

GmbH

**Industrieöfen
für das
Metallpulverspritzgussverfahren**

**Industrial Furnace Equipment
for
Metal Injection Molding**

CREMER Thermoprozessanlagen GmbH
Auf dem Flabig
D-52355 Düren
Tel.: 02421-61021
Fax.:02421-63735
Email:info@cremer-ofenbau.de

POLYFOUR Entwicklungs- und
Vertriebsgesellschaft mbH
Agathastrasse 80-82
D-52355 Düren
Tel.:02421-62509
Fax.:02421-63735

Einleitung	
Preface.....	3
Allgemeines über MIM-Fedstock	
General about MIM-Feedstock.....	4
Katalytische Entbinderungsöfen, diskontinuierlich	
Catalytic debinding furnaces discontinuously	5
Arbeitsweise der diskontinuierlichen katalytischen Entbinderung	
Operating sequence of the batch catalytic debinding furnace.....	6
Abgasmachverbrennung	
The burn-off device	7
Technische Daten, 200 l Kammerentbinderungsöfen	
Technical data 200 l batch debinding furnace	8
Sinteröfen, diskontinuierlich	
Batch sintering furnaces	9
Hubherdsinteröfen	
Lifting-hearth sintering furnace	10
Arbeitsweise Hubherdöfen	
Operating procedure of the lifting-hearth furnace	11
Technische Daten Hubherdöfen	
Technical data lifting-hearth furnace	12
Kontinuierlicher Entbinderungsöfen	
Continuous debinding furnace.....	13
Funktionsweise der kontinuierlichen katalytischen Entbinderung	
Functional sequence of the continuous catalytic debinding furnace.....	14
Abgasfackel der kontinuierlichen katalytischen Entbinderung	
Wastegas deburning of the continuous catalytic debinding	15
Technische Daten der katalytischen kontinuierlichen Entbinderung	
Technical data of the continuous catalytic debinding furnace	16
Kontinuierliche Sinteröfen für MIM	
Continuous sintering furnaces for MIM	17
Arbeitsweise einer kontinuierlichen Sinteranlage	
Operating sequence of a continuous sintering furnace	18
Mechanische Sequenz der kontinuierlichen Sinteranlage	
Mechanical sequence of the continuous sintering furnace.....	19
Atmosphärenführung im kontinuierlichen Sinterofen	
Gasflow along the continuous sintering furnace	20
Technische Daten des kontinuierlichen Sinterofens	
Technical data of the continuous sintering furnace	22
Voll kontinuierlich arbeitende Anlagen für die MIM-Produktion	
Full continuously working furnaces for MIM-application.....	23
Vergleich zwischen kontinuierlicher Fertigung und Fertigung im Kammerofen	
Comparison between continuous and batch manufacturing.....	24/25

Einleitung

Seit Anfang der neunziger Jahre entwickelt sich das Metallpulverspritzgussverfahren (MIM, engl.: Metal Injection Molding) zu einem etablierten Fertigungsverfahren. Durch die Entwicklung moderner Feedstock-Arten mit unterschiedlichen Legierungen, die in recht kurzer Zeit homogen entbindern und auf deren Anforderungen angepasste Industrie-Anlagen, haben dazu geführt, daß das MIM-Verfahren den Schritt aus dem Labor in die Produktion geschafft hat.

In der folgenden Abhandlung wird das MIM-Verfahren unter dem Aspekt der Wärmebehandlung betrachtet. Hierzu gehören Entbinderungs- und Sinteranlagen, die sowohl als Kammeröfen, als auch als kontinuierliche Anlagen ausgeführt werden. Es wird deren Arbeitsweise beschrieben und technische sowie ökonomische Daten aufgelistet.

Die hier gegebenen Informationen beziehen sich auf die Erfahrungen der Fa. CREMER Thermoprozessanlagen GmbH und der Firma POLYFOUR Entwicklungs- und Vertriebsgesellschaft mbH, die beide symbiotisch zusammenarbeiten.

Dabei wird besonders auf die Erkenntnisse beim Entbindern und Sintern des BASF MIM-Feedstocks zurückgegriffen.

Über diese Schiene sind in der jüngeren Vergangenheit einige Produktionsanwendungen aufgebaut worden, die entscheidend dazu beigetragen haben, MIM beim Endnutzer als zuverlässiges, wirtschaftliches und zukunftsträchtiges Fertigungsverfahren zu etablieren.

So finden Teile, die nach dem MIM-Verfahren hergestellt wurden, u.a. in der Automobil-Industrie, der Chemie, der Luftfahrt, dem Büromaschinensektor, der Wehrtechnik sowie in der Uhrenindustrie Anwendung.

Preface

Since beginning of the '90s, metal injection molding (MIM) is developing into an established manufacturing process. Modern kinds of feedstocks with different alloys have been developed which can homogeneously debinded in short times and for these requirements especially adjusted industrial equipment has lead to the fact that the MIM-process has found the step out of the laboratory into the production.

In the following article, the MIM-process will be viewed from the aspect of thermal treatment. Debinding and sintering furnaces are belonging to this, that is designed as batch furnaces and also as continuous plants. We describe their working mode and will list their technical and economical data.

This information is referring to the experiences of CREMER Thermoprozessanlagen GmbH and POLYFOUR Entwicklungs- und Vertriebsgesellschaft mbH which are working together.

Especially understanding and knowledge during debinding and sintering of BASF MIM-feedstock will be considered.

On that way, some production applications have been constructed in the early past which have contributed decisively to establish MIM at the endusers as a reliable, economical and future-promising kind of production.

So parts that have been produced by the MIM-process are applicable in the automobile, chemistry, aviation, military, office equipment and clock industries.

Allgemeines über den MIM-Feedstock

MIM-Feedstock besteht im wesentlichen aus zwei Binderkomponenten und dem entsprechenden Metallpulver.

Die erste Binderkomponente macht den Feedstock spritzfähig, so daß ein Grünling entsteht. Diese kann je nach Hersteller thermisch, in einem Flüssigkeitsbad oder katalytisch ausgetrieben werden.

Die zweite Binderkomponente gibt dem Teil, das man jetzt als braun bezeichnet, bis zur Sinterung Formstabilität. Diese wird thermisch in der sogenannten Restentbinderung ausgetrieben.

Im MIM-Feedstock kommen Metallpulver mit recht kleiner Pulverkorngröße zum Einsatz, die eine recht hohe Sinteraktivität besitzen, damit, bevor der Restbinder komplett ausgetrieben ist, schon eine leichte Ansinterung stattgefunden hat und so das Teil seine Form behält.

Bei der Sinterung schrumpft das Teil, da die einzelnen Pulverpartikel zu einem fast porenfreien komplexen Bauteil "zusammenbacken".

Als treibende Kraft für den Sinterprozeß können Diffusionsvorgänge sowie die Oberflächenspannung der Pulverkörner angesehen werden. Durch Erwärmung der Teile bis auf maximale Sintertemperatur kann die Sinteraktivität erhöht und beschleunigt werden. So findet, bedingt durch die relativ große Oberfläche in Bezug auf das Kornvolumen bei MIM-Pulvern, eine Sinterung schon bei recht niedrigen Temperaturen statt.

Aber erst ein gezieltes Erwärmen auf maximale Sintertemperatur gibt dem Teil seine Festigkeit und Form.

Hier ist es sehr wichtig, daß der Ofen ein sehr homogenes Temperaturprofil hat, da bereits geringe Temperaturvariationen zu Schwankungen im Schrumpfverhalten führen.

General about MIM-Feedstock

MIM-feedstock essentially consists of two binder components and the corresponding metal powder.

The first binder component makes the feedstock capable for injection molding so that a greenpart is created. Depending on the producer, the binder can be ejected thermal in a solvent bath or catalytic.

The second binder component gives the now called brownpart dimensional stability until the sintering process. This binder will be thermal ejected in the so-called rest debinding. At the MIM-feedstock, metal powders with small powder grain sizes will be used which have a high sinter activity so that a slight sintering has started before the rest binder is completely ejected, and so the part keeps his dimensional stability. During sintering, the part shrinks because the single powder particles are "baking" together to a nearly non-porous complex part.

