



Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27.10.1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) B 22 F 3/14

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	DD B 22 F / 330 969 7	(22)	19.07.89	(44)	31.10.90
------	-----------------------	------	----------	------	----------

(71)	siehe (73)
(72)	Merzhanov, Alexandr G.; Borovinskaya, Inna P.; Pitjulin, Alexandr N.; Ratnikov, Viktor I.; Epishin, Konstantin L.; Kvanin, V'adim L., SU
(73)	INSTITUT STRUKTURNOI MAKROKINETIKI AKADEMII NAUK SSSR, Moskovskaya oblast, SU
(74)	Internationales Patentbüro Berlin, Wallstraße 23/24, Berlin, 1020, DD

(54)	Verfahren zur Herstellung von Verbundstoff
------	--

(55) Verfahren; Verbundstoff; Metallverbindungen; Pulvermetallurgie; Einsatz; Verdichtung; Brennprodukte; Druck; Geschwindigkeit; Homogenisierung; Abkühlung

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Verbundstoff, insbesondere auf der Grundlage hochschmelzender Metallverbindungen der Gruppen III–VI, VIII des Periodensystems der Elemente, und wird auf dem Gebiet der Pulvermetallurgie angewendet. Als Lösung wird vorgeschlagen, daß man den Einsatz nach der Entzündung bis zur Verdichtung der Brennprodukte 0,1 bis 0,5 Stunden abstehen läßt, und die Verdichtung der heißen Brennprodukte unter einem Druck bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von etwa 10 bis etwa 2000 kp/cm² · s mit dem nachfolgenden Aushalten des verdichteten Produktes unter den isobarischen Bedingungen bis zur vollständigen Homogenisierung des Verbundstoffes und dessen nachfolgende Abkühlung durchführt. Dadurch wird eine hohe Homogenität des Verbundstoffes hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung und der Dichte erreicht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Verbundstoff, das die Aufbereitung des Einsatzes, der zumindest ein metallisches Element der Gruppen III-VI, VIII des Periodensystems und zumindest eine Verbindung zumindest eines der Elemente der genannten Gruppen, einzeln oder in Kombination genommen, zumindest ein nichtmetallisches Element der Gruppen III-VI des Periodischen Systems und zumindest eine Verbindung zumindest eines der Elemente der genannten Gruppen, einzeln oder in Komposition genommen, und ein Bindemittel enthält, die Verdichtung des Einsatzes, die Unterbringung des Einsatzes in die Syntheszone, dessen Entzündung mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, die Verdichtung der heißen Brennprodukte mit der Gewinnung des Zielverbundproduktes, dadurch gekennzeichnet, daß man den Einsatz nach der Entzündung bis zur Verdichtung der Brennprodukte im Laufe von ca. 0,1 s bis etwa 0,5 Std. abstehen läßt und die Verdichtung der heißen Brennprodukte unter einem Druck bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von ca. 10 bis etwa 2000 kp/cm²·s mit dem nachfolgenden Aushalten des verdichteten Produktes unter den isobari-schen Bedingungen bis zur vollständigen Homogenisierung des Verbundstoffes und dessen nachfolgende Abkühlung durchführt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß nach der Homogenisierung, jedoch vor der Abkühlung des Verbundstoffes dieser wärmebehandelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß

der Verbundstoff nach der Abkühlung einer Wärmebehandlung unterzogen wird.

4. Verfahren nach einem beliebigen der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der gewonnene Verbundstoff mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von ca. 10 bis etwa 5000 Grad/Std. abgekühlt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest im Augenblick der Einsatzentzündung und bis zum Anfangstadium des Aushaltens vor der Verdichtung der Brennprodukte ein Druck von ca. 10 bis etwa 1000 kp/cm² erzeugt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der genannte Druck im Laufe der gesamten Aushaltezeit vor der Verdichtung der Brennprodukte aufrechterhalten wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Entzündung des Einsatzes dieser durch eine äußere Energiequelle bis auf eine Temperatur von ca. 100 bis etwa 1200 °C erwärmt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Einsatz nach dessen Verdichtung in eine poröse wärmeisolierende Hülle untergebracht wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die wärmeisolierende Hülle eine offene Porösität hat, dabei beträgt das Volumen der offenen Porösität etwa 60 % und weniger von dem Volumen der wärmeisolierenden Hülle.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Entzündung des Einsatzes die Synthesezone bis zu einem Restdruck von etwa 10^{-1} mm QS und weniger einem Vakuum ausgesetzt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Einsatz bis zu einer relativen Dichte von ca. 20 bis etwa 90 % verdichtet wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Einsatz während des Verdichtungsprozesses geformt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Halten vor der Verdichtung der heißen Brennprodukte, deren Verdichtung und das Halten des verdichteten Produktes unter den isobarischen Bedingungen in einem Ultraschallfeld durchgeführt wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Einsatz mit Hilfe des Ultraschalls entzündet wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Oberfläche des Einsatzes in der Synthesezone eine perforierte Schicht aus einem thermostabilen Stoff angeordnet wird, auf welche ein Zündsatz, dessen Brenngeschwindigkeit der Brenngeschwindigkeit des Einsatzes gleich ist oder diese übertrifft, untergebracht wird, dabei wird die Entzündung des Einsatzes mit Hilfe des Zündsatzes durchgeführt.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß im Einsatz vor dessen Entzündung Gasableitungskanäle ausgeführt werden, deren Volumen etwa 60 % und weniger von dem Volumen des Einsatzes ausmacht.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß als metallisches Element Abfälle des Metalle der Gruppen III-VI, VIII des Periodischen Systems und/oder dessen Legierung verwendet werden.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß als nichtmetallisches Element das nichtmetallische Element der Gruppen III-VI des Periodischen Systems, das zu den Abfällen der Produktion gelangt, verwendet wird.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß als Bindekomponente eine Komponente, die zu den Abfällen der Produktion gelangt, verwendet werden.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

Verfahren zur Herstellung von Verbundstoff

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Verbundstoff, insbesondere auf der Grundlage hochschmelzender Metallverbindungen der Gruppen III-VI, VIII des Periodensystems der Elemente, und wird auf dem Gebiet der Pulvermetallurgie angewendet.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Die Verbundstoffe auf der Grundlage dieser Verbindungen, z. B. der Karbide, Boride, Nitride, Karbonitride der Übergangsmetalle können in der metallurgischen Werkzeugmaschinenbau- und elektrotechnischen Industrie zur Herstellung von Schneidwerkzeugen, hartschmelzenden Ausrüstungen, Gesenken und anderen Erzeugnissen verwendet werden.

Ein effektiver Einsatz der Verbundstoffe in mehreren Industriezweigen ist durch ihre ziemlich wertvollen Eigenschaften bedingt.

Solch eine Art der Verbundstoffe, wie z. B. Hartlegierungen, besitzt eine hohe Härte (86-94 Einheiten nach der HRA-Skala), die sich mit einer hohen Verschleißfestigkeit, d. h. mit einem hohen Abnutzungswiderstand bei Reibung an Metallen sowie an nichtmetallischen Werkstoffen vereinigt.

Eine andere Art der Verbundstoffe - Karbidstähle - besitzt

eine Härte, die sich an die Härte der metallkeramischen Werkstoffe nähert, und eine Festigkeit, die der Stahlfestigkeit kaum nachsteht.

Einige Verbundstoffe sind imstande, in einem bedeutenden Maße ihre Eigenschaften bei höheren Temperaturen aufrechtzuerhalten.

Am effektivsten können die Verbundstoffe zur Herstellung von Schneidwerkzeug, Gesenkausrüstung und anderen Erzeugnissen verwendet werden.

Heutzutage sind die Verfahren zur Herstellung von Verbundstoffen sehr mannigfaltig und verschiedenartig.

Am meisten verbreitet ist das Verfahren zur Herstellung von hochschmelzenden Stoffen (W.I. Tretjakow "Grundlagen der Metallkunde und Technologie zur Herstellung von Sinterhartlegierungen", 1976, "Metallurgie", (Moskau), S. 7), das in sich die Herstellung von hochschmelzenden Verbindungen mit der nachfolgenden Anwendung der Verfahren der Pulvermetallurgie einschließt, die in der Aufbereitung des Einsatzes durch Vermischen von Pulvern der gewonnenen hochschmelzenden Verbindungen mit dem Bindemittel, im Pressen der Halbzeuge und deren Sinterung bei einer Temperatur von 1350 bis 1550 °C im Laufe von einigen Stunden in den Vakuum- oder Wasserstoffelektroöfen, besteht.

Die hochschmelzenden Verbindungen für Hartlegierungen (Karbide, Boride, Nitride der Übergangsmetalle) gewinnt man durch die Synthese aus den entsprechenden Metallen (oder deren Oxyden) und Nichtmetallen (Bor, Kohlenstoff, Stickstoff)

in Elektroöfen bei Temperaturen von 1600-2200 °C im Laufe von einigen Stunden (ebd., S. 265-293).

Ein anderes in ökonomischer und technologischer Hinsicht fortschrittliches Verfahren zur Herstellung von hochschmelzenden Verbindungen (US-PS 3726643) besteht darin, daß man zumindest ein Metall der Gruppen IV-VI des Periodischen Systems zumindest mit einem, der Nichtmetalle, wie Kohlenstoff, Stickstoff, Bor, Silizium, Sauerstoff, Phosphor, Fluor, Chlor, vermischt und den gewonnenen Einsatz lokal nach einem beliebigen bekannten Verfahren, z. B. durch Verwendung einer Wolframspirale, entzündet. Dabei wird eine Temperatur erzeugt, die zum Initiieren der exothermen Reaktion der Wechselwirkung der Metalle mit den Nichtmetallen auf einem kleinen Abschnitt des Einsatzes erforderlich ist.

