



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**02.05.2012 Patentblatt 2012/18**

(21) Anmeldenummer: **12151528.2**

(22) Anmeldetag: **23.03.2011**

(51) Int Cl.:  
**B21D 22/02 (2006.01) C21D 1/673 (2006.01)**  
**C22C 38/02 (2006.01) C22C 38/04 (2006.01)**  
**C21D 1/02 (2006.01) B21D 22/20 (2006.01)**  
**B21D 37/16 (2006.01)**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **23.03.2010 DE 102010012579**

(62) Dokumentnummer(n) der früheren Anmeldung(en) nach Art. 76 EPÜ:  
**11159354.7 / 2 371 465**

(71) Anmelder: **Benteler Automobiltechnik GmbH 33102 Paderborn (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Pellmann, Markus 48336 Sassenberg (DE)**

• **Hielscher, Christian 33129 Delbrück (DE)**

(74) Vertreter: **Ksoll, Peter Bockermann - Ksoll - Griepenstroh Patentanwälte Bergstrasse 159 44791 Bochum (DE)**

Bemerkungen:

Diese Anmeldung ist am 18-01-2012 als Teilanmeldung zu der unter INID-Code 62 erwähnten Anmeldung eingereicht worden.

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von gehärteten Formbauteilen**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein Warmformwerkzeug zur Herstellung von gehärteten Formbauteilen, insbesondere von Struktur- oder Karosseriebauteilen von Kraftfahrzeugen. Eine Metallplatte wird bis auf eine Temperatur im spezifischen Austenitierungstemperaturbereich des Werkstoffs erwärmt, anschließend im Formraum (4) des Warmformwerkzeugs (1) zum Formbauteil (5) warm umgeformt und durch Kontakt mit einem Kühlmittel (KM) im Formraum (4) des Warmformwerkzeugs (1) gehärtet. Hierzu wird das Kühlmittel (KM) durch Zuflusskanäle (7, 8) in den Formraum (4) geleitet. Nach einem ersten Aspekt der Erfindung wird das Formbauteil (5) zumindest teilweise mit einem Kühlmittel (KM) gekühlt, dessen Druck ( $p_{KM}$ ) oberhalb des Dampfdrucks ( $p_D$ ) des Kühlmittels (KM) liegt. Ein zweiter Aspekt der Erfindung sieht vor, dass der Aggregatzustand des Kühlmittels (KM) einstellbar ist.

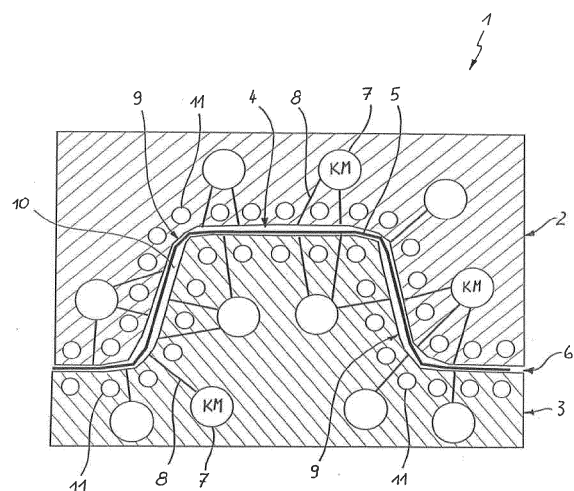


Fig. 1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Herstellung von gehärteten Formbauteilen, insbesondere von Struktur- oder Karosserieanteilen von Kraftfahrzeugen.

**[0002]** Zur Gewichtsreduzierung und zur Erhöhung der Crashfestigkeit werden in der Automobilindustrie hochfeste Stahlbleche eingesetzt, die zu Formbauteilen warm umgeformt und pressgehärtet werden. Die Warmumformung und Presshärtung von Metallblechen als solches ist bekannt, beispielsweise durch die DE 24 524 86 A1. Hierbei wird eine Metallplatte bis auf eine Temperatur im spezifischen Austenitisierungstemperaturbereich des erkstoffes, das heißt auf eine Temperatur über der Umwandlungstemperatur AC1, vorzugsweise größer als AC3, in einer Wärmebehandlungsanlage erwärmt, anschließend in ein Pressenwerkzeug eingelegt und umgeformt. Im Pressenwerkzeug eingespannt werden die Formbauteile durch Kühlung gehärtet.

**[0003]** Bei der für die Härtung notwendigen Kühlung unterscheidet man zwischen indirekter Kühlung und direkter Kühlung.

**[0004]** Die indirekte Kühlung erfolgt über Kühlkanäle, welche in Form von Bohrungen oder Schlitzten (Schachtkühlung) in einem definierten Abstand zur Umformoberfläche in das Werkzeug eingebracht sind. Durch diese Kanäle fließt ein Kühlmittel, in der Regel Wasser, das die von dem warmen Formbauteil an das Werkzeug abgegebene Wärme nach außen abführt.

**[0005]** Bei der direkten Kühlung wird das Formbauteil im Warmformwerkzeug direkt mit Kühlmedium in Kontakt gebracht. Bei dem aus der DE 10 2005 028 010 B3 bekannten Warmformwerkzeug befindet sich das Unterwerkzeug der Presse innerhalb eines Flüssigkeitsbades. Dabei können sowohl Teile der Formgeometrie als auch die gesamte Formgeometrie unterhalb des Flüssigkeitsspiegels liegen. Das warm zu formende und zu härtende Blechprofil wird oberhalb des Flüssigkeitsspiegels aufgelegt und beim Zufahren der Presse durch das Oberwerkzeug in das Flüssigkeitsbad eingetaucht und in das Unterwerkzeug tiefgezogen.

