detonationen von explosiven Ladungen in benachbarten Bohrungen 11, die verschiedenen Zündschienen 24 zugeordnet sind, d. h. in Bohrungen an der Stelle X₁ und Y₁ oder X₂ und Y₂ tritt normalerweise nicht auf. Durch den Richtungswechsel der Ausbreitung des Zündvorganges beim Übergang von der Zündungseinleitungsschiene 27 zu jeder der Zündschienen 24 tritt eine Zeitverzögerung auf. Diese durch den Richtungswechsel bedingte Zeitverzögerung und auch die Summierung der Herstellungstoleranzen sowie die Unhomogenitäten der explosiven Materialien führen hier dazu, dass gleichzeitiges Detonieren der explosiven Ladungen in benachbarten Bohrungen vermieden werden. Gleichzeitige Detonationen von explosiven Ladungen in benachbarten Bohrungen können nur rein zufälligerweise stattfinden, und deren gleichzeitiges Auftreten kann auf ein Minimum herabgesetzt werden, indem die Qualitätskontrolle der Komponenten der Einrichtung und die

Reinheit der Zusammensetzung des explosiven Materials genau beachtet wird.

Bei kritischen Anwendungen der oben beschriebenen Verbindungstechnik, wobei das mögliche Auftreten von Materialausbrüchen bei den Stegen und Veränderungen der Fluchtdistanzen nicht annehmbar sind, kann dessen ungeachtet das erfindungsgemässe Verfahren dennoch zum Einleiten der Detonationen der explosiven Ladungen verwendet werden, wenn sich diese Ladungen nur in einer einzigen Reihe von Bohrungen befinden. Wie in der Fig. 11 gezeigt, können anstelle der Sprengkörper 20 Einsätze 60 in die Bohrungen 11 jeder zweiten Reihe eingesetzt werden. Durch die in jede zweite Reihe eingesetzten Einsätze 60 werden Detonationen von explosiven Ladungen in benachbarten Bohrungen 11 vermieden und die Stege 12 zwischen den Bohrungen, in die die Sprengkörper 20 eingesetzt sind und den Bohrungen, in welche die Einsätze 60 eingesetzt sind, können sich nicht bewegen.

Die Fig. 12 zeigt einen der Einsätze in schaubildlicher Darstellung und teilweise im Schnitt. Jeder Einsatz 60 besitzt eine zylindrische Form und ist so dimensioniert, dass er in eine der Bohrungen 11 eingesetzt werden kann, so dass er die Innenfläche der Bohrung abstützt und damit der durch die Detonation der explosiven Ladung 31 in einer der benachbarten Bohrungen 11 hervorgerufenen Tendenz der Bewegung des Steges entgegenwirkt. Der Einsatz 60 besitzt vorzugsweise einen kreiszylindrischen Teil 61 aus hartfederndem Gummi und einen hexagonal geformten zylindrischen Kopfteil 62, vorzugsweise aus Metall. Der Kopfteil 62 weist die gleichen seitlichen Abmessungen auf, wie das Abstandsglied 37 der Sprengkörper 20.

Der Kopfteil 62 der verschiedenen Einsätze 60 dienen dem gleichen Zweck wie die Abstandsglieder 37 der Sprengladungen 20, indem sie zusammen mit den Abstandsgliedern

37 einen Schutzschirm für die Frontseite 13 der Rohrplatte 10 während des Verbindungsprozesses bilden. Der aus Gummi bestehende zylindrische Teil 61 jedes Einsatzes 60 besitzt eine achsiale Bohrung, durch die sich ein Bolzen 63 ausgehend von einer kreisförmigen Grundplatte 64 erstreckt. Der hexagonale Kopfteil 62 jedes Einsatzes 60 weist ebenfalls eine achsiale Bohrung auf, durch die sich der Bolzen 63 erstreckt. Der über den Kopfteil 62 hinausragende Endbereich des Bolzens 63 ist mit einem Gewinde versehen, auf das eine Schraubenmutter 65 aufgeschraubt ist und den hexagonalen Kopfteil 62 und den zylindrischen Teil gegen die Grundplatte 64 presst. Vorzugsweise ist zwischen der Schraubenmutter 65 und dem Kopfteil 62 eine Unterlagscheibe 66 angeordnet. Nachdem der Einsatz 60 in die Bohrung eingesetzt ist, wird die Schraubenmutter 65 angezogen, so dass der aus Gummi bestehende zylindrische Teil 61 gegen die Innenfläche der Bohrung 11 anliegt. Der komprimierte zylindrische Teil 61 liegt dann vollständig an der Innenfläche der Bohrung 11 an und widersetzt sich jeder Verschiebung der Stege 12 der betreffenden Bohrung und der benachbarten Bohrung, in welcher eine explosive Ladung detoniert.