Im weiteren bedarf der Prozeß der Wechselwirkung der Einsatzkomponenten keine äußeren Erwärmungsquellen, da er auf Kosten der Wärme der exothermen Reaktion selbst verläuft. Die Reaktion pflanzt sich im Einsatz spontan im Brennregime auf Kosten der Wärmeübertragung von der erhitzten zu der kalten Einsatzschicht mit einer Brenngeschwindigkeit von 4-16 cm/s fort.

Dieses Verfahren zur Herstellung von Hartlegierungen weist mehrere Stadien auf: es schließt das Stadium der Vorgewinnung der hochschmelzenden Verbindungen und deren nachfolgende Behandlung nach den bekannten Verfahren der Pulvermetallurgie ein.

Außerdem ist das genannte Verfahren mit einem hohen Energieaufwand verbunden und es gestattet nicht, dichte und homo-

gene Stoffe auf der Grundlage einiger hochschmelzenden Verbindungen, z. B. auf der Grundlage von TiB_2 , wegen ihrer schlechten Sinterfähigkeit, zu erhalten.

Bekannt ist ein Verfahren zur Herstellung von hochschmelzendem Stoff (US-PS 4431448), dessen Porosität unter 1 % liegt, mit folgender Zusammensetzung (Angabe in Massenanteil in %):

Titandiborid	-	40-60;
Bindemittel	-	3-30;
Titankarbid	-	Rest.

Dieses Verfahren schließt die Aufbereitung des Ausgangseinsatzes durch Vermischen von Titan-, Bor-, Kohlenstoffpulvern und zumindest eines der gegenüber Bor inaktiven Metalle I 6 Untergruppe des Periodischen Systems der Elemente oder der Legierung auf der Grundlage eines der genannten Metalle oder der Metallpulver, die die genannte Legierung unter den Bedingungen der exothermen Reaktion bilden, ein. Danach erfolgen die Pressung des Einsatzes, die lokale Entzündung des Einsatzes zum Initiieren der exothermen Reaktion der Wechselwirkung des Titans mit Bor und Kohlenstoff, die dann spontan im Brennprozeß vorläuft und sich im Einsatz durch Wärmeübertragung von der erhitzten Einsatzschicht zu der kalten fortpflanzt. Nach Beendigung der exothermen Reaktion wird die gewonnene festflüssige Reaktionsmasse bis auf eine Porosität von unter 1 % zusammengedrückt.

Die beschriebene technische Lösung zeichnet sich durch eine einfache technologische Lösung und Wirtschaftlichkeit aus. Sie ermöglicht es, hochfeste und verschleißfeste Stoffe mit einer ausreichend hohen Festigkeit zu gewinnen. Durch die Verwendung der genannten Gesamtheit von Verfahren konnte die

Porosität der Hartlegierung bis auf 1 % und weniger gesenkt werden.

Jedoch weisen die nach dem genannten Verfahren gewonnenen Stoffe eine hohe Inhomogenität der chemischen Zusammensetzung und der physikalisch-mechanischen Eigenschaften auf.

Dies wird dadurch erklärt, daß die Vollständigkeit des Reagierens der Einsatzkomponenten in der Brennzzone weniger als Eins ist, infolgedessen enthalten die Brennprodukte nicht an der Reaktion teilgenommene Komponenten, die im Volumen der Brennprodukte ungleichmäßig verteilt sind.

Dies führt zu der Störung der chemischen Homogenität des Verbundstoffes.

Überdies kommt es zu einer Störung der Wärmeisotropie der Brennprodukte, was ihre ungleichmäßige Verdichtung bedingt und zu einer Verminderung der Homogenität der physikalisch mechanischen Eigenschaften des Verbundstoffes führt.

Bekannt ist ein Verfahren zur Herstellung von hartschmelzendem Stoff (EP-PS 165707), das die Aufbereitung des Einsatzes, der zumindest ein metallisches Element der Untergruppen III, IVa, Va und VIa des Periodischen Systems und zumindest eine Verbindung zumindest eines der Elemente der genannten Gruppen, einzeln oder in Kombination genommen, zumindest ein nichtmetallisches Element, gewählt aus der Reihe Bor, Kohlenstoff, Stickstoff und Silizium, und zumindest eine Verbindung zumindest eines der genannten Elemente, einzeln oder in Kombination genommen, und ein Bindemittel enthält, die Verdichtung des Einsatzes, die Unterbringung des Einsatzes

in die Synthesezone, die Entzündung des Einsatzes mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennprozeß, die Verdichtung der heißen Brennprodukte mit der Gewinnung des Zielproduktes einschließt.

Das beschriebene Verfahren gestattet es, metallkeramische Stoffe auf der Grundlage verschiedener hochschmelzender Verbindungen zu erhalten, wobei die erzeugten Stoffe sich durch hohe Härtekennwerte und eine sehr unwesentliche Porosität (unter 1 %) auszeichnen.

Jedoch ist dabei die Homogenität der synthetisierten Stoffe nicht ausreichend genug, was durch unvollständiges Reagieren der Komponenten des Ausgangseinsatzes, durch ungleichmäßige Verdichtung der Brennprodukte und durch eine bedeutende Thermospannung bedingt ist.

Die Inhomogenität der Hartlegierungen, die nach dem vorliegenden Verfahren gewonnen werden, kann zu einer Instabilität und in einigen Fällen auch zu einer prompten Verschlechterung von Gebrauchswerteigenschaften der aus den genannten Werkstoffen herzustellenden Einzelteilen führen.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, den Energieaufwand zu senken und die Qualität des Verbundstoffes zu verbessern.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Herstellung von Verbundstoff, das die Aufbereitung des Ein-

satzes, der zumindest ein metallisches Element der Gruppen III-VI, VIII des Periodischen Systems und zumindest eine Verbindung zumindest eines der Elemente der genannten Gruppen, einzeln oder in Kombinationen genommen, zumindest ein nichtmetallisches Element der Gruppen III-VI des Periodischen Systems und zumindest eine Verbindung zumindest eines der Elemente der genannten Gruppen, einzeln oder in Kombination genommen, und ein Bindemittel enthält, die Verdichtung des Einsatzes, die Unterbringung des Einsatzes in die Syntheszone, die Entzündung des Einsatzes mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime die Verdichtung der heißen Brennprodukte mit der Gewinnung des Zielverbundproduktes, zu schaffen, das es erlaubt, auf Kosten einer Veränderung des technologischen Syntheseregimes eine hohe Homogenität des gewonnenen Verbundstoffes hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung und der Dichtheit zu erreichen, bei Aufrechterhaltung dessen niedriger Porosität.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß man den Einsatz nach der Entzündung bis zur Verdichtung der Brennprodukte im Laufe von 0,1 bis etwa 0,5 Std. abstehen läßt, und die Verdichtung der heißen Brennprodukte unter einem Druck bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von ca. 10 bis etwa 2000 kp/cm².s mit dem nachfolgenden Aushalten des verdichteten Produktes unter den isobaren Bedingungen bis zur vollständigen Homogenisierung des Verbundstoffes und dessen nachfolgende Abkühlung durchführt.

Es wird empfohlen, nach der Homogenisierung, jedoch vor der Abkühlung des Verbundstoffes diesen einer Wärmebehandlung zu unterziehen.

Es ist zweckmäßig, den Verbundstoff nach der Abkühlung einer Wärmebehandlung zu unterziehen.

Es ist wünschenswert, den gewonnenen Verbundstoff mit der durchschnittlichen Geschwindigkeit von ca. 10 bis etwa 5000 Grad/Std, abzukühlen.

Es wird empfohlen, zumindest im Augenblick der Entzündung des Einsatzes und im Anfangsstadium des Aushaltens vor der Verdichtung der Brennprodukte einen Druck von ca. 10 bis etwa 1000 kp/cm^2 zu erzeugen.

Es ist zweckmäßig, diesen Druck im Laufe der gesamten Aushaltezeit vor der Verdichtung der Brennprodukte aufrechtzuhalten.

Es ist wünschenswert, vor der Entzündung des Einsatzes diesen durch eine äußere Energiequelle bis auf eine Temperatur von ca. 100 bis etwa 1200°C zu erwärmen.

Es wird empfohlen, den Einsatz nach dessen Verdichtung in eine poröse wärmeisolierende Hülle unterzubringen.

Es ist zweckmäßig, daß die wärmeisolierende Hülle eine offene Porosität hat, dabei soll das Volumen der offenen Porosität etwa 60 % vom Volumen der wärmeisolierenden Hülle betragen.

Es ist wünschenswert, vor der Entzündung des Einsatzes die Syntheszone bis auf den restlichen Druck von etwa 10^{-1} mm QS und weniger einem Vakuum auszusetzen.

Es wird empfohlen, den Einsatz während des Verdichtungsprozesses zu formen.

Es ist zweckmäßig, den Einsatz bis auf die relative Dichte von ca. 20 bis etwa 90 % zu verdichten, wobei während des Verdichtungsprozesses der Einsatz geformt wird

Es ist wünschenswert, das Aushalten vor der Verdichtung der heißen Brennprodukte, deren Verdichtung und das Aushalten der verdichteten Produkte unter den isobarischen Bedingungen in einem Ultraschallfeld durchzuführen.