**[0006]** Eine direkte Kühlung in einem Warmformwerkzeug ist weiterhin aus der DE 26 03 618 A1 bekannt. In der Umformfläche von Unter- und Oberwerkzeug sind konzentrische Ringnuten eingebracht, in die durch die Werkzeuge hindurch geführte Kanäle münden. Durch diese Kanäle wird eine Kühlflüssigkeit bis in die Ringnuten zum direkten Kontakt mit einem zu härtenden Blechprofil geführt. Diese direkte Kühlung lässt zumindest theoretisch eine verbesserte Kühlung erwarten, da die Kühlflüssigkeit in unmittelbarem Kontakt mit dem Formbauteil gelangt.

**[0007]** Einen wesentlichen Einfluss auf den Wärmeübergang und die Wärmeabfuhr hat in der Praxis der Kontaktdruck bzw. haben die Kontaktbedingungen zwischen dem Formbauteil und dem Warmformwerkzeug. Die Werkzeuge werden mit CNC-Maschinen bis auf hun-

dertstel Millimeter genau gefertigt und anschließend tuschiert, um die Spalte zwischen Formbauteil und Werkzeug so gering wie möglich zu halten. Trotz aller Bemühungen kommt es in Bereichen in denen Bauteilabstreckungen erfolgen oder in Bereichen steiler Zargen zu Luftspalten zwischen Bauteil und Werkzeug, die stark isolierend wirken, so dass hier der Wärmübergang leidet. Auch verschleißbedingt lassen sich Luftspalte zwischen Bauteil und Werkzeug nicht vermeiden.

**[0008]** Als Kühlmittel bzw. -flüssigkeit wird überwiegend Wasser verwendet, dessen hohe Verdampfungsenthalpie den Kühlvorgang begünstigt. Je nach Höhe der Oberflächentemperatur am Formbauteil treten beim Kontakt zwischen Kühlmittel und Formbauteil unterschiedliche Siedephänomene auf. Bei den hohen Oberflächentemperaturen verdampft das Wasser und es bildet sich auf der Formbauteiloberfläche ein Dampffilm aus, der aufgrund der gegenüber der Flüssigkeit wesentlich geringeren Wärmeleitfähigkeit isolierend wirkt. Im Bereich des Filmsiedens kühlt das Formbauteil daher nur langsamer ab. Wenn die zu kühlende Oberfläche die sogenannte Leidenfrosttemperatur unterschreitet, kommt es lokal und unregelmäßig verteilt über der Formbauteilfläche zu direktem Kontakt zwischen Flüssigkeit und Formbauteil. Der abgeführte Wärmestrom steigt in diesen Bereichen. Sobald die Temperatur des Kühlmittels die Siedetemperatur unterschreitet, findet keine Verdampfung mehr statt und die Wärme wird bei völlig benetzter Formbauteiloberfläche konvektiv übertragen. Die vorgeschilderten Siedephänomene bzw. Phasenzustände des Kühlmittels während der Kühlung können zu lokal sowie zeitlich unterschiedlichen und nicht kontrollierbaren Abkühlvorgängen am Formbauteil führen. Dies wirkt sich auf die Bauteileigenschaften und letztendlich auf die Produktqualität aus.

**[0009]** Der Erfindung liegt, ausgehend vom Stand der Technik, die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung von gehärteten Formbauteilen weiterzuentwickeln, um die Effizienz des Wärmeübergangs zu steigern und somit die Kühlwirkung zu verbessern sowie um die Werkstoffkennwerte der Formbauteile differenziert und prozesssicher sowie reproduzierbar einstellen zu können. Weiterhin zielt die Erfindung darauf ab, eine Vorrichtung zur Herstellung von gehärteten Formbauteilen anlagentechnisch zu verbessern.

**[0010]** Eine erste Lösung des verfahrensmäßigen Teils der Aufgabe besteht nach Anspruch 1 in einem Verfahren, bei dem die Formbauteile im Warmformwerkzeug durch direkte Kühlung mittels eines Kühlmittels gehärtet werden. Erfindungsgemäß wird das Formbauteil zumindest teilweise mit einem Kühlmittel gekühlt, dessen Druck oberhalb des Dampfdrucks des Kühlmittels liegt, wobei das Kühlmittel mit einem Druck von bis zu 25 MPa in den Formraum eingebracht wird.