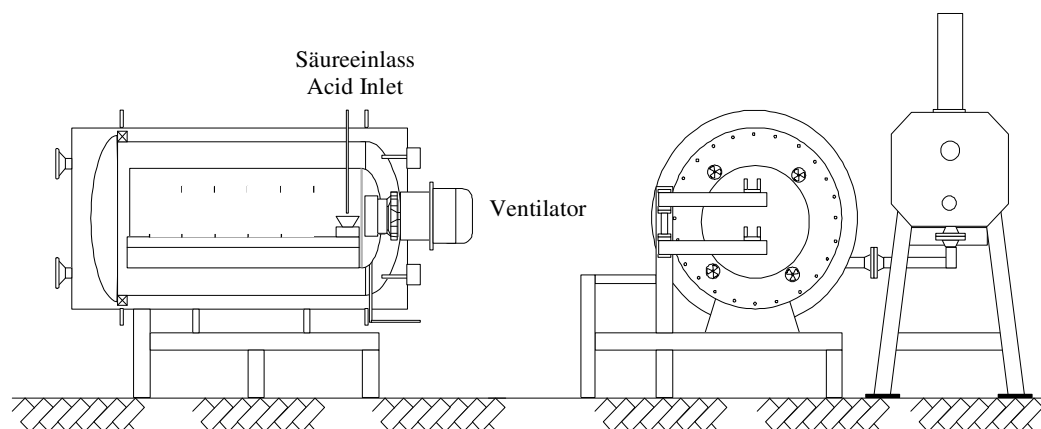
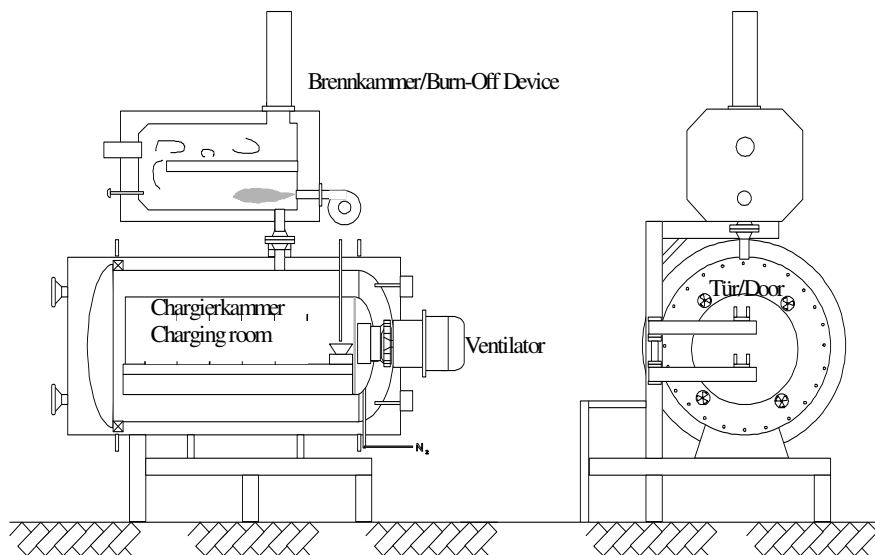
Diffusion processes and the surface tension of the powder grain can be seen as driving force for the sintering process. By heating up the parts to max. sintering temperature, the sinteractivity can be increased and accelerated. Therefore, sintering happens already at low temperatures, depending on the relatively great surface according to the grain volume of the MIM-powder.

But only a concerted heat-up to max. sinter temperature will give the final dimension and solidity to the part. Here, it is very important that the furnace has a very homogeneous temperature profile because already low temperature variations can lead to differences in the shrink behaviour.

Katalytische Entbinderungsöfen diskontinuierlich

Die Entbinderungsöfen für die Hauptbinderkomponente sind speziell auf den Feedstock angepasste Anlagen. So auch der katalytische Entbinderungsöfen. Diese Anlagen sind in verschiedenen Größen verfügbar. Hier als Beispiel ein Ofen mit 200 Liter Nutzvolumen. (60, 200, 300 l Volumen verfügbar)

Einmal ist die Abgasnachverbrennung über dem Ofen angeordnet und einmal aus Platzgründen seitlich.



Catalytic debinding batch furnaces discontinuously

Debinding furnaces for the main binder components are special designed for the feedstock. The catalytic debinding furnace, too. This plants are available in different dimensions. For example as a furnace with 200 l charging volume (60, 200, 300 l volume are also available).

One time, the wastegas deburning is arranged above the furnace, another time at the side because of space conditions.

Arbeitsweise der diskontinuierlichen Entbinderungsöfen

Die Charge wird in separaten Gestellen von vorne in den Ofen eingesetzt. Nach Schließen der Tür wird diese verriegelt und das Ofeninnere mit Stickstoff gespült.

Die Brennkammer wird eingeschaltet und auf ca. 700°C - 900°C aufgeheizt (siehe unten). Erst wenn die Spülzeit abgelaufen ist und die Abgasnachverbrennung ihre Solltemperatur erreicht hat, kann die Heizung des eigentlichen Ofens eingeschaltet werden und die Anlage heizt auf ca. 120 - 145°C auf. Bei Erreichen der Temperatur wird die Säurepumpe eingeschaltet und etwa 200 - 400 ml/h Salpetersäure wird als Katalysator in eine Verdampfungsschale im Inneren des Chargenraumes eingespeist. Dort verdampft sie und führt zur gewünschten Entbinderung.

Zuweilen kommt auch Oxalsäure als Katalysator zum Einsatz, z.B. bei Hartmetall. Stickstoff dient als Trägergas und sorgt dafür, daß der Katalysator an das Gut gelangt. Ein Ventilator wälzt die Atmosphäre um und stellt so ein möglichst homogenes Säurekonzentrations- und Temperaturprofil ein.

Nach Ablauf der Entbinderungszeit wird die Säure abgeschaltet und die Anlage kühlt unter Stickstoff ab.

Während der gesamten Prozeßdauer muß die Abgasnachverbrennung eingeschaltet sein, sonst wird der Prozeß abgebrochen und die Anlage wird automatisch mit Stickstoff gespült. Gleiches gilt auch für diverse andere Störungen, wie zum Beispiel bei Stromausfall. Die Chargiertür bleibt bis zum Ablauf der Spülzeit verriegelt.

Die gesamte Prozeßsequenz läuft automatisch ab. Sie wird über einen Programmregler gesteuert.

Operating sequence of the batch-debinding furnace

The components are charged from the front into the furnace. After closing the door, it will be locked and the furnace interior will be purged with nitrogen.

The burning chamber is switched on and heated up to approx. 700-900 °C (see below). Only if the purging time is finished and the wastegas deburning has reached the set-point temperature, the heating of the furnace can be started and the plant heats-up to approx. 120-145 °C. When reaching this temperature, the acid pump is starting and approx. 200-400 ml/h of nitric acid will be fed as a catalyst into a vaporising bowl in the interior of the charging room. There the acid evaporates and leads to the required debinding.

Sometimes also oxal acid can be used as catalyst. For example at hard metals it is used. Nitrogen is used as carrier gas and serves for the catalyst reaching the charge. A fan is circulating the atmosphere so that a most possible homogeneous acid concentration and temperature profile exists.

After finish of the debinding time, the acid will be switched off and the plant is cooling down under nitrogen.

During the whole process, the wastegas deburning have to be switched on - otherwise the process is interrupted and the plant is purged automatically with nitrogen. The same is valid for several other failures, as for example: power failure.

The charging door is kept closed until finish of the purging time. The whole process sequence is running automatically. It is controlled by programmable controllers.

Abgasnachverbrennung

Die Abgasnachverbrennung behandelt die beim Entbinderungsprozeß entstandenen Abgase, so daß der gesamte Prozeß als umwelttechnisch angesehen werden kann.

Die Abgasnachverbrennung kann als separate Brennkammer angesehen werden. Sie ist mit einem Gasbrenner bestückt, der die Kammer auf bis zu 1000°C aufheizen kann.

Beim katalytischen Entbindern mit Salpetersäure (HNO_3) besteht das Abgas aus Stickstoff (N_2), Stickoxiden (NO_x), Säureresten und Formaldehyd (CH_2O).

In der unteren Kammer der Abgasnachverbrennung werden unter Luftmangel die Stickoxide und die Säurereste reduziert. Hierzu dient das Formaldehyd und das Brenngas (z.B. Erdgas). In der oberen Kammer werden mit Luftüberschuß die übrigen Kohlenwasserstoffe verbrannt.

So entsteht eine geruchs- und rauchfreie Verbrennung, bei der keine Kondensate anfallen.