Es ist zweckmäßig, den Einsatz mit Hilfe eines Ultraschalls zum Entzünden zu bringen.

Es ist wünschenswert, auf der Oberfläche des Einsatzes in der Syntheszone eine perphorierte Schicht aus thermostabilem Stoff anzuordnen, auf welche ein anzündendes Mittel gelegt wird, dessen Brenngeschwindigkeit der Einsatz-Brenngeschwindigkeit gleich ist oder diese übertrifft, dabei ist die Anzündung des Einsatzes mittels eines anzündenden Mittels durchzuführen.

Es wird empfohlen, im Einsatz vor dessen Entzündung Gaskanäle auszubilden, deren Volumen ca. 60 % und weniger von dem Volumen des Einsatzes ausmacht.

Als metallisches Element werden Abfälle des Metalls der Gruppen III-VI, VIII des Periodensystems und/oder dessen Legierung verwendet. Als nichtmetallisches Element kann auch das nichtmetallische Element der Gruppen III-VI des Periodensystems, das zu den Abfällen der Produktion gelangt, verwendet werden.

Als Bindekomponente kann eine Komponente, die zu den Abfällen der Produktion gelangt, verwendet werden.

Die Anwendung des beanspruchten Verfahrens gestattet es, eine hohe Homogenität des Verbundstoffes hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung und der Dichtheit unter Beibehaltung dessen niedriger Porosität zu erreichen.

Die Aufbereitung des Einsatzes, der zumindest ein metallisches Element der Gruppen III-VI, VIII des Periodischen Systems und zumindest eine Verbindung zumindest einer der Elemente der genannten Gruppen, einzeln oder in Komposition genommen, zumindest ein nichtmetallisches Element der Grup-

pen III-VI des Periodischen Systems und zumindest eine Verbindung zumindest eines der Elemente der genannten Gruppen, einzeln oder in Korposition genommen, und ein Bindemittel enthält, gestatte es, ein Gemisch zu erhalten, das zu einem Hochtemperaturreagieren im Brennprozeß fähig ist. Bei Entzündung des Einsatzes findet das Initiieren der Brennreaktion statt, die durch eine spontane Ausbreitung der Brennzona (der Reaktionsfront) im Einsatz auf Kosten der Wärmeübertragung von der heißen zu der kalten Schicht verläuft.

Beim Brennprozeß bilden sich die Verbindungen der entsprechenden Elemente - der Komponenten des Einsatzes - und es kommt zum Schmelzen und Fließen des Bindemittels.

Jedoch findet beim Reagieren der Komponenten des Einsatzes im Brennprozeß eine bedeutende Entwicklung von Gasen statt, die in der Hauptsache oberflächenadsorbierte Gase und leichtsublimierbare Beimengungen darstellen.

Infolgedessen wird in dem porösen Volumen der Brennprodukte ein bedeutender Druck der Gase erzeugt, der dem Verdichtungsprozeß entgegen wirkt.

Zudem erreicht die Vollständigkeit des Reagierens der Komponenten des Einsatzes in der Brennfront den Wert von 100 % nicht, d. h. die Wechselwirkung der Komponenten dauert auch nach Durchgang der Brennwelle durch den Einsatz an.

Um die Vollständigkeit des Reagierens der Ausgangskomponenten des Einsatzes, die Homogenisierung der Brennprodukte und die Ableitung der sich entwickelnden Gase zu gewährleisten, ist es notwendig, die Brennprodukte im Laufe einer

gewissen Zeit vor der Abdichtung der Brennprodukte auszuhalten. Die Dauer der Verweilzeit hängt von vielen Faktoren, wie das Medium und die Zeit der Aufbereitung des Einsatzes, die relative Dichte des Einsatzes nach der Verdichtung, die charakteristische Größe des Einsatzvolumens, und anderen Faktoren ab.

Während der Verweilzeit wird seinerseits eine intensive Temperatursenkung der Brennprodukte beobachtet, d. h. es findet eine Verschlechterung deren Verdichtung statt. Bei einer grafischen Darstellung der qualitativen Abhängigkeit der relativen Dichte des Verbundstoffes (β) von der Dauer der Haltezeit (τ) ist folgendes ersichtlich.

Es gibt ein Gebiet der optimalen Werte der Haltezeit vor der Verdichtung der Brennprodukte (τ_{optimal}), in dem die relative Dichte des Verbundstoffes maximal ist.

Bei τ weniger als τ_{optimal} erfolgt die Verstopfung der vergasten Beimengungen, die bei der Abkühlung sich im Stoff auflösen und dessen Homogenität stören.

Außerdem führt eine vorzeitige Verdichtung der Brennprodukte zu einer unvollständigen Nachreagierung der Einsatz-Komponenten, was ebenfalls die Homogenität des Verbundstoffes stört. Durch diese Ursachen wird die untere Grenze der Haltezeit bestimmt.

Bei τ größer als τ_{optimal} erfolgt eine prompte Temperaturerniedrigung der Brennprodukte, was zu einer unvollständigen Verdichtung des Verbundstoffes, d. h. zur Erhöhung dessen Porosität führt.

Die obere Grenze der Haltezeit wird also durch die Möglichkeit einer vollständigen Verdichtung des Stoffes bestimmt.

Nach Ablauf der Haltezeit beginnt man mit Verdichtung der heißen Brennprodukte unter Druck.

In diesem Falle spielt die durchschnittliche Geschwindigkeit der Druckerhöhung eine große Rolle. Beim Brennen kleiner Einsatzvolumen mit geringer Wärmereserve ist eine schnelle Verdichtung der Brennprodukte erforderlich, bevor ihre Temperatur bis auf kritische Temperatur heruntergeht (als kritisch wird die Temperatur der Brennprodukte bezeichnet, bei der ihre Verdichtung nicht mehr möglich ist). In diesem Falle ist die durchschnittliche Geschwindigkeit der Druckerhöhung hoch.

Beim Verdichten großer Einsatzvolumen kann eine schnelle Druckerhöhung infolge überwiegender Verdichtung der Grenzschichten zu ungleicher Dichte des synthetisierbaren Verbundstoffes führen.

Auf diese Weise wird das beanspruchte Intervall der durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung durch folgende Faktoren bestimmt:

- die untere Grenze - durch die Möglichkeit einer gleichmäßigen Verdichtung der Brennprodukte großen Volumens bis zu einem praktisch porenlosen Zustand, d. h. bei Verminderung der Geschwindigkeit der Druckerhöhung steigt die Porosität des Endverbundstoffes an;
- die obere Grenze - durch die Möglichkeit einer vollständigen Verdichtung der Brennprodukte kleinen Volumens bei Aufrechterhaltung einer hohen Homogenität des Verbund-

stoffes, d. h. bei einem weiteren Ansteigen der durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung wird die Homogenität des Verbundstoffes gestört.

Die Eigenschaften des Verbundstoffes werden durch die Haltezeit des verdichteten Produktes unter den isobarischen Bedingungen stark beeinflusst. Während dieser Haltezeit findet außer einer weiteren Verdichtung des Stoffes seine Homogenisierung statt, d. h. das Ausgleichen der Konzentrationsprofile im Stoffvolumen, eine gleichmäßige Mikroporenverwachsung, der Austritt der Strukturdefekte auf die Stoffoberfläche.

Somit gestattet die Haltezeit unter den isobarischen Bedingungen die Homogenität des Verbundstoffes bedeutend zu steigern.

Die Bildung des Verbundstoffes verläuft unter den Extrembedingungen. Zudem haben die hochschmelzende Komponente und die Binderkomponente oft unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten. Infolgedessen weist der Stoff nach dem Aushalten unter den isobarischen Bedingungen kolossale thermische Spannungen auf.

Es ist folglich wünschenswert, vor der Abkühlung des Verbundstoffes dessen thermische Behandlung vorzunehmen. So gestattet z. B. das Glühen die Gefüge- und thermische Spannungen im Stoff zu beseitigen, d. h. dessen Gefügehomoogenität zu erhöhen.

Eine andere Art der thermischen Behandlung ist die Normalisierung, sie gestattet es, die Homogenität der Binderkompo-

nente zu erhöhen, d. h. sie führt auch zur Gewinnung eines gleichmäßigeren Stoffes.

Als weiterer Vorteil der thermischen Behandlung kann eine Verbesserung der Bearbeitbarkeit des Verbundstoffes, z. B. durch Anlassen, sein.

Es ist zweckmäßig, die thermische Behandlung des gewonnenen Verbundstoffes nach der Abkühlung durchzuführen.

Erstens, die Alterungsprozesse verlaufen in einigen Stoffen intensiv. So kann z. B. in den Stoffen mit dem Binder auf der Titanbasis mit der Zeit die Homogenität der Binderkomponente infolge des Übergangs der Hochtemperatur - β - Modifikation in eine Niedrigtemperatur - α - Modifikation gestört werden. Solch eine Art der zusätzlichen thermischen Behandlung, wie die Härtung, gestattet es, in diesem Falle die Homogenität des Verbundstoffes zu erhöhen.

Es ist wünschenswert, den gewonnenen Verbundstoff mit der durchschnittlichen Geschwindigkeit von ca. 10 bis etwa 5000 Grad/Std. abzukühlen.

Einen bedeutenden Einfluß auf die Eigenschaften des Verbundstoffes übt die Geschwindigkeit dessen Abkühlung aus.