**[0011]** Ungewollte Luftpolster bzw. Luftspalte im Warmformwerkzeug können beispielsweise durch Verschleiß am Formwerkzeug oder in Folge von Herstellungstoleranzen im Werkzeugbau hervorgerufen wer-

den. Um den Kontakt und somit die Wärmeabfuhr vom Formbauteil zum Warmformwerkzeug zu verbessern, wird der ungewollte Luftspalt zwischen Formbauteil und Werkzeug bzw. den Kontaktflächen im Formraum des Werkzeugs geschlossen, indem Kühlmittel mit einem Druck oberhalb des Dampfdrucks des Kühlmittels in den Formraum bzw. in den Werkzeugspalt zwischen Oberwerkzeug und Unterwerkzeug eingebracht wird. Dieser Aspekt der Erfindung zielt folglich auf den Erhalt einer stabilen Flüssigphase des Kühlmittels beim Abkühlvorgang ab. Das Verdampfen des Kühlmittels wird durch das Arbeiten in einem erhöhten Druckbereich oberhalb der Dampfdruckkurve verhindert. Durch das in den Formraum bzw. die Spalte zwischen dem Formbauteil und den Kontaktflächen des Werkzeugs eingebrachte Kühlmittel wird der Wärmeübergang im Gegensatz zu den sonst vorhandenen Luftpolstern extrem heraufgesetzt. Der Wärmeübergang entspricht nun idealer Weise dem bei gutem Werkzeugkontakt.

**[0012]** Die Beaufschlagung des Formbauteils mit Kühlmittel im Formraum, um dieses zu kühlen und zu härten, kann vollflächig über die gesamte Bauteiloberfläche oder partiell auf bestimmte Bereiche des Formbauteils beschränkt erfolgen. Man erhält so ein vollständig pressgehärtetes Formbauteil oder ein partiell gehärtetes bzw. partiell unterschiedlich gehärtetes Formbauteil. Es ist auch möglich verschiedene Bereiche des Formbauteils unterschiedlich zu kühlen und so diesen Bereichen voneinander verschiedene Härte- und Festigkeitseigenschaften zu verleihen.

**[0013]** Das Kühlmittel wird mit einem Druck von bis zu 25 MPa in den Formraum eingebracht und zwar mit sehr hohen Volumenströmen. Auch kann die Zeitdauer der Kühlmittelzufuhr und/oder die Höhe des Drucks variiert werden. Für die Praxis ist davon auszugehen, dass der Mindestdruck 6 MPa betragen sollte. Es hat sich gezeigt, dass bei einem Vordruck von kleiner als 6 MPa eine unvollständige Wärmeübertragung zu einer signifikanten Verringerung der Abkühlung des Werkstücks und damit der Festigkeit des fertigen Hohlformbauteils führt.

**[0014]** In einer vorteilhaften Weiterbildung wird die Bauteiltemperatur des Formbauteils im Formraum gemessen. Weiterhin kann auch die Werkzeugtemperatur im Bereich der Kontaktflächen des Formraums gemessen werden. In Abhängigkeit von der Bauteiltemperatur und/oder der Werkzeugtemperatur wird der Anfangszeitpunkt und der Endzeitpunkt der Kühlmittelzufuhr gesteuert.

**[0015]** Weiterhin ist in einer Verfahrensmodifikation vorgesehen, dass die Kühlmittelverteilung im Formraum variabel steuerbar ist. Hierbei können bestimmte (erste) Bereiche des Formbauteils mit Kühlmittel beaufschlagt werden und andere (zweite) Bereiche des Formbauteils nicht. Auch können von einander verschiedene Bereiche zeitlich versetzt mit Kühlmittel beaufschlagt werden, um so gezielt bzw. differenziert die Werkstoffeigenschaften in diesen Bereichen bauteilgerecht einzustellen.

**[0016]** Insbesondere wenn das Bauteil in Bereichen

unterschiedlich gekühlt wird, ist es von Vorteil, wenn das Formbauteil nach der Entnahme aus dem Warmformwerkzeug in einer Abkühlstation fixiert gehalten wird. Hierdurch kann ein Verzug des Formbauteils in Folge von Wärmespannungen vermieden werden.

**[0017]** Zur gezielten Einstellung des Aggregatzustandes des Kühlmittels wird der Druck mit dem das Kühlmittel in den Formraum eingebracht bzw. gespritzt wird während der Kühlphase steuerungstechnisch an den Dampfdruck des Kühlmittels angepasst. Je nach Einspritzdruck ist es möglich im Werkzeugspalt eine Wasserschicht mit guter Wärmeleitung oder einen Nassdampf mit anderer Wärmeleitfähigkeit zu erzeugen.

**[0018]** Der Druck kann - wie vorstehend bereits herausgestellt - zeitgesteuert und/oder temperaturgesteuert, insbesondere in Abhängigkeit einer Temperaturmessung am Formbauteil im Warmformwerkzeug und/oder am Warmformwerkzeug selbst eingestellt werden.

**[0019]** Das Kühlmittel kann des Weiteren intermittierend in den Formraum gespritzt werden. Hierdurch stehen zwei regelungstechnisch auch im Rahmen einer Massenfertigung rationell umsetzbare Parameter - Impulsdauer und Frequenz - zur Verfügung. Durch gezielte Steuerung der Kühlmittelmenge pro Impuls und deren zeitliche Abfolge können hohe Wärmeströme abgeführt werden. Besonders vorteilhaft ist die Steuerung derart, dass ein Impuls pro Pressendruck bzw. Werkzeughub realisiert wird.

**[0020]** Eine erste Lösung des gegenständlichen Teils der Aufgabe besteht in einem Warmformwerkzeug mit den Merkmalen von Anspruch 5.