The burn-off device

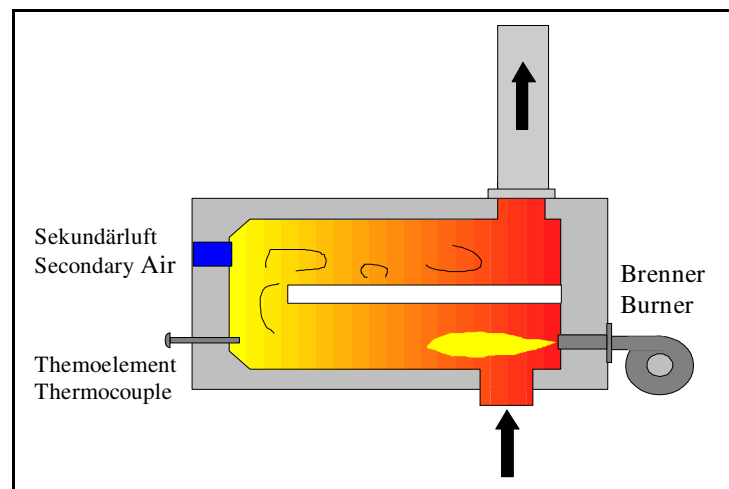
The wastegas deburning is treating the waste-gases of the debinding process so that the whole process can be seen as ecological.

The wastegas deburning can be seen as a separate burning chamber. It is equipped with a gas burner which heat-up the chamber up to 1.000°C.

Until catalytic debinding with nitric acid (HNO_3), the waste gas consists of nitrogen (N_2), nitric oxides (NO_x), acid residuals and formaldehyde (CH_2O).

The nitric oxides and acid residuals will be reduced in the below chamber of the wastegas deburning. Therefore, formaldehyde is used and fuel gas (for example: natural gas). In the above chamber, the other hydrocarbons will be burnt with air surplus.

So, we have an odorless and smokeless combustion without condensates.



Technische Daten, 200 Liter Kammer-entbinderungssofen

Ofen

Behandlungsart	Katalytische Entbinderung von MIM-Teilen
Ofentyp	TFE - 200 - 12 / e
Max. Temperatur	200 °C
Arbeitstemperatur	120-140 °C
Chargierkammerdimensionen	ca. 400 x 400 x 1.500 mm
Standard-Zykluszeit (Beladen bis Entladen)	6 Stunden
Installierte Heizleistung	1 x 30 kW
Gasverbrauch N ₂	40 Nm ³ /Zyklus (6 Stunden)
Säureverbrauch HNO ₃	700-800 ml/Zyklus (6 Stunden)

Säureversorgung

Pumpensystem	rpm-kontrollierte Dosierpumpe
Einstellbereich	0,1 - 720 ml/min. abhängig vom Pumpenkopf
Medium	HNO ₃ hohe Reinheit
Versorgungsrohr	Durchm. 6 x 4 PTFE

Abgasnachverbrennung

Bauart	10 Nm ³ /h CH ₂ O und 6 Nm ³ /h N ₂
Erdgasbrenner	40 - 60 kW, 0.8 - 5 m ³ /h Erdgas
Brennertemperatur	800-950 °C

Technical data, 200 liters batch debinding furnace

Furnace

Kind of treatment	Catalytic debinding of MIM-parts
Furnace type	TFE - 200 - 12/e
Max. temperature	200 °C
Working temperature	120-140 °C
Product room dimensions	approx. 400 x 400 x 1.500 mm
Standard cycle time (charging to discharging)	6 hours
Installed heating rate	1 x 30 kW
Consumption N ₂	40 Nm ³ /cycle (6 hours)
Consumption HNO ₃	700-800 ml/cycle (6 hours)

Acid supply

Pump system	rpm-controlled dosing pump
Performance range	0,1 - 720 ml/min. depending on the pump head
Medium	HNO ₃ high purity
Connection pipe	Diam. 6 x 4 PTFE

Wastegas deburning

Design	10 Nm ³ /h CH ₂ O and 6 Nm ³ /h N ₂
Flame burner	40 - 60 kW, 0.8 - 5 m ³ /h natural gas
Burning temperature	800-950 °C

Sinteröfen diskontinuierlich

Je nach notwendiger Größe der Chargenkammer und dem zu sinternden Feedstock werden die Sinteröfen als Atmosphärenöfen, also mit Stickstoff-, Wasserstoff- oder Argon-Atmosphären, oder als Vakuumöfen ausgeführt.

Zunächst wird das Gut im Sinterofen restentbindet. Hierzu ist es notwendig, die Charge gezielt aufzuheizen. Dabei ist die Heizrate u.a. vom Anteil an Restbinder abhängig. Das Restentbinden ist zumeist der kritischste Prozeßschritt bei der Wärmebehandlung von MIM-Teilen, da hier der Klebeeffekt des Restbinders durch Sinterbrücken als Garant für Formstabilität abgelöst wird.

Falls hier zu schnell aufgeheizt wird, werden die Teile rissig oder zerfallen sogar.

Nach dem Restentbinden wird die Charge auf Sintertemperatur aufgeheizt, wo sie ihre endgültige Dichte, Festigkeit und Form bekommt.

Es ist zu beachten, daß bei Kammer-Sinteröfen stets die gesamte Anlage auf- und abgeheizt werden muß, da MIM-Teile unter inerte Atmosphäre bzw. Vakuum gesintert werden müssen.

Bedingt durch die Wärmekapazität der Anlage können so recht lange Sinterzyklen entstehen. Es ist als darauf zu achten, daß die Anlagen recht leicht isoliert sind, wie das bei Vakuumanlagen der Fall ist oder mit einer separaten Kühlkammer ausgerüstet sind, wie beim Hubherd-Atmosphären-Sinterofen.

Faserleicht-Isolierungen sind wegen des recht hohen Siliziumdioxidgehaltes nicht geeignet, da diese durch den Einfluß von Wasserstoff zerstört werden.

Batch sintering furnaces

Depending on the necessary size of the charging chamber and on the feedstock that should be treated, the sintering furnaces are designed as atmosphere furnaces, which means with nitrogen, hydrogen, argon atmospheres, or as vacuum furnaces.

First, the charge will be rest-debinded in the sintering furnace. Therefore, it is necessary to heat-up the charge controlled. Here the heating rate depends, among other things, on the share of rest binder. Mostly, the rest debinding is the most critical process step on the heat treatment of MIM-parts because here the adhesive efficiency of the rest binder will be replaced by sinter bridges as guarantee for form stability.

If the heat-up process happens too fast, the parts become cracked or even disintegrated.

After the rest debinding, the charge will be heated-up on sintering temperature where it will get his final density, stability and form. Pay attention to the fact that the whole plant of a chamber sintering furnace has to be heated-up or down completely because MIM-parts have to be sintered under inert atmosphere or vacuum.

Depending on the heat capacity of the plant, very long sinter cycles may arise. It is important that the plants have a light insulation, as vacuum furnaces, or equipped with a separate cooling chamber, as lifting-hearth atmosphere sintering furnaces. Fibre-light insulations are not suitable because of the very high silicium-dioxide content, this will be destroyed by the influence of hydrogen.

Als Beispiel für einen Kammersinterofen wird ein Hubherdofen mit separater Kühlkammer beschrieben, wie er schon mehrfach im MIM-Sektor zum Einsatz kam.