Bei einer sehr hohen Abkühlungsgeschwindigkeit können im Stoff zahlreiche Defekte entstehen, was zu einer Störung der Homogenität des Stoffes führt. Dadurch wird die obere Grenze der Abkühlungsgeschwindigkeit bestimmt.

Bei sehr niedrigen Abkühlungsgeschwindigkeiten können im

Stoff unerwünschte Prozesse verlaufen, wie: Rekristallisation, Veränderung der Phasenzusammensetzung einzelner Bestandteile des Verbundstoffes u. a. Die untere Grenze der Abkühlungsgeschwindigkeit ist also unter Berücksichtigung der Bedingungen zur Aufrechterhaltung einer hohen Homogenität des Verbundstoffes gewählt. Die obere Grenze der Abkühlungsgeschwindigkeit wird durch die Bedingungen der Aufrechterhaltung des Stoffes bestimmt, d. h. bei deren Erhöhung ist die Zerstörung des Stoffes möglich.

Es sei bemerkt, daß die Abkühlungsgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der Zusammensetzung des Verbundstoffes gewählt werden soll.

Wie bereits oben erwähnt, findet beim Brennen des Einsatzes eine beträchtliche Gasentwicklung statt, dabei kann die Gas sättigung $160 \text{ cm}^3/\text{g}$ und mehr erreichen.

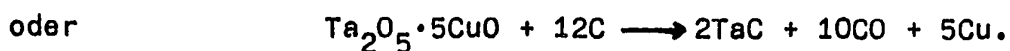
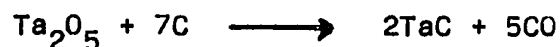
Folglich kann beim Brennen des Einsatzes eine Zerstörung des Einsatzes durch Gasströmungen erfolgen, was zur Störung der Homogenität des Verbundstoffes führt.

Um dies zu verhindern, ist es zweckmäßig, zumindest die Entzündung des Einsatzes und das Anfangsstadium des Aushaltens vor der Verdichtung der Brennprodukte unter einem Druck von ca. 10 bis etwa 1000 kp/cm^2 (als Anfangsstadium der Haltezeit wird das Zeitintervall bezeichnet, während dessen die Verbrennung des Einsatzes in der Hauptsache abgeschlossen wird) durchzuführen.

Die untere Druckgrenze wird durch die Bedingungen der Aufrechterhaltung der Ganzheit des Verbundstoffes bestimmt.

Die obere Grenze wird unter Berücksichtigung folgender Faktoren gewählt. Bei Druckerhöhung wird der Entgasungsprozeß der Brennprodukte verlangsamt, d. h. es entsteht die Notwendigkeit für eine längere Haltezeit, was zum Ansteigen der Porosität des Verbundstoffes führt. Zudem führt die Druckerhöhung zu der Intensivierung der Wärmeableitung von den heißen Brennprodukten, d. h. zur Verminderung deren Temperatur und Verschlechterung der Verdichtungsbedingungen des Verbundstoffes.

In einigen Fällen erfolgt eine starke Gasentwicklung nicht nur beim Brennen des Einsatzes, sondern auch im Prozeß des Nachreagierens der Komponenten, z. B. beim Vorhandensein im Einsatz von Verbindungen, die unter Bildung von gasförmigen Produkten reagieren. Als Beispiel können die Reaktionen angeführt werden:



Es empfiehlt sich, in diesem Falle die gesamte Haltezeit vor der Verdichtung der Brennprodukte unter einem Druck von ca. 10 bis etwa 1000 kp/cm² vorzunehmen. Die Wahl der Grenzdruckwerte wurde unter Berücksichtigung des Einflusses der oben beschriebenen Faktoren getroffen.

Die Brenngeschwindigkeit des in dem vorliegenden Verfahren anzuwendenden Einsatzes kann von einigen Millimeterteilen bis zu einigen zehntel Zentimetern pro Sekunde betragen. Dabei verändert sich die Brenntemperatur von 1000 °C bis 4000 °C.

Beim Brennen des Einsatzes mit einer kleinen spezifischen

Wärmeentwicklung, d. h. mit den geringen Geschwindigkeits- und Brenntemperaturwerten, kann eine bedeutende räumliche Nicht-Isothermie der Brennprodukte beobachtet werden, was zu einer Störung der Homogenität des Verbundstoffes führt.

Zudem besitzen einige Einsatzzusammensetzungen eine derart kleine Wärmeentwicklung, daß die Ausbreitung der Brennfront in ihnen ohne Zuleitung einer Zusatzwärme nicht möglich ist.

Es ist zweckmäßig, in diesem Falle vor der Entzündung des Einsatzes dessen Erhitzung durch eine äußere Energiequelle (Induktionserhitzung, Erhitzung durch direkten Stromdurchfluß, Erhitzung mit Hilfe eines "chemischen Ofens", Erhitzung in einem Ofen, Erhitzung im Ultraschallfeld u. a.) bis auf eine Temperatur von ca. 100 bis etwa 1200 °C durchzuführen).

Manchmal wird dieses Verfahren für die Erhöhung der Temperatur der Brennprodukte benutzt, d. h. für die Intensivierung der Prozesse der Verdichtung und Homogenisierung, was zur Erhöhung der Homogenität führt.

Es sei bemerkt, daß die Erhitzung des Einsatzes vor der Entzündung nur beim Abstellenlassen vor der Verdichtung der Brennprodukte, beim Halten des verdichteten Produktes unter den isobarischen Bedingungen und bei optimaler Geschwindigkeit der Druckerhöhung effektiv ist. Dies ist damit verbunden, daß das Reagieren des Einsatzes mit kleiner spezifischer Wärmeentwicklung mit einem verhältnismäßig kleinem Umwandlungsgrad der Elemente in der Brennwelle verläuft, d. h. es existiert eine bedeutende Nachbrennzone. Ein Nachreagieren der Einsatzkomponenten in der Nachbrennzone, wie bereits oben gezeigt, ist nur bei Durchführung des Haltens vor der Ver-

verdichtung der Brennprodukte möglich. Eine langsame Nachreagierung der Einsatzkomponenten führt zu einer Störung der Stoffhomogenität, was durch eine Durchführung der Verdichtung der Brennprodukte bei einer optimalen Geschwindigkeit der Druckerhöhung und durch Aushalten des verdichteten Produktes unter den isobarischen Bedingungen ausgeglichen wird.

Die untere Temperaturgrenze der Einsatzerhitzung vor der Entzündung wird durch die Bedingungen zur Erhaltung eines homogenen Verbundstoffes bestimmt, d. h. bei der Temperaturerniedrigung in den Brennprodukten kann eine beträchtliche Menge an nicht durchreagierten Komponenten vorhanden sein, was zu einer Störung der Homogenität des Stoffes und zur Erhöhung dessen Porosität führt.

Die obere Grenze ist durch die Bedingungen der Selbstentzündung des Einsatzes bedingt, d. h. bei hohen Temperaturen findet ein spontaner Reaktionsbeginn statt.

Bei der Gewinnung von Verbundstoffen, deren einzelne Ingredienzen eine hohe Schmelztemperatur besitzen, ist es ratsam, nach Verdichtung des Einsatzes den Einsatz in eine poröse wärmeisolierende Hülle unterzubringen.

Widrigenfalls kommt es zu einer Abkühlung und als Folge davon zu einer unvollständigen Verbrennung, und zu einer unvollständigen Verdichtung der Grenzschichten des Stoffes, was dessen Homogenität stört und die Dichte vermindert.

Die Verdichtung der Verbundstoffe mit einer hohen Schmelztemperatur ist bei einer optimalen Geschwindigkeit der Druckerhöhung durchzuführen, sonst wird der Verbundstoff eine

hohe Dichteungleichheit besitzen, d. h. er wird inhomogen sein.

Im Falle, wenn der Verbundstoff eine hohe Schmelztemperatur besitzt und der Ausgangseinsatz eine bedeutende Gassättigung hat, ist es zweckmäßig, daß die wärmeisolierende Hülle eine offene Porösität aufweist, deren Volumen etwa 60 % und weniger von dem Volumen der wärmeisolierenden Hülle beträgt.

In diesem Falle wird die Entgasung der Brennprodukte erleichtert, was zu einer Erhöhung der Einphasigkeit des Verbundstoffes führt.

Es sei bemerkt, daß die Synthese derartiger Stoffe ein obligatorisches Aushalten vor der Verdichtung der Brennprodukte und ein Aushalten der verdichteten Produkte unter den isobaren Bedingungen erforderlich macht.

Der obere Wert der offenen Porosität wird aus den Festigkeitsbedingungen der wärmeisolierenden Hülle bestimmt, d. h. bei einer weiteren Erhöhung der Porosität wird die wärmeisolierende Hülle zerstört, was es nicht gestattet, einen dichten homogenen Stoff zu erhalten.

Das Abstehenlassen vor der Verdichtung der Brennprodukte, das Halten der verdichteten Produkte unter den isothermen Bedingungen und die Verdichtung der Brennprodukte bei optimaler Geschwindigkeit der Druckerhöhung erlauben es:

- 1) als metallisches Element die Metallabfälle der Gruppen III-VI, VIII des Periodischen Systems und/oder dessen Legierung zu verwenden;
- 2) als nichtmetallisches Element das nichtmetallische Ele-

- ment der Gruppen III-VI des Periodischen Systems, das zu den Abfällen der Produktion gelangte, zu verwenden;
- 3) als Bindemittel das Bindemittel, das zu den Abfällen der Produktion gelangte, zu verwenden.