**[0021]** Das Warmformwerkzeug umfasst ein Oberwerkzeug und ein Unterwerkzeug. Im Ober- und/oder Unterwerkzeug sind Zuflusskanäle vorgesehen, über welche ein Kühlmedium in den zwischen Oberwerkzeug und Unterwerkzeug ausgebildeten Formraum bzw. den Werkzeugspalt des geschlossenen Formraumes leitbar ist. Der Aggregatzustand des Kühlmittels ist einstellbar. Dies erfolgt über eine Steuerung der Höhe des Druckes mit dem das Kühlmittel in den Formraum während des Kühlprozesses eingespritzt bzw. gepresst wird. Hierzu sind dem Warmformwerkzeug alle notwendigen steuerungs- und regeltechnischen Apparate und Aggregate zugeordnet, insbesondere eine Hochdruckpumpe, ein Druckübersetzer, einen Hochdruckspeicher, eine Einspritzsteuerung und/oder eine Kühlmittelmengensteuerung.

**[0022]** Das Kühlmittel ist mit einem Druck in den Formraum einspritzbar, wobei die Höhe des Drucks und/oder die Einspritzdauer des Kühlmittels steuerbar sind.

**[0023]** Im Oberwerkzeug und/oder im Unterwerkzeug sind Versorgungsleitungen für das Kühlmittel vorgesehen. Von den Versorgungsleitungen zweigen Einspritzleitungen ab, die in den Formraum münden. Mündungsseitig können die Einspritzleitungen Düsen aufweisen, vorzugsweise münden die Einspritzleitungen mit dünnen Öffnungen ohne integrierte Düsen in den Formraum.

**[0024]** Bei einer Modifikation des Warmformwerk-

zeugs sind in den Kontaktflächen des Formraums Mittel zur Beeinflussung der Wärmeübertragung angeordnet. Bei solchen Mitteln kann es sich insbesondere um Heizelemente, Freimachungen, Luftspalte, Einsätze aus Materialien mit geringerer oder höherer Wärmeleitfähigkeit oder Keramikeinsätze handeln. Diese Ausgestaltung ist insbesondere für die Herstellung von partiell unterschiedlich gehärteten Formbauteilen geeignet, wobei entweder gezielt ein Luftübergang im Luftpolster mit minimaler Wärmeübertragung oder eben ein größtmöglicher Wärmeübergang durch Einspritzen des Kühlmittels realisiert werden kann.

**[0025]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des Warmformwerkzeugs sieht vor, dass eine Mess- und Auswerteeinheit vorgesehen ist, mittels der der Verschleißzustand des Warmformwerkzeugs bzw. des Oberwerkzeugs und/oder des Unterwerkzeugs ermittelbar ist. Der Verschleißzustand kann insbesondere durch Auswertung der Betriebsdrücke, des Kühlmittelvolumens und/oder der an Überdruckventilen gemessenen Ablassmengen des Kühlmittels ermittelt werden. Die Verschleiß- bzw. Zustandsermittlung des Warmformwerkzeugs ermöglicht eine Werkzeuginstandhaltungsplanung.

**[0026]** Der gegenständliche Teil der Aufgabe wird des Weiteren durch ein Warmformwerkzeug gemäß den Merkmalen von Anspruch 12 gelöst.

**[0027]** Das Warmformwerkzeug weist ein Oberwerkzeug und ein Unterwerkzeug auf. Das Kühlmittel wird über ein Kühlsystem bereitgestellt und über Zuflusskanäle, die im Oberwerkzeug und/oder Unterwerkzeug vorgesehen sind, in den zwischen dem Oberwerkzeug und dem Unterwerkzeug ausgebildeten Formraum eingeleitet. Das Kühlsystem umfasst wenigstens einen Druckerzeuger, wobei der Druckerzeuger zumindest mittelbar durch das Warmformwerkzeug, also das Oberwerkzeug und/oder das Unterwerkzeug, angetrieben ist. Besonders bevorzugt ist der Druckerzeuger ein Energieumformer in Form einer Kolben-Zylinder-Einheit.

**[0028]** Als Volumenpuffer und Energiespeicher ist ein Druckspeicher in das Kühlsystem integriert. Insbesondere kommt ein hydropneumatischer Druckspeicher in Form eines Blasenspeichers, eines Membranspeichers oder eines Kolbenspeichers zur Anwendung.

**[0029]** Der hydropneumatische Druckspeicher ist ein hydraulisches Bauteil, welches sich die Kompressibilität von Gas, in der Regel Stickstoff, zu Nutze macht, um im Kühlsystem Druck und Volumen des inkompressiblen Kühlmediums zu speichern. Der Druckspeicher besteht aus einem hochfesten Stahlbehälter. Der Flüssigkeits- und der Gasteil sind durch ein gasdichtes Trennelement (Blase oder Membrane) getrennt. Der Flüssigkeitsraum des Druckspeichers steht mit dem Kühlsystem in Verbindung. Bei Anstieg des Drucks strömt Kühlmittel in den Flüssigkeitsraum und komprimiert damit das im Gasraum befindliche Gas (Stickstoff). Beim Absinken des Drucks expandiert das verdichtete Gas und stellt somit die gespeicherte Energie dem Kühlsystem zur Verfügung.

**[0030]** Die Grundversorgung des Kühlsystems mit Kühlmittel erfolgt über eine Vorfüllpumpe. Die Vorfüllpumpe führt Kühlmittel zum Druckerzeuger. Hierzu sind die Vorfüllpumpe und der Druckerzeuger über eine Leitung verbunden, in welche ein Rückschlagventil integriert ist.