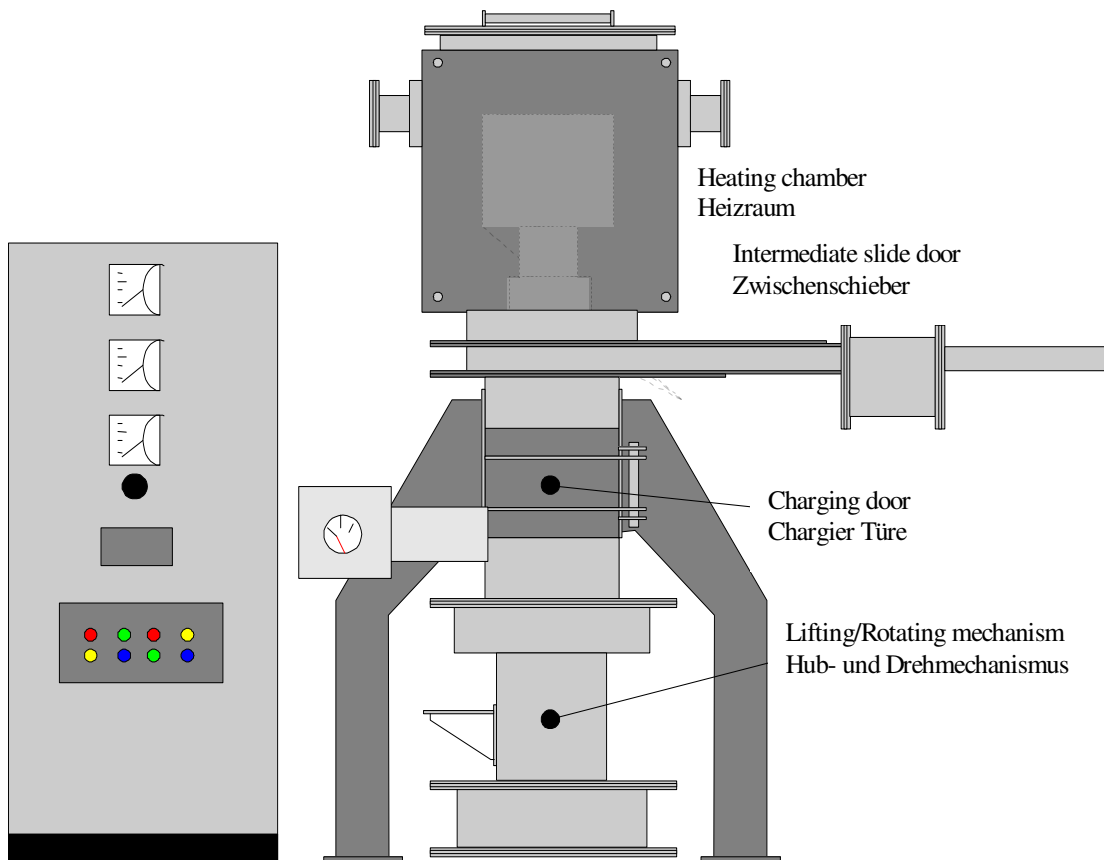
Hubherdsinterofen

Der Hubherdsinterofen arbeitet zyklisch und kann als Kammerofen bezeichnet werden. Für die MIM-Anwendung hat er üblicherweise ein Nutzvolumen von ca 30 Liter. Damit ist er ausgezeichnet für die Produktion von Kleinteilen geeignet sowie für Laborzwecke.

As example for a chamber sintering furnaces, a lifting-hearth furnace with separate cooling chamber is described, as it is already in operation several times in the MIM-section.

Lifting-hearth sintering furnace

The lifting-hearth furnace is working cyclically and can be called as a batch furnace. For the MIM-application, it is usually equipped with a charging volume of approx. 30 liters. Therefore, it is excellent suitable for production of small parts or for laboratory purposes.



Arbeitsweise Hubherdsinterofen

Der Hubherdsinterofen wird mit Schutzgas, wie Stickstoff, Wasserstoff oder Argon betrieben.

Die Teile werden von vorne durch die Chargiertür auf den Herd gestellt. Nachdem die Tür verschlossen und verriegelt ist, wird bei geschlossenem Zwischenschieber die Chargierkammer gespült.

Nachdem die Luft aus der Anlage geblasen wurde, kann der Zwischenschieber geöffnet und die Charge in die Heizkammer gefahren werden. Diese ist vom Vorlauf noch etwa 300°C heiß. Wenn die Charge in der Heizkammer ist, dreht der Herd und die Heizung wird nach einem programmierten Profil geregelt.

Durch Drehen des Herdes ist eine gute Temperaturverteilung möglich.

Nach Abschluß der Sinterung kühlt die Charge natürlich in der Heizkammer bis etwa 800°C ab. Dann fährt der Herd in die Kühlkammer ab und der Zwischenschieber schließt sich.

Sobald die Charge etwa 60°C erreicht hat, kann die Chargiertür geöffnet werden und der Zyklus kann erneut beginnen.

Durch sein Zweikammerprinzip und durch seinen drehenden Herd kann der Ofen als Bindeglied zwischen den kontinuierlichen Durchlaufanlagen und reinen Kammeröfen bezeichnet werden. Bedingt durch sein recht kleines Chargenraumvolumen hat dieser Ofen eine ausgezeichnete Temperaturhomogenität.

Operating procedure of the lifting-hearth furnace

The lifting-hearth furnace is operating with protective gas, as nitrogen, hydrogen or argon. The parts will put down on the hearth from front through the charging door.

After closing and locking of the door, the charging chamber will be purged with nitrogen and the intermediate slide door is closed.

After the air has been blown out of the furnace, the intermediate slide door can be opened and the charge is driving into the heating chamber. This chamber has a temperature of approx. 300 °C from the charge before. When the charge is inside the heating chamber, the hearth is rotating and the heating is controlled by a programmed profile. By rotating of the hearth, an excellent temperature distribution is possible.

After finished sintering, the charge is cooling down naturally in the heating chamber down to 800 °C. Then, the hearth is driving down into the cooling chamber and the intermediate door is closing.

When the charge has reached approx. 60 °C, the charging door can be opened and the cycle may start again.

Because of the two chamber system and the rotating hearth, the furnace can be seen as a link between the continuously running plants and pure batch furnaces. Depending on his relative small charging chamber volume, this furnace is showing an excellent temperature homogeneity.

Technische Daten Hubherdofen

Technical data lifting-hearth furnace

HDH - 30 - 145 / e

Max. Temperatur /Max. temperature	1.450 °C
Typ/Type HDH-30-165/e	1.650 °C
Heizrate bis 1450 °C Heating rate up to 1450 °C	5 K/min
Installierte Heizleistung Installed heating power	30 kW
Schutzgas Protective gas	100 % N ₂ or Ar up to 100 % H ₂ 2-5 Nm ³ /h
Heizraumdurchmesser Heating room diameter	380 mm
Heizraumhöhe Heating room height	300 mm
Heizleitermaterial Heating wire material	Molybdän Molybdenum
Kühlmedium Cooling medium	Wasser Water
Kühlwasserverbrauch Cooling water consumption	100 l/h
Isolation Brickwork	Al ₂ O ₃
Platzbedarf Space requirement (mm)	L:1550 x B:2300 x H:2900 L:1550 x W:2300 x H:2900

Kontinuierlicher Entbinderungs-ofen

Kontinuierliche Entbinderungsöfen sind auf recht kurze Entbinderungszeiten angewiesen, da sie sonst bei gegebener Kapazität zu lang werden könnten.

Der BASF-Feedstock ist für sein schnelles Entbindern bekannt und daher für eine kontinuierliche Entbinderung prädestiniert. Es soll im folgenden die Funktionsweise einer solchen Anlage beschrieben werden.

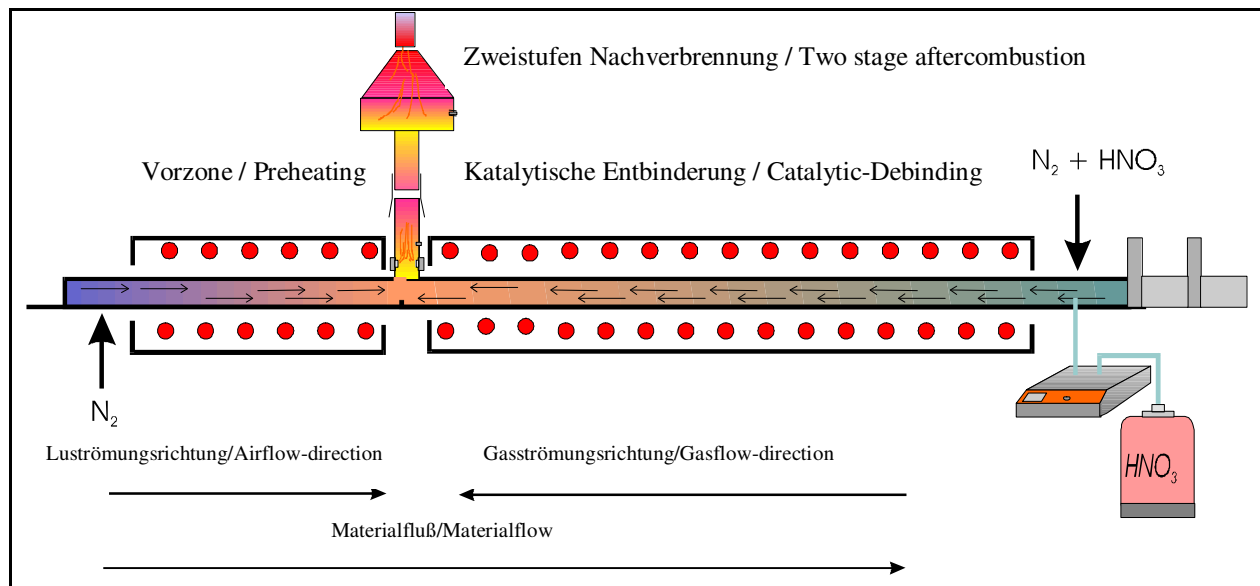
Diese können als Einzelanlage betrieben werden, sind aber zumeist in eine komplett kontinuierlich arbeitende Anlage, dem MIM-Master oder MIM-Trainer implementiert.