Als metallisches Element können Abfälle der verschiedenen Arten der Bearbeitung von Metallen und Legierungen: spanende Formung, Schleifen u. a., verwendet werden.

Es können auch verschiedene nicht standardgerechte Reste verwendet werden, die im Prozeß der Gewinnung von Metallen und Legierungen oder der Erzeugnisse aus diesen anfallen.

Als nichtmetallisches Element können sowohl die Abfälle der Bearbeitung, z. B. Graphitsplit, als auch verschiedene nicht standardgerechte Abfälle, z. B. Kohlenstoff- bzw. Borfaserabfälle, Siliziumspiegelabfälle, verbrauchte Graphitelektroden usw., verwendet werden.

Als Bindemittel kann eine beliebige Komponente verwendet werden, die zu den Abfällen der Produktion gelangte und besonderen Forderungen stattgibt, z. B. Abfälle der Bearbeitung von Stahl, Gußeisen, Metall, Nichtmetall u. a.

Die Abfälle verschiedener Produktionen sind in der Regel durch fremde Beimengungen stark verschmutzt. Diese Beimengungen werden bei einem Hochtemperaturreagieren der Einsatzkomponenten sehr oft sublimiert und erhöhen dadurch die Gasentwicklung bei der Synthese.

Auf diese Weise erlaubt nur das Abstehenlassen vor der Verdichtung der Brennprodukte eine vollständige Entgasung der

Brennprodukte, was, wie bereits oben erwähnt, zur Gewinnung eines dichten Verbundstoffs mit hoher Homogenität führt.

Zudem hat der Einsatz, zu dem die Abfälle der Produktion zählen, eine verminderte Geschwindigkeit und Temperatur der Verbrennung, d. h. bei der Verdichtung der Brennprodukte verlaufen die Verdichtungs- und Homogenisierungsprozesse langsamer als bei Verwendung von Reinelementen.

Auf diese Weise gewinnen eine besondere Bedeutung die Durchführung der Haltezeit der verdichteten Stoffe unter den isobarischen Bedingungen und die Verdichtung des Stoffes bei optimaler Geschwindigkeit der Druckerhöhung. Nur diese Verfahren gestatten es, homogene Stoffe bei Verwendung von Abfällen der Produktion als Einsatzkomponenten zu gewinnen.

Wie bereits erwähnt, findet beim Brennen des Einsatzes in den meisten Fällen eine bedeutende Gasentwicklung statt. Diese Erscheinung erschwert die Lösung der Aufgabe bei der Gewinnung eines homogenen Verbundstoffes.

Die Durchführung der Haltezeit vor der Verdichtung der Brennprodukte erlaubt es, die Homogenität des Stoffes zu erhöhen, jedoch findet während der Haltezeit vor der Verdichtung der Brennprodukte die Temperaturenniedrigung der Brennprodukte statt. Wenn also die Brenntemperatur des Einsatzes verhältnismäßig klein ist, (und nur sie bestimmt die Temperatur der Brennprodukte), so ist die Entgasung der Brennprodukte zu intensivieren.

In diesem Falle wird empfohlen, vor der Entzündung des Einsatzes die Syntheszone bis zu einem Restdruck von ca.

10^{-1} mm QS und weniger einem Vakuum auszusetzen, was die Homogenität des Verbundstoffes zu erhöhen gestattet.

Die untere Grenze des Vakuums wird durch die Effektivität dieses Verfahrens bestimmt, d. h. bei einem Restdruck über 10^{-1} mm QS kann keine Intensivierung des Prozesses der Gasreinigung der Brennprodukte erfolgen.

Von besonderem Interesse ist eine direkte Herstellung der Erzeugnisse aus dem Verbundstoff oder die Synthese eines Rohlings aus dem Verbundstoff, der einer minimalen mechanischen Bearbeitung bedarf.

In diesem Falle ist es wünschenswert, den Einsatz während des Verdichtungsprozesses zu formen.

Die Durchführung des Prozesses der Gewinnung des Verbundstoffes unter Verwendung solcher Verfahren wie das Halten vor der Verdichtung der Brennprodukte, das Halten der verdichteten Produkte unter den isobarischen Bedingungen, die Verdichtung der Brennprodukte unter dem Druck bei durchschnittlicher Geschwindigkeit der Druckerhöhung von ca. 10 bis etwa 2000 kp/cm^2 gestatten es, die ursprüngliche Ausgangsform zu erhalten, d. h. einen Rohling herzustellen, der der Form nach dem Enderzeugnis nahe ist.

Bekanntlich haben die Abhängigkeit von Brenngeschwindigkeit und Temperatur des Einsatzes von dessen relativer Dichte einen extremen Charakter, wobei der Wert der optimalen relativen Dichte von der Zusammensetzung des Einsatzes abhängig ist,

Zu gleicher Zeit bestimmen der Geschwindigkeitswert und der Temperaturwert des Einsatzbrennens die optimalen Werte des Haltens vor der Verdichtung der Brennprodukte, der Geschwindigkeit der Druckerhöhung und des Haltens der verdichteten Produkte unter den isothermen Bedingungen.

Es ist somit wünschenswert, die Verdichtung des Einsatzes bis auf die relative Dichte von ca. 20 bis etwa 90 % durchzuführen.

Bei einer 20 %igen Dichte im Einsatz ist eine riesige Menge von Defekten vorhanden: Bögen, Brücken usw.

Dies führt zu einer Verzerrung der Brennwellen, zu der Störung der Wärmeisotropie der Brennprodukte, d. h. zu der Verminderung der Stoffhomogenität.

Bei einer Einsatzdichte von über 90 % vermindern sich stark die Einsatz-Brennparameter, was die Prozesse der Verdichtung und der Homogenisierung der Brennprodukte verlangsamt sowie zu einer Verminderung der Homogenität des Verbundstoffs führt.

Für die Intensivierung der Nachbrennprozesse, der Verdichtung und Homogenisierung der Brennprodukte ist es wünschenswert, das Halten vor der Verdichtung der Brennprodukte, deren Verdichtung und Aushalten der verdichteten Produkte unter den isobarischen Bedingungen in einem Ultraschallfeld durchzuführen.

Die Überlagerung der Ultraschallschwingungen erhöht die Temperatur der Brennprodukte, beschleunigt die Prozesse des

kapillaren Ausbreitens des Bindemittels, intensiviert die Homogenisierung des Verbundstoffes, d. h. führt zur Erhöhung dessen Homogenität.

Gewöhnlich wird der Einsatz mit Hilfe einer elektrischen Spirale, einer Graphitelektrode, der Induktionserhitzung, eines Laserstrahls usw. entzündet.

Diese Entzündungsverfahren führen zur Entstehung von Defekten an der Entzündungsstelle, was die Homogenität des Verbundstoffes vermindert. Das Aushalten vor der Verdichtung der Brennprodukte, das Aushalten der verdichteten Produkte unter den isobarischen Bedingungen, die Verdichtung der Brennprodukte bei optimaler Geschwindigkeit der Druckerhöhung gestattet in den meisten Fällen, diesen Effekt zu nivellieren.

In den Fällen wo dies nicht gelingt, ist es zweckmäßig, den Einsatz mit Hilfe des Ultraschalls zu entzünden. Dabei entstehen im Stoff praktisch keine Defekte, d. h. der Stoff besitzt eine hohe Homogenität.

Bei Erhöhung des Volumens und der Masse des Einsatzes gewinnt die Zeit dessen Verbrennung eine besondere Wichtigkeit. Bei der Entzündung des Einsatzes in irgendeinem Punkt kann der Wert der Haltezeit vor der Verdichtung der Brennprodukte so groß werden, daß zum Moment der Anlegung des Verdichtungsdrucks die Brennprodukte hinsichtlich der Wärme inhomogen werden können.

Zur Erhöhung der Homogenität des Verbundstoffes ist es zweckmäßig, auf die Oberfläche des Einsatzes in der Syntheszone

eine perforierte Schicht aus einem wärmebeständigen Stoff unterzubringen, auf dem ein Zündmittel angeordnet wird, dessen Brenngeschwindigkeit der Brenngeschwindigkeit des Einsatzes gleich ist oder diese übertrifft, dabei wird der Einsatz mittels Zündmittel entzündet.

In diesem Falle vermindert sich nach Initiierung der Reaktion im Zündmittel die Zeit der Verbrennung des Einsatzes infolge der Gewährleistung des Mehrpunktinitiiers durch die Perforation des wärmebeständigen Stoffes prompt. Das Zündmittel wird vom Grundstoff nach Aufhebung des Dichtungsdrucks leicht getrennt.

Im Falle eines großen Volumens und der Masse des Einsatzes spielt die Gewährleistung einer vollständigen und schnellen Ableitung der sich beim Brennen adsorbierten Gase und leichtsublimierbarer Beimengungen eine wichtige Rolle.

Zur Verbesserung der Gasausscheidungsbedingungen empfiehlt es sich, im Einsatz Gasableitungskanäle auszubilden, dessen Volumen etwa 60 % und weniger von dem Volumen des Einsatzes ausmacht. Eine Erhöhung des Kanalvolumens über 60 % ist nicht zweckmäßig, da die Brenngeschwindigkeit des Einsatzes abnimmt, was zu einer Verschlechterung der Homogenität des zu gewinnenden Verbundstoffes führt.