**[0031]** Der Druckerzeuger füllt den Druckspeicher während der Schließbewegung des Warmformwerkzeugs. Hierzu ist der bzw. Druckerzeuger vorzugsweise mit dem Oberwerkzeug des Warmformwerkzeugs mechanisch gekoppelt. Zur Kühlung des umgeformten Formbauteils am Ende der Schließbewegung des Warmformwerkzeugs bzw. des Oberwerkzeugs wird die Kühlmittelzufuhr geöffnet und man entnimmt Kühlmittel aus dem Druckspeicher. Der Druckspeicher stellt damit die Zufuhr von unter hohem Druck von bis zu 25 MPa stehenden Kühlmittel in das Warmformwerkzeug sicher.

**[0032]** Die Druckerzeugung innerhalb des Kühlsystems erfolgt mithin vollständig oder zumindest teilweise durch das Warmformwerkzeug selbst. Hierzu wird die Bewegung des Oberwerkzeugs und/oder des Unterwerkzeugs beim Schließen und Öffnen zum Antrieb bzw. zur Betätigung des Druckerzeugers genutzt.

**[0033]** Natürlich ist es auch vorstellbar, dass das Kühlsystem ergänzend auch durch die Vorfüllpumpe selbst auf einen Mindestdruck gehoben wird, wobei dies eine Hochdruckpumpe mit geringem Volumendurchsatz und entsprechend hohen Verlusten im Dauerbetrieb nach sich ziehen würde.

**[0034]** Weiterhin möglich ist, dass die Kolben-Zylinder-Einheit anstelle der werkzeugintegrierten Ausführung unterhalb der Presse bzw. des Warmformwerkzeugs positioniert ist aber dennoch mittelbar durch den Pressendruck betätigt wird.

**[0035]** Eine weitere Ausführungsvariante stellt sich dadurch dar, dass eine Hochdruckpumpe welche die Funktion des Druckerzeugers übernimmt zwischen Vorderpumpe und Druckspeicher positioniert ist.

**[0036]** Möglich ist auch, dass eine Vorfüllpumpe außerhalb des Werkzeugs positioniert und unabhängig vom Pressenhub gesteuert betrieben wird.

**[0037]** Vorzugsweise sind zwei oder mehr Druckerzeuger vorgesehen. Die Kühlmittelzuführung zum Oberwerkzeug und zum Unterwerkzeug erfolgt vorzugsweise getrennt voneinander, so dass zwei Teilkühlsysteme vorgesehen sind. Auf diese Weise werden das Oberwerkzeug und das Unterwerkzeug unabhängig voneinander mit Kühlmittel versorgt, so dass keine Hochdruckleitungen direkt zwischen dem Oberwerkzeug und dem Unterwerkzeug verlegt werden müssen.

**[0038]** Bei einem für die Praxis besonders vorteilhaften Warmformwerkzeug sind der Druckerzeuger und der Druckspeicher kühlmittelleitend miteinander verbunden, wobei in die Verbindungsleitung zwischen Druckerzeuger und Druckspeicher ein Überdruckventil und vorzugsweise ein weiteres Rückschlagventil integriert sind.

**[0039]** Für die Praxis ist es vorteilhaft, wenn in das Kühlsystem und den Kühlmittelkreislauf eine Filterein-

richtung integriert ist. Des Weiteren können im Kühlsystem ein Wärmetauscher und/oder ein Kühler vorgesehen sein. Dieser ist vor oder nach der Filtereinrichtung geschaltet oder auch in einem Filterbecken angeordnet.

**[0040]** Gebrauchtes Kühlmittel tritt aus dem Warmformwerkzeug aus und wird in einem Auffangsystem aufgenommen und der Wiedernutzung zugeführt.

**[0041]** Die Erfindung ist nachfolgend mit Bezug auf die Figuren und durch Erläuterung von verschiedenen Ausführungsbeispielen beschrieben. Die Figuren zeigen:

- Figur 1 schematisch eine erste Ausführungsform eines Warmformwerkzeuges in einer vertikalen Schnittdarstellung;
- Figur 2 schematisch eine zweite Ausführungsform eines Warmformwerkzeuges in einer vertikalen Schnittdarstellung;
- Figur 3 die Dampfdruckkurve von Wasser;
- Figur 4 die Dampfdruckkurve von Wasser mit der Darstellung von zwei Punkten unterschiedlicher Druckhöhe bei denen unterschiedliche Aggregatzustände des Wassers vorliegen;
- Figur 5 ein Warmformwerkzeug entsprechend der Figur 2 in der Offenstellung mit der Darstellung des Kühlsystems;
- Figur 6 das Warmformwerkzeug entsprechend der Figur 5 in der Schließstellung und
- Figur 7 eine Variante des Warmformwerkzeuges wie in der Figur 5 dargestellt.

**[0042]** Figur 1 zeigt ein Warmformwerkzeug 1. Das Warmformwerkzeug 1 umfasst im Wesentlichen ein Oberwerkzeug 2 und ein Unterwerkzeug 3, die relativ zueinander verlagerbar sind und zwischen denen ein Formraum 4 ausgebildet ist.