Continuous debinding furnace

Continuous debinding furnaces are depending on relative short debinding times, otherwise they would be too long according to the capacity.

The BASF-feedstock is well-known for his fast debinding and therefore appropriated for a continuous debinding. Following, the operational sequence should be described.

They can be operated as a single plant, but mostly they are integrated in a complete continuously working plant, called MIM-Master or MIM-Trainer.



Funktionsweise der kontinuierlichen katalytischen Entbinderung

Die MIM-Teile werden zumeist schon auf dem Sinterchargeträger auf das Transportband gestellt. Zunächst werden sie in der Vorwärmzone unter Luft auf über 100°C erwärmt, so daß beim Einlaufen in die Entbinderungszone keine Säure an ihnen kondensieren kann.

Beim Durchlaufen der Entbinderungszone werden sie unter Stickstoff und Katalysatorsäure (meistens Salpetersäure) entbindert.

In der Vorwärmzone strömt Luft in gleicher Richtung wie das Material zur Abgasnachverbrennung. Die Abgasfackel ist so ausgelegt, daß sie ohne Drosselorgan aus der Vorwärmzone Luft und aus der Entbinderungszone Stickstoff und Abgase ansaugt. So ist es ausgeschlossen, daß Abgase die Fackel nicht passieren.

In der Entbinderungszone strömt das Schutzgas sowie der Katalysator im Gegenstrom zum Materialfluß. So wird sichergestellt, daß Teile, die schon recht weit entbindert sind, der höchsten Säurekonzentration ausgesetzt sind und die Säure auch in Durchlaufrichtung in der letzten Heizzone verdampft wird.

Am Ende der Entbinderungsstrecke schließt sich ein Schleusensystem an. Die Abgase aus der Schleusenkammer werden wieder in die Entbinderungszone eingespeist und gelangen so auch zur Abgasnachverbrennung.

Das gesamte Schleusensystem ist beheizt, so daß die Kondensation von Säure verhindert wird.

Functional sequence of the continuous catalytic debinding furnace

Usually, the MIM-parts are already placed on the sinter charge carrier on the conveyor belt. First, they will be heated-up in the preheating zone under air to more than 100°C so that no acid can condensate at them during running into the debinding zone.

During running through the debinding zone, they will debinded under nitrogen and catalyst acid (usually nitric acid).

In the preheating zone, air is streaming in the same direction as the material to the waste gas burn-off device. The burn-off torch is designed in a way that it can suck in air from the preheating zone and nitrogen and waste gases from the debinding zone. So, it is excluded that waste gases do not pass the burn-off.

In the debinding zone, the protective gas and the catalyst are streaming in counterflow-direction to the material. This ensures that parts which are nearly debinded, are exposed to the highest acid concentration. So, the acid will be evaporated in flow direction also in the last heating zone.

At the end of the debinding zone, a lock chamber system is installed. The waste gases of the lock chamber will be fed again into the debinding zone and so they reach also the waste gas burn-off.

The whole lock chamber system is heated so that condensation of acid will be avoided.

Abgasfackel der kontinuierlichen katalytischen Entbinderung

Anders als beim katalytischen Kammerentbinderungsöfen fallen bei der kontinuierlichen Entbinderung stetig Abgase an. Beim Kammerofen fallen hingegen schubweise größere Mengen an Abgas an. Daher kann bei vergleichsweise gleicher Durchsatzrate, die Abgasfackel beim kontinuierlichen Ofen kleiner dimensioniert werden.

Aber auch hier besteht sie aus zwei Stufen. In der unteren werden unter Luftmangel die bei der Entbinderung entstandenen Stickoxide sowie die übrige Salpetersäure reduziert. Hierbei hilft das ebenfalls bei der Entbinderung entstehende Formaldehyd.

In der zweiten Fackelstufe werden die Überreste an Formaldehyd und Brenngas aus der ersten Fackelstufe unter Luftüberschuß bei etwa 800°C verbrannt.

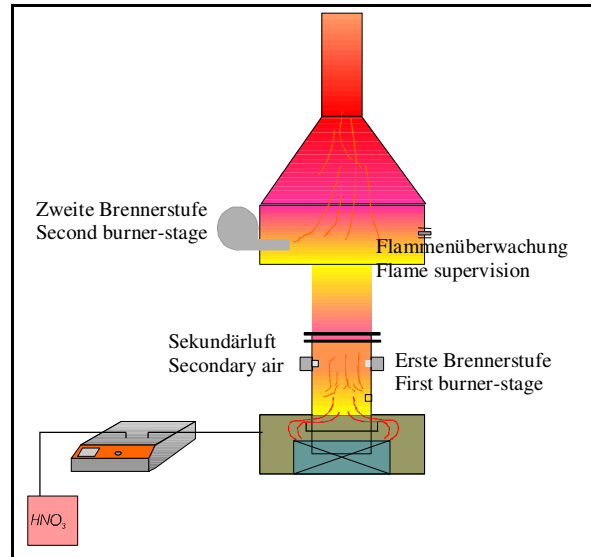
Wegen der kontinuierlichen Arbeitsweise der Anlage fallen konstant die gleichen Mengen an Abgas an. Ebenfalls das Verhältnis Formaldehyd zu Stickoxiden und Säureresten bleibt konstant. So kann über den gesamten Prozeßverlauf eine wesentlich homogenere Nachverbrennung gewährleistet werden, als beim Kammerofen.

Wastegas deburning of the continuous catalytic debinding

Different to the catalytic batch debinding furnace, waste gases are arising continuously at the continuous debinding. But at the batch furnace, higher quantities of waste gases are arising in a certain period. Therefore, the waste gas torch at continuous furnaces can be

dimensioned smaller as at comparatively batch furnaces with the same throughput rate.

But also here, it consists of 2 stages. In the lower one, NO_x that arise during the debinding and the residual nitric acid will be reduced under air shortage. In that case, the formaldehyde, developed during debinding, is also helpful.



In the second torch stage, the residuals of formaldehyde and fuel gas of the first torch stage will be burnt-off under air surplus at approx. 800°C.

Because of the continuous mode of working of the plant, constantly the same quantities of waste gas arise. Also, the relation of formaldehyde to nitrogen oxid and acid residuals is the same. This serves for a better homogeneous burn-off in the whole process as in a chamber furnace.

Technische Daten der katalytischen kontinuierlichen Entbinderung
Technical data of the catalytic debinding furnace

Ofentyp Furnace type	CBK-4-20/e	CBK-6-20/e	CBK-8-20/e
Durchsatzrate (Kästen/h) Throughput rate (Trays/h) [e.g.:316L] {e.g.:FN02}	[4] {5}	[6] {7-8}	[8] {9-11}
Kastengröße Tray size (mm)	230 x 330 x 40		
Max. Beladungshöhe Max. Loading height (mm)	80		
Maximaltemperatur Temperature max. (°C)	200		
Arbeitstemperatur Working Temperature (°C)	120 - 160		
Installierte Heizleistung Installed heating power (kW)	1x18 + 3x12 = 54	1x18 + 4x12 = 66	1x27 + 5x15 = 102
Muffelatmosphäre Muffle atmosphere	N ₂ + HNO ₃		
Transportbandbreite Conveyor belt width (mm)	250		
Bandmaterial Conveyor belt material	DIN 1.4301		
Lichte Höhe über Band Muffle inner height (mm)	110 above belt		
Acid HNO ₃ (ml/h)	300 – 500	600- 1000	700 - 1500
Nitrogen (Nm ³ /h)	5 - 8	6 - 9	7 - 10
Natural gas (Nm ³ /h)	approx. 2		

Kontinuierliche Sinteröfen für MIM

Seit wenigen Jahren etablieren sich kontinuierliche Sinteröfen auch für die MIM-Fertigung. Dies geht einher mit immer größeren Losgrößen der Produktion. So haben gerade bei der Großserie kontinuierliche Anlagen gegenüber Kammer- oder Batchöfen entscheidende Vorteile, wie auch in einem späteren Kapitel beschrieben wird.