Nachdem die in den ersten Reihen angeordneten Rohre 30 mit der Rohrplatte 10 verbunden sind, werden die Einsätze 60 aus den Bohrungen der zweiten Reihen entfernt und durch Sprengkörper 20 ersetzt. Ähnliche Einsätze, deren zylindrische Teile aus Gummi einen kleineren Durchmesser aufweisen, können dann in die bereits mit der Rohrplatte 30 verbundenen Rohre 30 eingesetzt werden. Auf diese Weise kann der Bewegung der Stege entgegengewirkt werden, wenn die Sprengkörper 20 in den zweiten Reihen der Bohrungen 11 nacheinander detonieren, dadurch wird auch die Beanspruchung der Verbindungsstellen zwischen den vorangehend mit der Rohrplatte 10 verbundenen Rohre 30 vermieden.

4 Blatt Blatt 1*



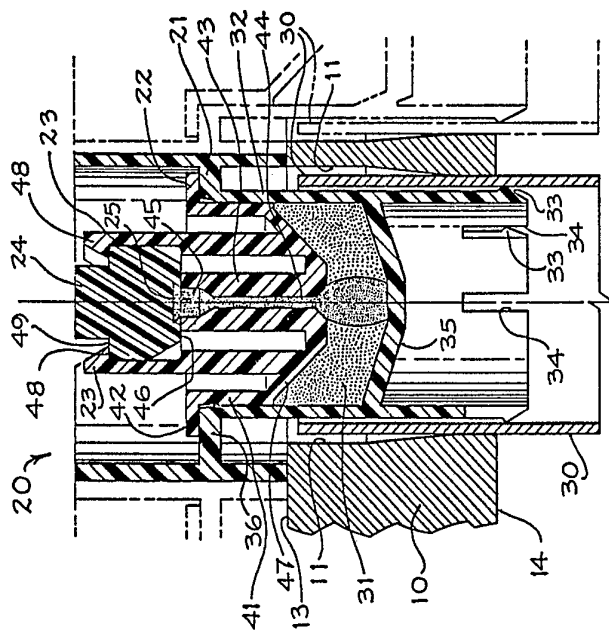


FIG. 1

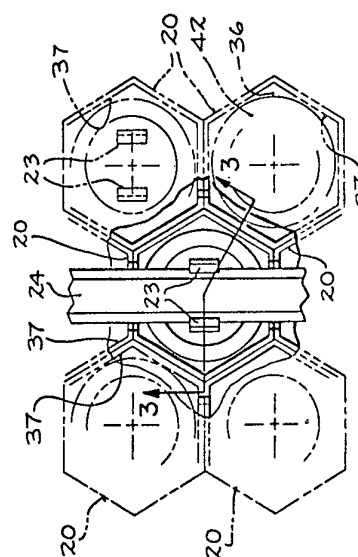


FIG. 2

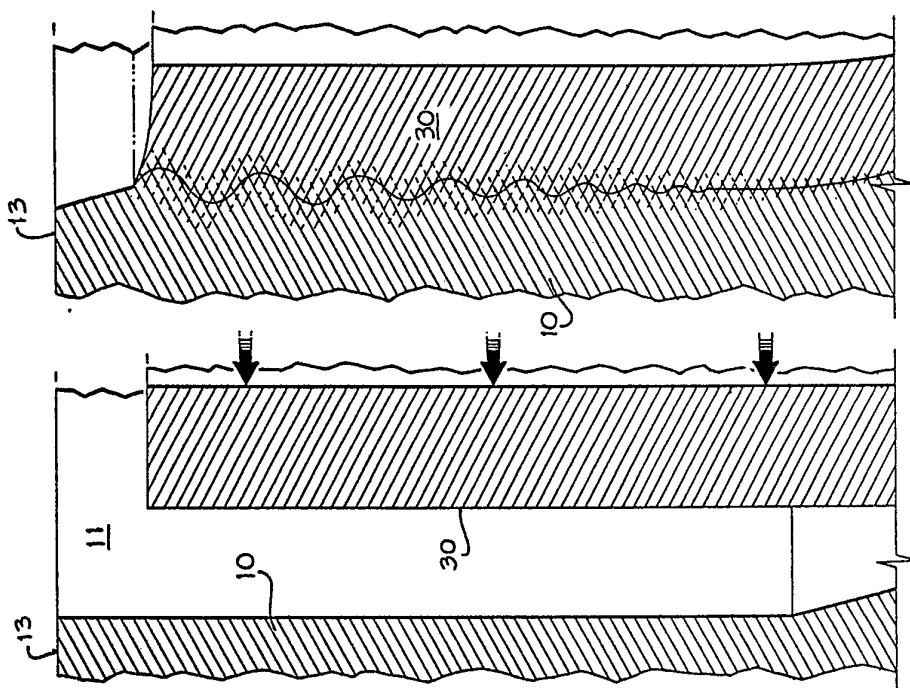


FIG. 3

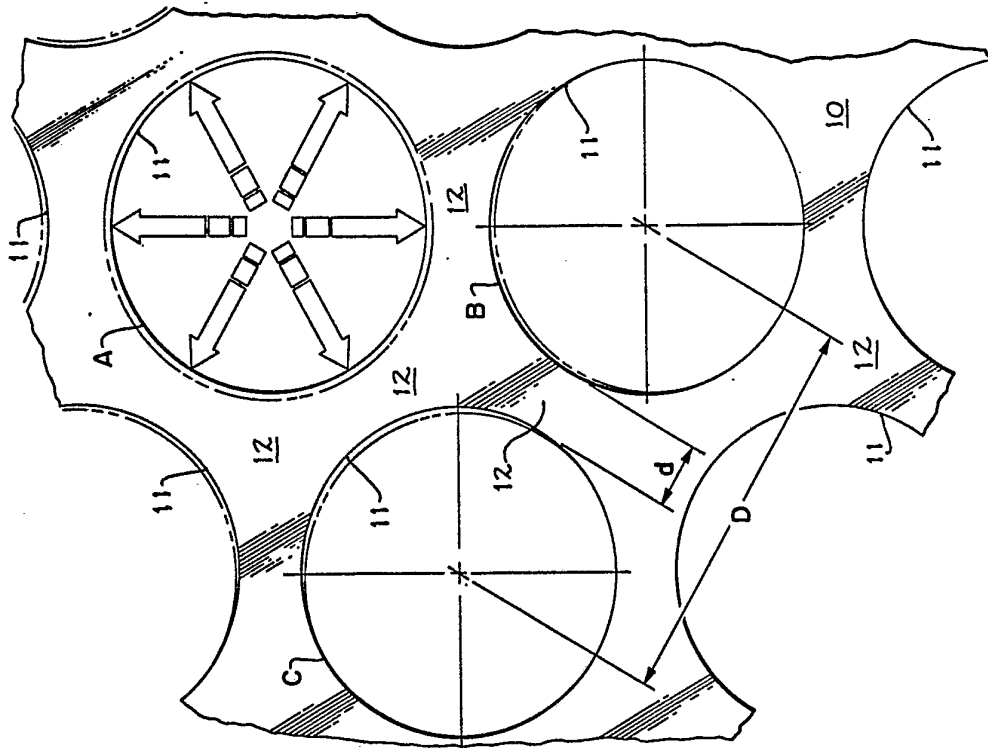


FIG. 3

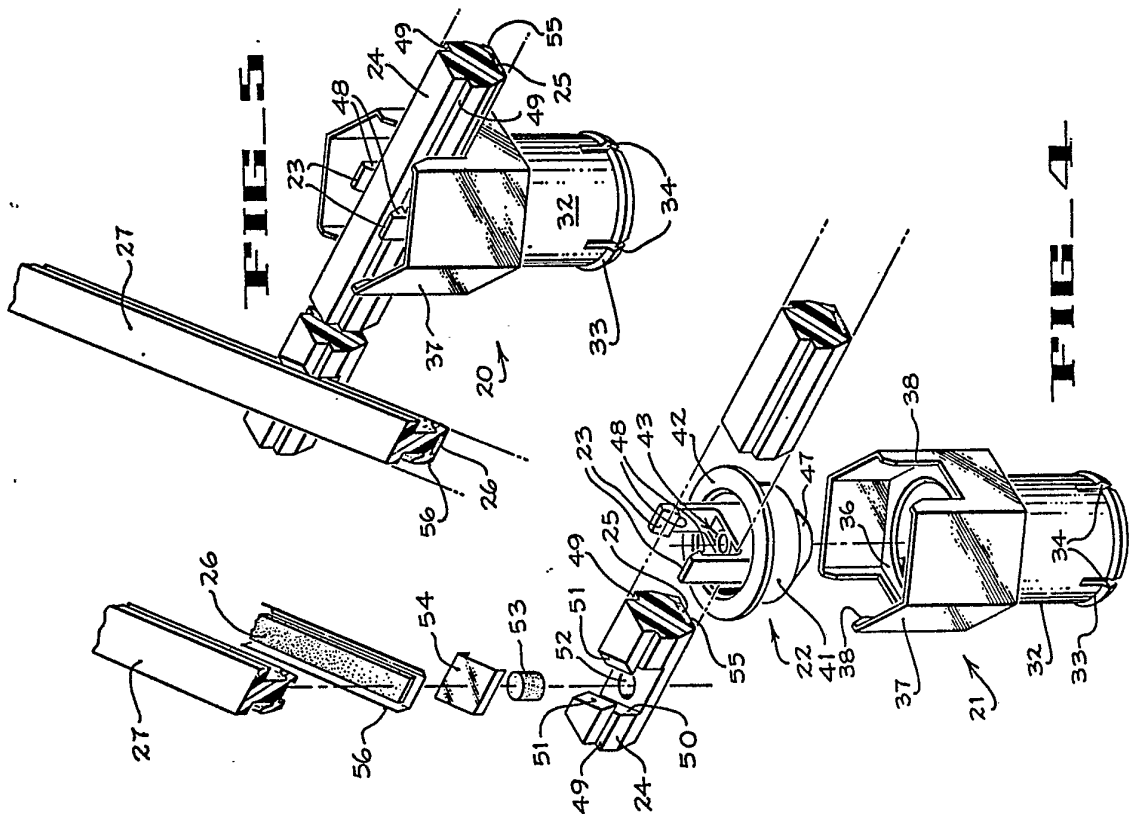


FIG. 5

FIG. 4