**[0043]** Im Formraum 4 eingespannt erkennt man ein umgeformtes Formbauteil 5 aus Stahl. Der beim geschlossenen Formraum 4 zwischen Oberwerkzeug 2 und Unterwerkzeug 3 ausgebildete Werkzeugspalt ist mit 6 bezeichnet. Zur Herstellung des Formbauteils 5 ist eine Platine aus härtbarem Stahl auf eine Härtetemperatur oberhalb der Austenitisierungstemperatur erwärmt, dann in das Warmformwerkzeug 1 überführt und umgeformt worden. Im Formraum 4 eingespannt wird das Formbauteil 5 durch eine schnelle Abkühlung unterhalb der Martensit-Starttemperatur abgekühlt und gehärtet.

**[0044]** Im Oberwerkzeug 2 und im Unterwerkzeug 3 sind Versorgungsleitungen 7 vorgesehen, von denen Einspritzleitungen 8 zum Formraum 4 abgehen. Zur Kühlung des Formbauteils 5 wird Kühlmittel KM, in der Regel Wasser, von den Versorgungsleitungen 7 über die Einspritzleitungen 8 in den Formraum 4 bzw. den Werkzeug-

spalt 6 und in zwischen dem Formbauteil 5 und den Kontaktflächen 9 des Formraums 4 vorhandene Luftspalte 10 eingespritzt. Zum Warmformwerkzeug 1 gehören weiterhin hier nicht dargestellte Druckerzeuger und/oder ein Druckspeicher sowie Steuer- und Regelgeräte für die Einstellung des Kühlmitteldrucks sowie der Kühlmittelmenge, der Zeitdauer der Kühlmittelzufuhr und Temperaturmesselemente.

**[0045]** Im Formraum 4 erfolgt eine direkte Kühlung durch Einspritzen bzw. Einpressen von Kühlmittel KM und dem Kontakt des Kühlmittels KM mit dem Formbauteil 5. Die Kühlmittelversorgung einschließlich der Versorgungsleitung 7, der Einspritzleitung 8 und der zugehörigen drucktechnischen Apparate und Geräte gehören zu einem ersten Kühlsystem. Das erste Kühlsystem arbeitet im Hochdruckbereich, wobei der Druck und der Aggregatzustand des Kühlmittels KM einstellbar sind.

**[0046]** Im Oberwerkzeug 2 und im Unterwerkzeug 3 erkennt man ferner Kühlkanäle 11. Diese gehören zu einem zweiten Kühlsystem, über welches eine indirekte Kühlung des Formbauteils 5 erfolgt. Durch die Kühlkanäle 11 wird ein Kühlmittel geführt, das die von dem warmen Formbauteil 5 an das Warmformwerkzeug 1 bzw. das Oberwerkzeug 2 und das Unterwerkzeug 3 abgegebene Wärme aufnimmt und nach außen abführt. Als Kühlmittel kommt auch hier bevorzugt Wasser zum Einsatz. Vorzugsweise wird das Kühlmittel beim zweiten Kühlsystem in einem Kühlkreislauf mit Rückkühlung geführt. Während das Kühlmittel KM im ersten Kühlsystem unter Hochdruck steht, liegt das Kühlmittel im zweiten Kühlsystem mit Betriebsdrücken von bis zu 0,6 MPa vor.

**[0047]** Das in der Figur 2 dargestellte Warmformwerkzeug 12 entspricht vom grundsätzlichen Aufbau mit Oberwerkzeug 2 und Unterwerkzeug 3 dem zuvor anhand Figur 1 erläuterten Warmformwerkzeug 1. Demzufolge sind einander entsprechende Bauteile bzw. Bauteilkomponente mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Auf eine nochmalige Erläuterung wird verzichtet.

**[0048]** Das Warmformwerkzeug 12 unterscheidet sich vom Warmformwerkzeug 1 dadurch, dass eine indirekte Kühlung entfällt und im Oberwerkzeug 2 und im Unterwerkzeug 3 keine separaten Kühlkanäle vorgesehen sind, über welche Wärme vom Warmformwerkzeug 12 abgeführt wird.

**[0049]** Die Figuren 5 und 6 zeigen ein Warmformwerkzeug 12 - wie auch anhand der Figur 2 erläutert - zusammen mit einem Kühlsystem KS. Die Figur 5 zeigt das Warmformwerkzeug 12 in der Offenstellung. Die Figur 6 zeigt das Warmformwerkzeug 12 in der Schließstellung mit umgeformten und eingespannten Formbauteil 5.

**[0050]** Das Warmformwerkzeug 12 weist, wie vorstehend beschrieben, ein Oberwerkzeug 2 und ein Unterwerkzeug 3 auf, die relativ zueinander verlagerbar sind und zwischen denen ein Formraum 4 ausgebildet ist.

**[0051]** Im Oberwerkzeug 2 und im Unterwerkzeug 3 sind Versorgungsleitungen 7 vorgesehen, von denen Einspritzleitungen 8 abgehen, die in den Formraum 4 münden. Das Kühlmittel KM wird über ein Kühlsystem

KS bereitgestellt. Zum Kühlsystem KS gehören Druckerzeuger 13 und ein Druckspeicher 14 nebst steuer- und regeltechnischen Apparaten und Geräten sowie Absperrorgane und eine Vorfüllpumpe 15.