Entscheidend bei der MIM-Fertigung ist, daß die Teile während der Restentbinderung und der Sinterung sehr sensibel gegen Erschütterungen sind. Daher muß der Transport der Teile oder der Chargenträger sehr vibrationsarm durchgeführt werden.

Bei kleineren Anlagen kann dies durch einen Stoßmechanismus erreicht werden. Bei größeren Anlagen kann dies aber nur noch ein Hubbalkenmechanismus garantieren. Ein Transportband kann hier nicht eingesetzt werden, da metallische Bänder bei etwa 1150°C eine Temperaturgrenze haben. Keramikbänder sind ebenfalls ungeeignet, da diese wegen fehlender Beständigkeit gegen Temperaturwechsel nur in sehr kleinen Dimensionen lauffähig sind. Hier ist dann der Stoßmechanismus aus Kostengründen zu favorisieren. Es sei noch zu bemerken, daß keramische Bänder viel Energie verschlingen, allein um sie selbst aufzuheizen. Genau wie Keramikbänder sind auch Grafitbänder sehr kostenintensiv. Auch diese sind für die Sinterung von metallischen Bauteilen ungeeignet, da Ungleichmäßigkeiten im C-Pegel der Teile zu starken Deformationen führen. Weil MIM-Teile bei der Sinterung stark schrumpfen, ist dieser Umstand bedeutend.

Continuous Sintering furnace

In the near past, continuous sintering furnaces are established also for MIM-manufacturing. This is corresponding also to already higher lot sizes. Therefore, continuous plants have decisive advantages especially for large series in contrast to batch furnaces, as described in a later chapter.

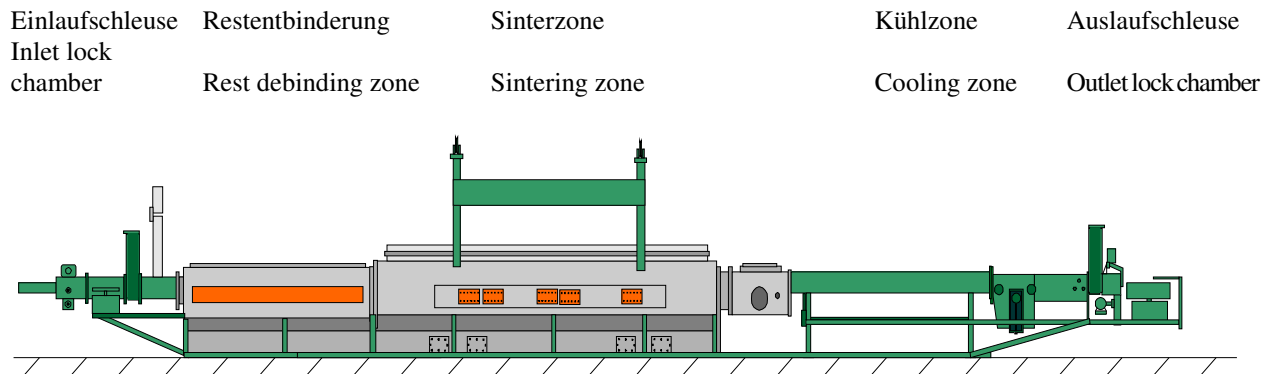
Decisive for the MIM-manufacturing is that parts are very sensitive about shaking during the rest-debinding and sintering. Therefore the transportation of the parts or the charge carriers have to be very poor of vibrations.

At smaller plants, this will be reached by a pusher mechanism. At larger plants, this can only be guaranteed by a walking beam. A conveyor belt is not suitable because metal belts have a temperature limit at approx. 1.150 °C. Also, ceramic belts are not suitable because they can operate only in very small dimensions because of missing resistance against temperature changing. Therefore, the pusher mechanism has to be favoured against ceramic belts because of cost reasons. Beside, we would like to indicate that ceramic belts need a lot of energy to heat them up themselves. As ceramic belts, also graphite belts are very expensive. Also, they are not suitable for sintering metallic parts because of irregularities in the C-content of the parts, extreme deformations can arise. This circumstance is very important because MIM-parts are shrinking during sintering.

So kommt als Transportmechanismus nur eine Stoß- oder Hubbalkenmechanik in Betracht. Gerade der Hubbalken hat sich als Transportmechanismus in der Restentbinderung bewährt, da in dieser Zone die Teile sehr schockempfindlich sind.

Following, only a pusher or walking beam transport mechanism is possible.

Especially the walking beam has been well-proved as transport mechanism in the rest debinding because the parts are very shock-sensitive in this part of the zone.



Arbeitsweise einer kontinuierlichen Sinteranlage

Als Beispiel für eine kontinuierliche Sinteranlage wird hier ein Ofen mit Hubbalkenantrieb beschrieben, wie er mittlerweile mehrfach bei der Produktion von MIM-Teilen zum Einsatz gekommen ist.

Operating procedure of a continuous sintering furnace

For example, we describe here a continuous sintering furnace with walking beam drive, as operating in production of MIM-parts in the meantime several times.

Mechanische Sequenz des kontinuierlichen Sinterofens

Die Teile werden auf geeignete Sinterchargenträger gesetzt. Das Chargenträgermaterial muß sorgfältig ausgewählt werden, da beim MIM-Prozeß recht hohe Temperaturen eingestellt werden, reduzierende oder inerte Atmosphären herrschen und das Gut ungehindert schrumpfen muß. Oft kommen Kästen oder Schalen aus Eisen, Edelstahl oder Molybdän zum Einsatz.

Mechanical sequence of the continuous sintering furnace

The parts will be placed on suitable sinter charge carriers. The material for the carriers have to be selected carefully because during the MIM-process, very high temperatures are existing, reducing or inert atmospheres are present and the charge has to shrink unhindered. Often, charge trays or boats of iron, stainless steel or molybdenum are used.

Neben doppelten Schleusensystemen am Ein- und Auslauf der Anlage, die den Schutzgasverbrauch senken, ist die Hubbalkenfunktionsweise von Bedeutung:

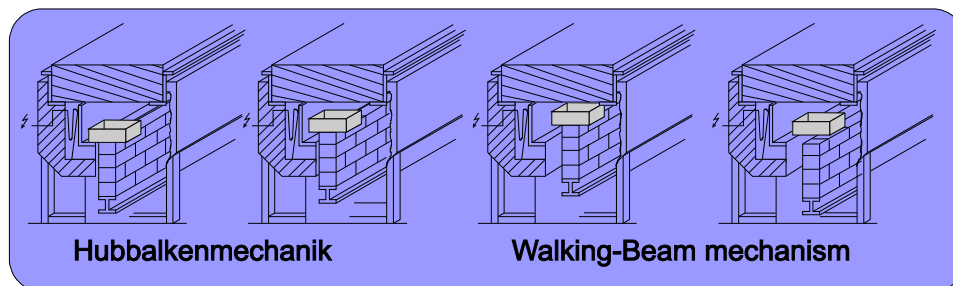
Der Hubbalkentransportmechanismus besteht aus einem in Durchlaufrichtung rechts und links installierten Bett und dem eigentlichen Hubbalken in der Mitte.

Mit einem separaten Motor hebt der Balken die gesamte Charge leicht an. Ein zweiter Motor fährt sie vor. In der vorderen Position senkt sich der Hubbalken wieder ab, allerdings unter das Niveau des seitlichen Betts. Dann läuft der Hubbalken ohne die Charge wieder zurück. Jetzt hebt sich der Balken wieder auf das Niveau des Betts an und wartet auf den nächsten Zyklus.

Beside the double lock chamber system at the entry and exit of the plant that are reducing the protective gas consumption, the walking beam operational sequence is important.

The walking beam transport mechanism is consisting of a right- and left-hand side installed beam bed and the real walking beam in the mid.

The walking beam is lifting up the complete charge by a separate motor. A second motor is driving the charge forward. In the front position, the walking beam is going down, but under the level of the side bed. Then, the beam is running back again without the charge. Now, the beam is lifting up again up to the level of bed and is waiting for the next cycle.



Atmosphärenführung in kontinuierlichen Sinteröfen

Die Atmosphärenführung im Sinterofen hat nicht nur für den Gasverbrauch, sondern auch auf die Gutqualität entscheidenden Einfluß. So sind die Restentbinderungszone und die Sinterzone räumlich voneinander getrennt. Das Schutzgas wird am Ende der Sinterzone oder wahlweise am Ende der Kühlzone eingespeist. Durch einen Abzugskamin im Einlaufbereich des Ofens und einem Doppeltür-Schleusensystem am Auslauf entsteht ein Druckgefälle in Richtung Einlauf. So strömt die Atmosphäre im Gegenstrom zum Gut.