Ausführungsbeispiel der Erfindung

Die Erfindung soll nachstehend an mehreren Beispielen erläutert werden. Der Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens ist folgender.

Nach einem der Verfahren, z. B. durch Vermischen, wird der Einsatz aufbereitet, der zumindest ein metallisches Element der Gruppen III-VI, VIII des Periodischen Systems und zumindest eine Verbindung zumindest eines der Elemente der genannten Gruppen, einzeln oder in Kombination genommen, zumindest ein nichtmetallisches Element der Gruppen III-VI des Periodensystems und zumindest eine Verbindung zumindest eines der Elemente der genannten Gruppen, einzeln oder in Kombination genommen, und ein Bindemittel, z. B. Titan, Kohlenstoff und Nickel, enthält.

Man nimmt die Komponenten des Einsatzes in einem Verhältnis, daß deren weitere Wechselwirkung beim Verbrennungsregime zur Gewinnung des Verbundstoffes mit der vorgegebenen Zusammensetzung führt.

Zur Verminderung der Selbstkosten des Verbundstoffes bei Aufrechterhaltung dessen hoher Homogenität und Dichte werden in einigen Fällen als metallisches Element Abfälle des Metalls der Gruppen III-VI des Periodischen Systems und/oder seiner Legierung, z. B. die Abfälle beim Schleifen der Titanlegierung verwendet. Als nichtmetallisches Element verwendet man das nichtmetallische Element der Gruppen III-VI des Periodensystems, das zu den Abfällen der Produktion gelangt, z. B. Borfasernmittel, und als Bindemittel wird eine Komponente, die zu den Abfällen der Produktion gelangt, z. B. Abfälle beim Stahlschleifen.

Der aufbereitete Einsatz wird verdichtet, z. B. bis auf eine Dichte von 0,6 und geformt, z. B. in Form von Zylindern mit einem Durchmesser von 160 mm und einer Höhe von 60 mm.

Dann wird der Einsatz in eine poröse wärmeisolierende Hülle, die eine offene Porosität hat, mit einem Volumen von etwa 60 % und weniger von dem Volumen der wärmeisolierenden Hülle untergebracht.

Der Einsatz ist in die poröse wärmeisolierende Hülle dann unterzubringen, wenn der Verbundstoff eine hohe Schmelztemperatur haben soll und der Ausgangseinsatz eine bedeutende Gassättigung aufweist. In diesem Falle wird die Entgasung der Brennprodukte erleichtert, was zur Erhöhung der Homogenität des Verbundstoffes führt.

Man bringt den Einsatz in der wärmeisolierenden Hülle in die Syntheszone unter, z. B. in eine Preßform, eine Druckkammer mit Gas als Druckmedium oder eine hydraulische Druckkammer, die mit einer z. B. in Form einer Wolframspirale ausgebildeten Zündeinrichtung ausgestattet sind.

Im Falle einer Verwendung des Einsatzes mit einer kleinen charakteristischen Größe kann die Zündeinrichtung in Form eines Ultraschallschwingers ausgebildet sein.

Dann wird der Einsatz entzündet. Zu diesem Zweck wird durch die sich mit der Einsatzoberfläche an einem oder mehreren Abschnitten berührende Wolframspirale der elektrische Strom im Laufe von etwa 0,5 s durchgelassen.

Im Augenblick der Entzündung des Einsatzes wird an diesen ein Druck von ca. 10 bis 1000 kp/cm² angelegt, dadurch kann die Störung der Ganzheit des Einsatzes im Brennprozeß vermieden werden.

In einigen Fällen vor der Entzündung des Einsatzes wird dieser mit einer äußeren Energiequelle, z. B. Induktor, Plasma-brenner, Ultraschall, bis auf eine Temperatur von ca. 100 bis 1200 °C erhitzt.

Falls die Brenntemperatur des Einsatzes relativ klein ist, wird vor der Entzündung ein Vakuum in der Syntheszone z. B. bis zu einem Restdruck von 10^{-1} mm QS und weniger angelegt.

Um die Homogenität des Verbundstoffes zu erhöhen, wird in einigen Fällen auf die Oberfläche des Einsatzes in der Syntheszone eine perforierte Schicht aus wärmebeständigem Stoff, z. B. Asbest, untergebracht, auf dem man ein Zündmittel anordnet, dessen Brenngeschwindigkeit der Brenngeschwindigkeit des Einsatzes gleich ist oder diese übertrifft, z. B. stöchiometrische Mischung von Titan- und Borpulvern, deren Brenngeschwindigkeit z. B. das 1,5fache der Brenngeschwindigkeit des Einsatzes ausmacht, dabei wird der Einsatz mittels eines Zündmittels entzündet.

Für die Verbesserung der Bedingungen der Gasentwicklung im Einsatz vor dessen Entzündung können Gasableitungskanäle, deren Volumen etwa 60 % und weniger von dem Einsatzvolumen beträgt, ausgebildet werden.

Im Ergebnis der Entzündung auf dem zu entzündenden Abschnitt bzw. den Abschnitten des Einsatzes wird eine Temperatur erzeugt, die zum Initiieren einer exothermischen Hochtemperaturreaktion der Wechselwirkung der Einsatzkomponenten erforderlich ist. Im weiteren sind für den Brennprozeß keine äußere Erhitzungsquelle erforderlich, denn der Brennprozeß verläuft auf Kosten der Wärme der exothermischen Reaktion selbst.

Nach der Entzündung wird der Einsatz vor der Verdichtung der Brennprodukte im Laufe von ca. 0,1 s bis etwa 0,5 Std. ausgehalten.

Im Verlaufe der genannten Haltezeit erfolgt unmittelbar der Prozeß der Wechselwirkung der Einsatzkomponenten selbst, der in Form einer spontanen Ausbreitung im Einsatz der Reaktionszone (Brennzone) auf Kosten der Wärmeübertragung von den erhitzten Einsatzschichten zu den kalten verläuft. Die Brenngeschwindigkeit beträgt z. B. 2 cm/s, die Temperatur in der Brennzone beträgt z. B. 2700 °C.

In der Brennzone erfolgt die Bildung der entsprechenden Verbindungen, z. B. des Titankarbids, die Schmelzung und das Zerfließen des Bindemittels.

Es sei bemerkt, daß ein Teil der Haltezeit vor der Verdichtung der Brennprodukte, in dessen Verlauf die Ausbreitung der Brennzone im Einsatz erfolgt, als Anfangsstadium der Haltezeit vor der Verdichtung der Brennprodukte bezeichnet wird. Im Laufe der gesamten genannten Haltezeit erfolgt ein Nachreagieren der Einsatzkomponenten (in der Brennzone ist die Vollständigkeit des Reagierens weniger als 1), die Entgasung der Brennprodukte und deren Homogenisierung.

In einigen Fällen werden die Entzündung und das Anfangsstadium der Haltezeit vor der Verdichtung der Brennprodukte unter einem Druck von ca. 10 bis etwa 1000 kp/cm² durchgeführt, und nach Beendigung des Anfangsstadiums der genannten Haltezeit wird der Druck entlastet, und der übrige Teil dieser Haltezeit wird ohne Druck durchgeführt.

In einigen Fällen führt man die Entzündung und die gesamte genannte Haltezeit unter einem Druck von ca. 10 bis etwa 1000 kp/cm^2 durch.

Nach Beendigung der Haltezeit führt man die Verdichtung der heißen Brennprodukte unter einem Druck, z. B. von 1500 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von ca. 10 bis etwa 2000 $\text{kp/cm}^2 \cdot \text{s}$ durch.

Anschließend wird das verdichtete Produkt unter den isobari-schen Bedingungen, z. B. unter einem Druck von 1400 kp/cm^2 im Laufe, z. B. von 60 s gehalten.

Falls der Einsatz eine kleine charakteristische Volumengröße hat, wird die Aushaltung vor der Verdichtung der heißen Brennprodukte, deren Verdichtung und Aushalten der verdichteten Produkte unter den isobarischen Bedingungen im Feld der Ultraschallschwingungen durchgeführt.

Nach Beendigung des Aushaltens des verdichteten Produktes unter den isobarischen Bedingungen wird der gewonnene Verbundstoff abgekühlt, z. B. an der Luft, oder mit der vorgegebenen Geschwindigkeit, z. B. von 200 Grad/Std.

In einigen Fällen wird der Verbundstoff vor der Abkühlung z. B. im Regime der Relaxationsröstung wärmebehandelt. Nach der Abkühlung des Verbundstoffes kann dieser normalisiert werden.

Zum besseren Verständnis der vorliegenden Erfindung werden nachstehend konkrete Ausführungsbeispiele angeführt. Die Homogenität der gemäß den Beispielen hergestellten Verbund-

stoffe und der nach der bekannten Technologie (Prototyp) hergestellten Stoffe, bestimmt nach den oben beschriebenen Methodiken, sind in der Tabelle nach den Beispielen ausgeführt.