**[0052]** Im hier dargestellten Ausführungsbeispiel weist das Kühlsystem KS zwei Druckerzeuger 13 auf in Form von Kolben-Zylinder-Einheiten 16, 17. Diese sind antriebstechnisch mit dem Warmformwerkzeug 12 gekoppelt und werden durch das Oberwerkzeug 2 betätigt. Die Kolben-Zylinder-Einheiten 16, 17 bestehen jeweils im Wesentlichen aus einem Zylinder 18 mit einem darin geführt verlagerbaren Kolben 19 sowie einer Kolbenstange 20, die mechanisch mit dem Oberwerkzeug 2 in Verbindung steht. Die Kolben-Zylinder-Einheiten 16, 17 sind untereinander synchronisiert, wobei die Zylinderräume 21 kühlmitteleitend kommunizieren. Durch die Kommunikation der Drucksysteme auf allen Seiten kann insbesondere bei einer Fehlfunktion, wie zum Beispiel einer Undichtigkeit in einem der Druckhaltesysteme eine Verteilung der Presse unterbunden werden.

**[0053]** Die Vorfüllpumpe 15 versorgt das Kühlsystem KS mit Kühlmittel KM und sorgt für den nötigen Vordruck. Durch die Vorfüllpumpe 15 wird das Kühlmittel KM über eine Zuführleitung 22 in den Zylinderraum 21 der Kolben-Zylinder-Einheit 16 überführt (Pfeil P1). In die Zuführleitung 22 ist ein Rückschlagventil 23 integriert. Das Rückschlagventil 23 erlaubt den freien Durchfluss des Kühlmittels KM in Richtung zum Druckerzeuger 13 bzw. der Kolben-Zylinder-Einheit 16 und sperrt ihn in der umgekehrten Richtung. In die Zuführleitung 22 zwischen Vorfüllpumpe 15 und Rückschlagventil 23 ist des Weiteren ein Überdruckventils 30 integriert.

**[0054]** Die Vorfüllpumpe 15 liefert kontinuierlich Kühlmittel KM in die Druckerzeuger 13. Die Vorfüllpumpe 15 kann kontinuierlich laufen, was die Standzeit erhöht, weil die An- und Abschaltvorgänge minimiert werden können.

**[0055]** Von der Kolben-Zylinder-Einheit 16 wird das Kühlmittel KM über eine Hauptversorgungsleitung 24 in die Versorgungsleitungen 7 im Oberwerkzeug 2 und im Unterwerkzeug 3 überführt. In der Hauptversorgungsleitung 24 ist ein Schließventil 25 angeordnet, über welches die Zufuhr von Kühlmittel KM zum Warmformwerkzeug 12 geöffnet bzw. geschlossen werden kann.

**[0056]** Der Druckspeicher 14 ist an die Hauptversorgungsleitung 24 angeschlossen. In die Hauptversorgungsleitung 24 ist zwischen dem Druckerzeuger 13 bzw. der Kolben-Zylinder-Einheit 16 und dem Druckspeicher 14 vorgeschaltet ein Überdruckventil 26 und ein Rückschlagventil 27 integriert.

**[0057]** Der Druckspeicher 14 ist ausgeführt als Blasen-speicher und fungiert als Volumenpuffer und Energiespeicher. Der Druckspeicher 14 besteht aus einem hochfesten Stahlbehälter 28. Im Stahlbehälter 28 ist eine geschlossene, elastische Speicherblase 29 integriert. Die Speicherblase 29 ist mit Gas, in der Regel Stickstoff, befüllt. Durch die Speicherblase 29 werden das Gas und das Kühlmittel KM voneinander getrennt.

**[0058]** Auch wenn in dem hier erläuterten Ausführungs-

beispiel nur ein Druckspeicher 14 nebst Steuer- und Ventilorganen dargestellt ist, ist in der Praxis eine symmetrische Auslegung des Kühlsystems KS zweckmäßig. Demnach ist auch der in der Bildebene links dargestellte Druckerzeuger 13 in Form der Kolben-Zylinder-Einheit 17 mit den vorerläuterten Ventilen sowie einem Druckspeicher 14 ausgerüstet sowie mit Leitungen zum Überführen des Kühlmittels KM in die Versorgungsleitungen 7.

**[0059]** Die Arbeitsweise und das Funktionsprinzip zur Herstellung von gehärteten Formbauteilen werden im Folgenden beschrieben.

**[0060]** Die Figur 5 zeigt das Warmformwerkzeug 12 in der Offenstellung. In der Figur 6 erkennt man die Schließstellung des Warmformwerkzeugs 12. Beim Hochfahren des Oberwerkzeugs 2 wird Kühlmittel KM über die Vorfüllpumpe 15 in die Druckerzeuger 13 gepumpt (Pfeil P1) oder über die Zuführleitung 22 aus einem hier nicht dargestellten Kühlmittelbehälter eingesaugt. Zum Füllen des Kühlsystems KS mit Kühlmittel KM kann auch die Schwerkraft ausgenutzt werden, wenn der Kühlmittelbehälter oberhalb des Warmformwerkzeugs 12 angeordnet ist. Auch eine Kombination zwischen der Ausnutzung des geodätischen Drucks und dem Ansaugen des Kühlmittels KM über die Kolben-Zylinder-Einheiten 16, 17 ist möglich. Während dieser Phase ist der Druckspeicher 14 entspannt. Das Schließventil 25 ist geschlossen.