In der Sinterzone expandiert das Gasvolumen dann zum ca. Vierfachen. In der Restentbinderungszone ist der Hubbalken gekapselt, so daß ein muffelähnlicher Querschnitt entsteht. So strömt das Gas stark beschleunigt in der Restentbinderung in Richtung Einlauf. Der Querschnitt der Restentbinderung muß sorgfältig dimensioniert werden, um so die Sinterzone soweit wie möglich gegen Verunreinigungen aus der Restentbinderung zu schützen.

Die Sinterzone hat meistens eine inerte Atmosphäre, d.h. sie reagiert nur sehr träge oder gar nicht mit dem Gut oder reduzierend. Üblicherweise setzt sie sich aus Wasserstoff und Stickstoff zusammen.

Spaltgas aus Ammoniak kann so auch genutzt werden. In seltenen Fällen kommt auch Argon zum Einsatz, jedoch ist das nur in Gegenden wirtschaftlich, wo Argon etwa das gleiche kostet wie Wasserstoff.

Gasflow along the sintering furnace

The atmosphere flow in a sintering furnace has not only a decisive influence to the gas consumption, but also to the charge quality. Following, the rest debinding and sintering zone are separated in space. The protective gas is fed at the end of the sintering zone or eligible at the end of the cooling zone. It exists a drop in pressure in direction to the entry by an escape chimney in the entry section of the furnace and a double-door lock chamber system at the exit. So, the atmosphere is streaming in counterflow to the charge.

The gas volume expands in the sintering zone to approx. four times the volume. The walking beam is capsuled in the rest debinding zone so that a muffle-like cross section arises. So, the gas is streaming very accelerated in the rest debinding in direction to the entry. The cross section of the rest debinding has to be dimensioned very carefully to protect the sintering zone as far as possible against pollution from the rest debinding.

The sintering zone has usually an inert atmosphere, that means only very slow reactions or none take place, or reducing atmosphere. Normalwise, it consists of hydrogen and nitrogen.

Also, cracked ammonia can be used. Rarely, argon is used but this is only economical in areas where argon has approx. the same price as hydrogen.

Durch den Anteil an Wasserstoff kann die Atmosphäre entkohlend betrieben werden. Wasserstoffanteile über 5% können allgemein schon als entkohlend angesehen werden. Bei der Sinterung unter reinem Stickstoff kann Kohlenstoff neutral gesintert werden.

Wegen den recht hohen Sintertemperaturen und dem daraus folgenden Aufbau der Sinterzone, ist es nicht möglich, eine aufkohlende Atmosphäre einzustellen.

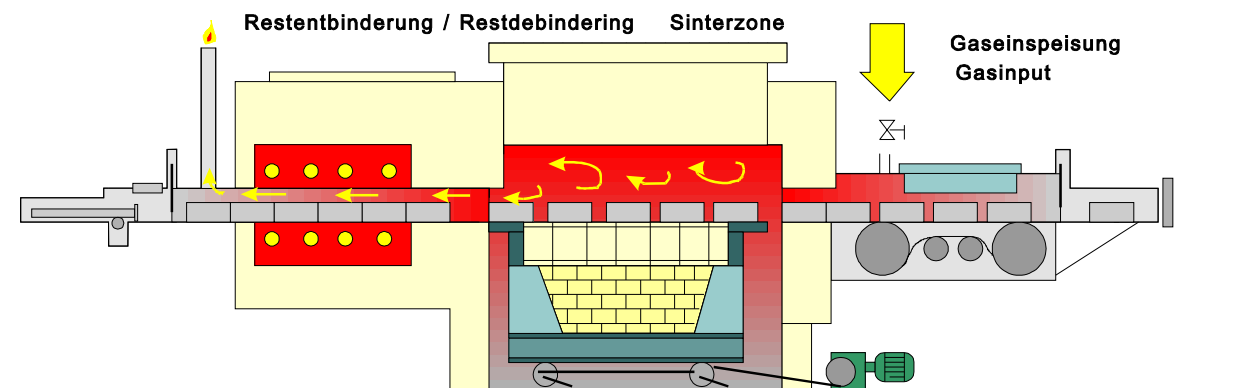
Dies ist auch wegen des starken Schrumpfens der MIM-Teile kritisch, da Unhomogenitäten in der Kohlenstoffkonzentration zu unterschiedlichen Schrumpfungen und somit zu Deformationen führen.

Auf Eisen-Nickel basierende Werkstoffe werden so in Stickstoff-Wasserstoff-Atmosphären gesintert. Edelstähle, wie 316L, werden in reinem Wasserstoff, Argon-Wasserstoff oder in seltenen Fällen auch in Wasserstoff-Stickstoff-Gemischen gesintert.

Because of the share of hydrogen, the atmosphere can be operated decarburizing. Generally hydrogen shares of more than 5% can be considered to be decarburizing. At sintering under pure nitrogen, the components can be sintered carbon-neutral. Because of the high sintering temperatures and the following construction of the sintering zone, it is not possible to adjust a carburizing atmosphere.

This is also critical because of the strong shrinking of the MIM-parts because unhomogenities in the carbon concentration can lead to different shrinking and following to deformations.

Materials that are based on iron-nickel will therefore be sintered in nitrogen-hydrogen atmospheres. Stainless steels, as 316L, in pure hydrogen, argon-hydrogen or rarely also in hydrogen-nitrogen mixtures.



Technische Daten des kontinuierlichen Sinterofens
Technical data of the continuous sintering furnace

Ofentyp Furnace type	WBSM-4-145/e	WBSM-6-145/e	WBSM-8-145/e
Durchsatz (Chargenträger/h) Throughput rate (Trays/h) [e.g.:316L] {e.g.:FN02}	[4] {4,5}	[6] {7}	[8] {9}
Chargenträgermaße Tray size (mm)	230 x 330 x 40		
Max. Beladungshöhe Max. Loading height (mm)	80		
Länge der Vorwärmzone Length of heat-up zone (mm)	3500	4400	5300
Länge der Sinterzone Length of sintering zone	4500	5900	7400
Installierte Heizleistung Vorzone Installed heating power - heat-up zone (kW)	3 x 25 = 75	4 x 25 = 100	5 x 25 = 125
Installierte Heizleistung der Sinterzone Installed heating power - sintering zone (kW)	3 x 35 = 105	4 x 35 = 140	5 x 35 = 175
Maximaltemperatur der Vorzone Max. temperature - heat-up zone (°C)	800		
Maximaltemperatur Sinterzone Max. temperature - sintering zone (°C)	1450		
Länge der Kühlzone Length of the cooling zone(mm)	3000	4000	6000

Voll kontinuierlich arbeitende Anlagen für die MIM-Produktion

Die Kombination aus kontinuierlicher Entbinderung und Sinterung findet im **MIM-Master und MIM-Trainer** ihre Vollendung. Hier findet kein weiteres Handling zwischen Entbinderung, Restentbinderung und Sinterung statt.

Der MIM-Master ist für die Großserie bereits etabliert. Der MIM-Trainer ist ebenfalls eine voll kontinuierliche Anlage. Er hat eine Kapazität von etwa 1-2 Chargenträger/h mit der Dimension (L:230 x B:130 x H:80)mm.

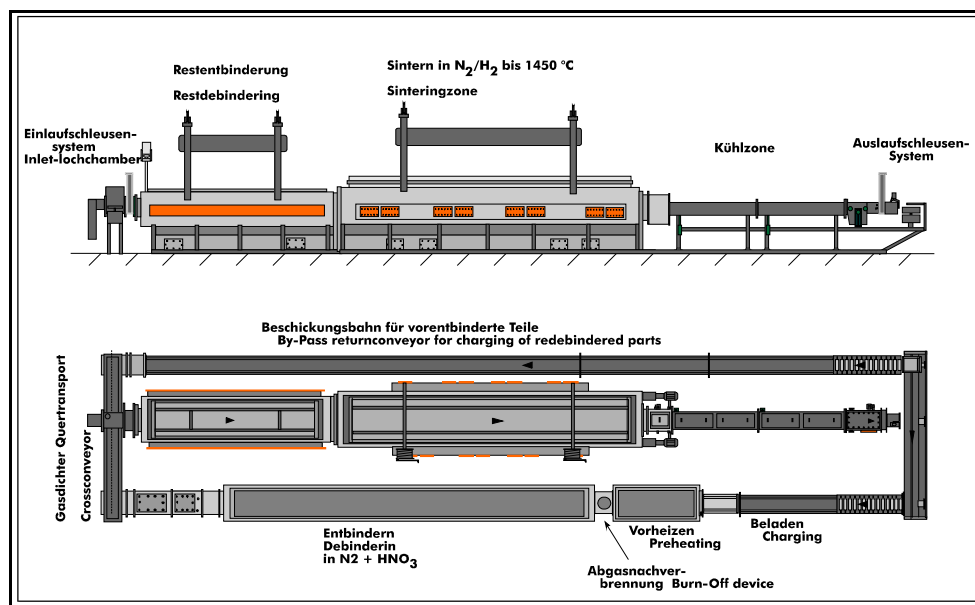
Die Durchsatzleistung des MIM-Masters ist von 2,4,6 bis 8 Chargenträger/h der Dimension (L:330 x B:230 x H:80)mm gestaffelt.