Beispiel 1

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 63,10 - Titan, 28,4 - Bor und 8,5 - Nickel-Kupferlegierung.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 200 kp/cm^2 , brachte ihn in die Syntheszone unter, entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 0,1 s durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 800 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $2000 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 800 kp/cm^2 im Laufe von 2 s durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 2

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 9,81 - Zirkon, 62,18 - Tantal, 9,03 - Kohlenstoff, 18,98 - Tantalpentoxyd.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 300 kp/cm^2 , brachte ihn in die Syntheszone unter, entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 0,5 Std. durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem

Druck von 1000 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $10 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 1500 kp/cm^2 im Laufe von 5 min. durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 3

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 71,39 - Titan, 7,83 - Bor, 10,28 - Kohlenstoff, 5,00 - Borkarbid und 5,5 - Eisen.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 250 kp/cm^2 , brachte ihn in die Syntheszone unter, entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 0,1 Std. durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $1000 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 1000 kp/cm^2 im Laufe von 10 min. durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 4

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 48 - Titan, 17,4 - Chrom, 14,6 - Kohlenstoff, 10 - Titannitrid, 10 - Nichrom.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 100 kp/cm^2 ,

brachte ihn in die Synthesezone unter, entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 20 s durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 1500 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $800 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes im Laufe von 2 min. durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 5

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 50 - Molybdän, 30 - Silizium, 10 - Nickel und 10 - Aluminium.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 120 kp/cm^2 , brachte ihn in die Synthesezone unter, entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 40 s durch, und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 3000 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $20 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes im Laufe von 5 min. durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 6

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % ent-

hielt: 89,2 - Titan und 10,8 - Bör.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 80 kp/cm^2 , brachte ihn in die Syntheszone unter, entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 10 s durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 4000 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $1300 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, anschließend führte man das isobarische Halten unter einem Druck von 4000 kp/cm^2 im Laufe von 6 min. durch.

Gleich nach der Druckentlastung wurde der heiße Verbundstoff einer Wärmebehandlung im Relaxationsregime durch das Glühen im Ofen bei Erwärmung bis auf 1000°C unterzogen, bei dieser Temperatur im Laufe von 6 Std. ausgehalten und zusammen mit dem Ofen abgekühlt.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 7

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 48 - Titan, 12 - Kohlenstoff und 40 - Stahl, der in Massenanteile in % enthielt: 1,0-1,2 - Kohlenstoff, 10-13 - Mangan, Rest - Eisen.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 40 kp/cm^2 , brachte ihn in die Syntheszone unter, entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 15 s durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 2500 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $1500 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, anschließend führte

man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 2000 kp/cm^2 im Laufe von 4 min. durch.

Nach der Druckentlastung wurde der Verbundstoff an der Luft abgekühlt.

Nach der Abkühlung wurde der Verbundstoff wärmebehandelt im Anlaßregime durch Erhitzung im Ofen bis auf eine Temperatur von 920°C , beim Aushalten bei dieser Temperatur im Laufe von 2 Stunden und einer langsamen Abkühlung zusammen mit dem Ofen.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 8

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 48 - Titan, 12 - Kohlenstoff, 20 - Titannitrid, 15 - Nickel und 5 - Molybdän.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 90 kp/cm^2 , brachte ihn in die Syntheszone unter, entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 40 s durch und verdichtete die bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $1100 \text{ kp/cm}^2\cdot\text{s}$ heißen Brennprodukte unter einem Druck von 600 kp/cm^2 , anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 600 kp/cm^2 im Laufe von 3 min. durch.

Nach der Druckentlastung wurden die heißen Brennprodukte im Regime des Härtens durch eine prompte Abkühlung im flüssigen Blei mit einer Temperatur von 340°C , das Aushalten darin im Laufe von 2 Stunden und langsame Abkühlung mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 500 Grad/Std. an der

Luft wärmebehandelt.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 9

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 50 - Molybdän, 30 - Silizium und 20 - Aluminiumoxyd. Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 140 kp/cm^2 , brachte ihn in die Syntheszone unter, entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 50 s unter einem Druck von 500 kp/cm^2 durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 1000 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $900 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 500 kp/cm^2 im Laufe von 18 min. durch.

Nach der Druckentlastung wurde der Verbundstoff mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 5000 Grad/Std. abgekühlt, dann im Glühverfahren durch Halten im Ofen bei 1000°C im Laufe von 6 Std. und eine langsame Abkühlung mit dem Ofen wärmebehandelt.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 10

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 63,1 - Titan, 28,4 - Bor, 8 - Kobalt-Kupferlegierung

und 0,5 Yttrium.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 250 kp/cm^2 , brachte ihn in die Synthesezone unter, entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die ganze Haltezeit im Laufe von 3 s unter einem Druck von 10 kp/cm^2 durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 1500 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $1800 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 1500 kp/cm^2 im Laufe von 10 s durch.

Nach der Druckentlastung wurde der heiße Verbundstoff im Anlaßregime mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Abkühlung von 10 Grad/Std. wärmebehandelt.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 11

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 48 - Titan, 17,4 - Chrom, 14,6 - Kohlenstoff und 20 - Stahl, der in Massenanteile in % enthielt: 16-20 - Chrom, 12-16 - Nickel, 0,05-0,1 - Kohlenstoff, Rest - Eisen. Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 300 kp/cm^2 , brachte ihn in die Synthesezone unter, entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die ganze Haltezeit im Laufe von 60 s unter einem Druck von 1000 kp/cm^2 durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 2500 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $450 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, anschließend führte man das isobarische

Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 2500 kp/cm^2 im Laufe von 3 min. durch.

Nach der Druckentlastung wurde der hergestellte Verbundstoff an der Luft abgekühlt, dann wurde er im Anlaßregime durch Erhitzung bis auf eine Temperatur von 700°C wärmebehandelt, im Laufe von 3 Stunden ausgehalten und mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 200 Grad/Std. abgekühlt.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 12

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 71,4 - Titan, 7,8 - Bor, 10,3 - Kohlenstoff und 5,5 - Vanadiumkarbid.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 130 kp/cm^2 , brachte ihn in die Syntheszone unter, entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 50 s durch, wobei man die Entzündung des Einsatzes und das Anfangsstadium des Haltens im Laufe von 15 s unter einem Druck von 400 kp/cm^2 durchführte, danach verdichtete man die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 1800 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $700 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 400 kp/cm^2 im Laufe von 7 min. durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 13

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 9,8 - Zirkon, 62,2 - Tantal, 9 - Kohlenstoff und 19 - Kobalt.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 190 kp/cm^2 und brachte ihn in die Syntheszone unter. Vor der Entzündung des Einsatzes wurde er bis auf 800°C mittels eines Plasma-brenners erhitzt.

Dann entzündete man den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 40 s durch, dabei entzündete man den Einsatz und führte das Anfangstadium des Haltens im Laufe von 20 s unter einem Druck von 1000 kp/cm^2 durch, dann verdichtete man die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 3000 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $90 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 3000 kp/cm^2 im Laufe einer Minute durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 14

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 71,4 - Titan, 8,6 - Bor und 20 - Zirkonnitrid.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 240 kp/cm^2 , brachte ihn in eine poröse wärmeisolierende Hülle und danach in die Syntheszone unter.

Man erhitzte den Einsatz vor dessen Entzündung bis auf eine Temperatur von 100°C , indem man den elektrischen Strom

direkt durchströmen ließ.

Danach entzündete man den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 120 s durch, dabei entzündete man den Einsatz und führte das Anfangsstadium des Haltens im Laufe von 40 s unter einem Druck von 10 kp/cm^2 durch, dann verdichtete man die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 2500 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $1800 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 2500 kp/cm^2 im Laufe von 8 min. durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 15

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 84,4 - Tantal, 5,6 - Kohlenstoff und 10 - Kupfer-tantalat.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 140 kp/cm^2 , brachte ihn in eine poröse wärmeisolierende Hülle, die eine offene Porosität von 60 % aufweist, und danach in die Synthesezone unter.

Vor der Entzündung des Einsatzes wurde er mit Hilfe eines Induktors bis auf eine Temperatur von 1200°C erhitzt, dann entzündete man den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 130 s durch, dann verdichtete man die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 3000 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $1300 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$. Anschließend führte man das isobarische Halten

des verdichteten Produktes unter einem Druck von 1300 kp/cm^2 im Laufe von 15 min. durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 10

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 40,47 - Titanspäne, 9,92 - Kohlenstoff, 41,46 - Nickel, 8,15 - Molybdän.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 90 kp/cm^2 , brachte ihn in eine poröse wärmeisolierende Hülle, die eine offene Porosität von 30 % aufweist, und dann in die Syntheszone unter. Man entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 40 s durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 1100 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $350 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$. Anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 1100 kp/cm^2 im Laufe von 3 min. durch.

Die Kernwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 17

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 71,39 - Abfälle des Schleifens von Titanlegierungen, 7,83 - Bor, 10,28 - Abfälle des Kohlenstoffes und 10,5 - des Eisens.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 160 kp/cm^2 , brachte ihn in die Syntheszone unter, entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 8 s durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 1400 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $50 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 1400 kp/cm^2 im Laufe einer Minute durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 18

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 15,30 - Titanabfälle beim Schleifen, 25,17 - Abfälle des Schleifens von Titanlegierungen, 9,92 - Kohlenstoff und 49,61 - Abfälle des Schleifens von Stahl, der in Massenanteile in % enthielt: Kohlenstoff - 0,2-0,4, Chrom - 1,2-1,4, Mangan - 1,2-1,4, Silizium - 1,2-1,4, Eisen - Rest.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 190 kp/cm^2 , brachte ihn in die Syntheszone unter, entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 30 s durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 1900 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $90 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$. Anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 1900 kp/cm^2 im Laufe von 1,5 min. durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 19

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 48 - Titan, 17,4 - Chrom, 14,6 - Kohlenstoff und 20 - Stahl, der in Massenanteile in % enthielt: 16-20 - Chrom, 7-10 - Nickel, 0,5-0,8 - Titan, Rest - Eisen.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 180 kp/cm^2 und brachte ihn in die Syntheszone, an die man ein Vakuum bis zu einem Restdruck von 10^{-1} mm QS anlegte.