Full continuously working furnaces for MIM-application

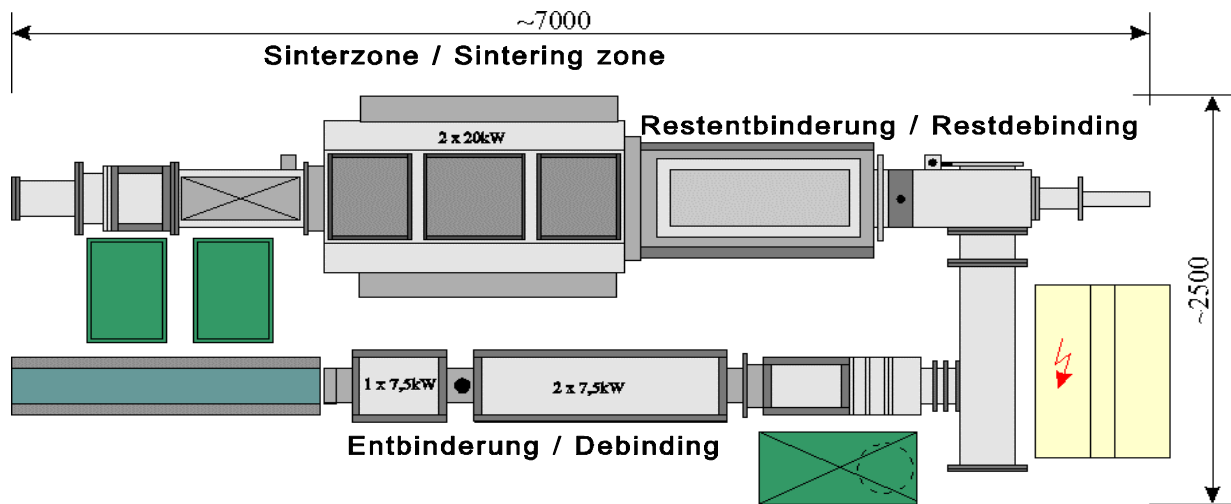
The combination of continuous debinding and sintering is finding his perfection in the **MIM-MASTER and MIM-TRAINER**. No further handling between debinding, restdebinding and sintering is necessary.

The MIM-Master is already established for great lots. The MIM-Trainer is also a full continuously plant. It has a capacity of approx. 1-2 charge carriers/h with following dimensions: L 230 x B 130 x H 80 mm.

The throughput rate of a MIM-Master is subdivided from 2, 4, 6 to 8 charge carriers/h with following dimensions: L 330 x B 230 x H 80 mm.



MIM-Master 6



Vergleich zwischen kontinuierlicher Fertigung und der Fertigung in Kammeröfen

Allgemein hängt die Qualität des Gutes von folgenden Faktoren ab:

- Temperatur
- Zeit
- Atmosphärenbeschaffenheit

Die Konstanz der Qualität der gesamten Charge hängt zusätzlich noch von der Position des einzelnen Teils in der Charge ab (X,Y,Z-Position).

Somit hängt die Qualität einer Charge von sechs Faktoren ab.

Comparison between continuous and batch manufacturing

Generally, the quality of the charge depends on following factors:

- temperature
- time
- atmosphere composition

The quality steadiness of the whole charge is also additionally depending on the position of the single part in the charge (X, Y, Z-position).

Following, the quality of a charge is depending on 6 factors.

In einem Durchlaufofen kann der Einfluß der Ortsmatrix stark verkleinert werden. Falls die Z-Achse als Durchlaufrichtung definiert wird, kann ihr Einfluß im Vergleich zum Kammerofen gestrichen werden, da alle Teile durch das gleiche Profil an Temperatur und Atmosphärenkonsistenz durchlaufen.

Auch die Höhe der Charge als Y-Achse kann im Vergleich zum Batch-Ofen vernachlässigt werden, da sie üblicherweise in einem Durchlaufofen mehr als zehnmals kleiner ist, als in einem vergleichbaren Kammerofen.

Lediglich die Breite des Chargenträgers als X-Achse darf in einem Durchlaufofen nicht zu groß gewählt werden, um eine gute Temperaturverteilung zu gewährleisten. Dennoch ist die Breite ca. dreimal kleiner als bei einem Kammerofen mit ähnlicher Kapazität.

Das Verhältnis von der Breite des Chargenträgers zum gewünschten Durchsatz bestimmt die Länge der Anlage.

Generell kann man sagen, daß wegen der Temperaturverteilung die Charge nicht breiter als 250 mm und, wegen der Atmosphärenkonsistenz die Höhe des Durchlaufkanals nicht höher als 100 mm gewählt werden sollte. Dies sind Erfahrungswerte, die sich auf die MIM-Produktion beziehen.

So kann man festhalten, daß durch die Anwendung eines kontinuierlichen Konzeptes die qualitätsbestimmenden Faktoren von sechs auf drei reduziert werden können.

Oder anders: die Durchlaufanlagen sind nichts anderes als eine Aneinanderreihung von vielen kleinen Kammeröfen.

The influence of the position matrix in a continuous furnace can be extremely scaled down. If the Z-coordinate is defined as flow direction, its influence can be cancelled in comparison to the chamber furnace because all parts are running through the same profile of temperature and atmosphere composition.

Also the height of the charge as Y-coordinate can be ignored in comparison to the batch furnace because it is usually 10 times smaller in a continuous furnace than in a comparable batch furnace.

Only the width of the charge carrier as X-coordinate is not allowed to be selected too big in a continuous furnace to guarantee a good temperature distribution. Nevertheless, the width is approx. 3 times smaller than in a chamber furnace with likewise capacity.

The relation of charge carrier width to the requested throughput rate is determining the length of the plant.

Generally, we can say that the charge width should not be selected more than 250 mm because of the temperature distribution, and because of the atmosphere composition, the throughput channel should not be higher than 100 mm. This are experiences which are referring to the MIM-production.

Therefore, we can record that the quality decisive factors can be reduced from 6 to 3 because of the application of a continuous construction.

Or: The continuous plants are nothing but a serie of a lot of small batch furnaces.

Einschränkend muß man festhalten, daß kontinuierlich arbeitende Anlagen wegen des recht großen mechanischen Aufwandes mit hohen Durchsatzraten ausgestattet und somit für die Experimentierphase häufig ungeeignet sind. Hierfür sind Kammeröfen bis etwa 60l Nutzvolumen besser geeignet.

Der MIM-Trainer stellt hier einen Kompromiß dar. Er arbeitet voll kontinuierlich, ist aber aufgrund seiner Konzeption schnell auf neue Prozessparameter eingestellt.

Das sich das kontinuierliche Sintern von MIM-Teilen durchgesetzt hat, zeigen auch einige Veröffentlichungen in den USA.

Siehe:
Gorham, Injection Molded Metal, Ceramic and Cemented Carbide Parts Conference, 17., 18., 19. März 1996:

Restrictively, we have to say that continuously working plants are equipped with high throughput rates because of the high mechanical expenditure and therefore sometimes not suitable for the test period. In that case, batch furnaces up to approx. 60 l charging volume are better suitable.

Here, the MIM-Trainer is a compromise solution. He is working full continuously, but adjusted very fast to new process parameters because of his construction.

Some publications in the USA are also showing that the continuous sintering of MIM-parts get accepted.

Look:
Gorham, Injection Molded Metal, Ceramic and Cemented Carbide Parts Conference, March 17, 18 and 19, 1996.