Danach entzündete man den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 5 s durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 3600 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $200 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 3600 kp/cm^2 im Laufe von 60 s durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 20

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 89,2 - Titan und 10,8 - Bor.

Man formte den Einsatz in Form von Zylinderproben (Rundproben) mit einem Durchmesser von 500 mm und einer Höhe von 100 mm, dann brachte man sie in die Syntheszone unter, an die man ein Vakuum bis auf einen Restdruck von 10^{-2} mm QS anlegte, man entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren des Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 2 min. durch und verdichtete die

heißen Brennprodukte unter einem Druck von 900 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $300 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$. Anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 900 kp/cm^2 im Laufe von 6 min. durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 21

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 50 - Molybdän, 30 - Silizium und 20 - Aluminiumoxyd. Man formte den Einsatz in Form einer sechskantigen Platte mit einer relativen Dichte von 50 %, dann brachte man ihn in die Syntheszone unter, entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 4 min. durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 2900 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $40 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$. Anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 2900 kp/cm^2 im Laufe von 10 min. durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 22

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 84,4 - Tantal, 5,6 - Kohlenstoff und 10 - Stahl, der in Massenanteile in % enthielt: 16-20 - Chrom, 12-16 - Nickel,

0,05-0,1 - Kohlenstoff, Rest - Eisen.

Man verdichtete den Einsatz bis auf die relative Dichte von 90 % und brachte ihn in die Synthesezone unter, entzündete ihn mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 40 s durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 3000 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $80 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$. Anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 3000 kp/cm^2 im Laufe von 8 min. durch. Dabei wurde die Haltezeit, die Verdichtung der heißen Brennprodukte und das isobarische Halten in einem Ultraschallfeld durchgeführt.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 23

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 48 - Titan, 12 - Kohlenstoff und 40 - Nickel.

Man verdichtete den Einsatz bis auf die relative Dichte von 20 %, brachte ihn in die Synthesezone unter, entzündete mit Hilfe einer Wolframspirale mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 20 s durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 1000 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $100 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$. Anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 1000 kp/cm^2 im Laufe von 1 min. durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 24

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 64 - Titan, 16 - Kohlenstoff und 20 - Kobalt. Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 200 kp/cm^2 , brachte ihn in die Syntheszone unter, auf die Oberfläche des Einsatzes brachte man eine perforierte Schicht aus einem wärmebeständigen Stoff und ein Zündmittel, dessen Brenngeschwindigkeit der Brenngeschwindigkeit des Einsatzes gleich ist, unter, entzündete den Einsatz mit Hilfe des Zündsatzes. Die Entzündung des Zündsatzes erfolgte mittels einer Graphitelektrode mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, man führte die Haltezeit im Laufe von 10 s durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 1000 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $60 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$, anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 1000 kp/cm^2 im Laufe von 2 min. durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 25

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 47,9 - Titan, 21,6 - Bor und 20,5 -Stahl, der in Massenanteile in % enthielt: Chrom - 16-20, Nickel - 9-11, Titan - 0,5-0,8, Kohlenstoff - 0,05-0,1, Eisen - Rest. Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 110 kp/cm^2 , brachte ihn in die Syntheszone unter, führte man in ihr Gasableitungskanäle aus, deren Volumen 60 % von dem Volumen des Einsatzes ausmachte, entzündete den Einsatz mit Hilfe einer

induktiven Erwärmung mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 30 s durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 600 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $70 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$. Anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 600 kp/cm^2 im Laufe von 3 min. durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 26

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 64 - Titan, 16 - Kohlenstoff und 20 - Nickel.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 180 kp/cm^2 , brachte ihn in die Synthesekammer, führte man in ihr Gasableitungsleitungen aus, deren Volumen 30 % von dem Volumen des Einsatzes ausmachte, entzündete den Einsatz mit Hilfe eines Laserstrahls mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 50 s durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 4000 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $560 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$. Anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 4000 kp/cm^2 im Laufe von 2,5 min. durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 27

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % ent-

hielt: 32 - Titan, 8 - Kohlenstoff, 50 - Nickel und 10 - Molybdän.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 360 kp/cm^2 , brachte ihn in die Syntheszone unter, entzündete den Einsatz mit Hilfe des Ultraschalls mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führte die Haltezeit im Laufe von 70 s durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 2000 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Druckerhöhung von $700 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$. Anschließend führte man das isobarische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 2000 kp/cm^2 im Laufe von 7 min. durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 28

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: 48 - Titan, 12 - Kohlenstoff, 10 - Titannitrid und 30 - Nickel.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 110 kp/cm^2 , brachte ihn in die Syntheszone unter, auf die Oberfläche des Einsatzes brachte man eine perforierte Schicht aus wärmebeständigem Stoff auf, auf die man ein Zündmittel (eine Mischung, die folgende Massenanteile in % enthielt: 69 - Titan, 31 - Bor), legte dessen Brenngeschwindigkeit viermal so hoch war wie die Brenngeschwindigkeit des Einsatzes, man entzündete den Einsatz mit dem nachfolgenden Reagieren der Einsatzkomponenten im Brennregime, führt die Haltezeit im Laufe von 15 s durch und verdichtete die heißen Brennprodukte unter einem Druck von 1500 kp/cm^2 bei einer durchschnittlichen Ge-

schwindigkeit der Druckerhöhung von $800 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$. Anschließend führte man das isobariische Halten des verdichteten Produktes unter einem Druck von 1500 kp/cm^2 im Laufe von 50 s durch.

Die Kennwerte des hergestellten Verbundstoffes sind in der Tabelle angeführt.

Beispiel 29

Zum Vergleich wird ein Beispiel des Verfahrens zur Herstellung eines hartlegierten Stoffes, ausgeführt nach EP-PS 0165707, dargestellt.

Man vermischte den Einsatz, der in Massenanteile in % enthielt: Titan - 76,87, Bor - 23,13.

Man verdichtete den Einsatz unter einem Druck von 2000 kp/cm^2 in einer Proform.

Während der Verdichtung formte man den Einsatz zu Zylindern mit einem Durchmesser von 5 mm und einer Höhe von 5 mm.

Danach brachte man den verdichteten Einsatz in eine aus Bor-nitrid hergestellte Hülle unter, die man in einen mit einem Graphitheizelement ausgestatteten Höchstdruckapparat unterbrachte.

Danach entzündete man den Einsatz mit Hilfe dieses Graphitheizelementes, gleichzeitig legte man an den Einsatz einen Druck von 30000 atm. an.

Die Kennwerte des hergestellten hartlegierten Stoffes sind in der Tabelle angeführt.

Für alle Beispiele wurden folgende Kennwerte der Verbundstoffe, die man nach der beschriebenen Technologie erhielt, bestimmt:

Homogenität nach der chemischen Zusammensetzung und Homogenität nach der Dichte des Verbundstoffes.

Die Homogenität wurde nach der folgenden Formel bestimmt:

$$K = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{C} - c_i)^2}{n - 1}}$$

worin:

- K - Inhomogenitätskoeffizient des Verbundstoffes;
 $\bar{C}$ - Durchschnittswert der Eigenschaften (z. B., Titangehalt bzw. Dichte des Verbundstoffes nach dem Volumen des Verbundstoffes nach den Resultaten sämtlicher Messungen;
 c_i - Wert der entsprechenden Eigenschaft bei einer konkreten Messung;
 n - Anzahl der Messungen.

Tabelle

Nr. des Beispiels	Verfahren zur Herstellung des Verbundstoffes	Inhomogenitätskoeffizient des Verbundstoffes nach der chemischen Zusammensetzung	Inhomogenitätskoeffizient des Verbundstoffes nach der Dichte
1	2	3	4
1.	Beanspruchtes	0,11	0,09
2.	- " -	0,13	0,17
3.	- " -	0,09	0,10
4.	- " -	0,07	0,05
5.	- " -	0,05	0,12

Tabelle (Fortsetzung)

1	2	3	4
6.	Beanspruchtes	0,08	0,06
7.	- " -	0,14	0,10
8.	- " -	0,12	0,11
9.	- " -	0,15	0,15
10.	- " -	0,10	0,09
11.	- " -	0,05	0,05
12.	- " -	0,07	0,10
13.	- " -	0,15	0,16
14.	- " -	0,09	0,09
15.	- " -	0,13	0,15
16.	- " -	0,13	0,17
17.	- " -	0,15	0,13
18.	- " -	0,10	0,09
19.	- " -	0,06	0,05
20.	- " -	0,05	0,05
21.	- " -	0,17	0,15
22.	- " -	0,12	0,11
23.	- " -	0,05	0,05
24.	- " -	0,05	0,05
25.	- " -	0,08	0,09
26.	- " -	0,05	0,05
27.	- " -	0,05	0,05
28.	- " -	0,13	0,11
29.	Prototyp	0,43	0,37

Der kleinste Wert des Inhomogenitätskoeffizienten (0,05)

wird durch die Genauigkeit der anzuwendenden Analysemethoden bestimmt.

Wie aus der angeführten Tabelle zu ersehen ist, besitzt der nach dem beanspruchten Verfahren hergestellte Verbundstoff eine hohe Homogenität nach der chemischen Zusammensetzung und der Dichte.