**[0061]** Eine Metallplatine, insbesondere eine Platine aus härtbarem Stahl, wird bis auf eine Temperatur im spezifischen Austenitisierungstemperaturbereich des Werkstoffs erwärmt und anschließend in den Formraum 4 des Warmformwerkzeugs 12 auf das Unterwerkzeug 3 aufgelegt.

**[0062]** Das Warmformwerkzeug 12 wird geschlossen. Hierzu wird das Oberwerkzeug 2 nach unten in Richtung zum Unterwerkzeug 3 bewegt. Bei der Schließbewegung werden die Kolben 19 der Kolben-Zylinder-Einheiten 16, 17 im Zylinder 18 abwärts bewegt. Hierbei wird Kraft auf das Kühlmittel KM in den Zylinderräumen 21 der Kolben-Zylinder-Einheiten 16, 17 ausgeübt, was zu einem Druckanstieg führt. Das Kühlmittel KM wird aus den Zylindern 18 über die Hauptversorgungsleitung 24 in Richtung zum Warmformwerkzeug 12 in den Druckspeicher 14 gedrückt (Pfeil P2). In der Praxis kann der Blasen-vordruck bis zu 25 MPa, beispielsweise 13 MPa, betragen. Der Druck in den Druckspeichern 14 kann variieren, da diese während des Kühlmittelversorgungszyklusses nicht immer vollständig entleert werden. Zur Verhinderung eines Überdrucks im Druckspeicher 14 ist das Überdruckventil 26 vorgesehen. Das Rückschlagventil 27 verhindert einen Rückfluss vom Druckspeicher 14 in Richtung des vorgeschalteten Druckerzeugers 13.

**[0063]** Es hat sich gezeigt, dass bei einem Vordruck von kleiner als 6 MPa eine unvollständige Wärmeübertragung zu einer signifikanten Verringerung der Abkühlung des Werkstücks und damit der Festigkeit des fertigen Formbauteils 5 führt.

**[0064]** Durch Schließen des Warmformwerkzeugs 12 wird die Platine im warmen Zustand umgeformt. Nach Beendigung der Schließbewegung ist das Formbauteil 5 fertig geformt, der Umformvorgang also abgeschlossen. Mit Beendigung der Schließbewegung wird das Schließventil 25 geöffnet und Kühlmittel KM wird durch Entspannen des Druckspeichers 14 über die Hauptversorgungsleitung 24 sowie die Versorgungsleitungen 7 und die Einspritzleitungen 8 in den Formraum 4 überführt (Pfeil P3).

**[0065]** Das Kühlmittel KM flutet die Luftspalte 10 zwischen dem Formbauteil 5 und den Kontaktflächen 9 des Formraums 4. Es kommt zum unmittelbaren Kontakt des Kühlmittels KM mit dem Formbauteil 5 und dem Oberwerkzeug 2 sowie dem Unterwerkzeug 3 bzw. den Kontaktflächen 9, wodurch eine direkte Kühlung des Formbauteils 5 und der damit einhergehenden Härtung erfolgt. Hierbei kommt es zu einem teilweisen Verdampfen des Kühlmittels. Der Druckspeicher 14 stellt einen Gegen-  
druck von mindestens 0,5 MPa, vorzugsweise höher, sicher, um ein weiteres Einspritzen und Aufrechterhalten des Drucks des Kühlmittels KM zu gewährleisten.

**[0066]** Das gebrauchte Kühlmittel KM läuft aus dem Warmformwerkzeug 12 ab und wird in einer Auffangwanne aufgenommen und/oder über eine Sammelrinne abgeführt.

**[0067]** Nach dem Umformen bleibt das Warmformwerkzeug 12 kurz für die benötigte Haltezeit zur Sicherstellung der Gefügeumwandlung zum Härten geschlossen. Anschließend wird das Schließventil 25 geschlossen und das Warmformwerkzeug 12 fährt auseinander, so dass der Zyklus von neuem beginnen kann.

**[0068]** Das erfindungsgemäß vorgesehene Kühlsystem KS ermöglicht ein sehr schnelles Einspritzen von Kühlmittel KM ohne Verzögerung im Druckaufbau. Vorteilhaft hierzu sind insbesondere die kurzen Kühlmittelwege, weil das Kühlsystem KS im Warmformwerkzeug 12 bzw. unmittelbar in räumlicher Nähe des Warmformwerkzeugs 12 angeordnet ist. Die Integration des Kühlsystems KS in das Warmformwerkzeug 12 führt zu einem wesentlich reduzierten Platzbedarf. Durch die Integration des Kühlsystems KS in das Warmformwerkzeug 12 ist auch eine Mobilität des Warmformwerkzeugs 12 möglich. Das Warmformwerkzeug 12 kann in verschiedenen Pressen genutzt werden. Ein Umrüsten des Warmformwerkzeugs 12 von einer Presse zu einer anderen Presse erfolgt komplett mit Oberwerkzeug 2 und Unterwerkzeug 3 einschließlich Kühlsystem KS.

**[0069]** Anlagentechnisch zeichnet sich das Kühlsystem KS weiterhin dadurch aus, dass kaum Druckschwankungen im System festzustellen sind.

**[0070]** Das Warmformwerkzeug 12, wie in der Figur 7 dargestellt entspricht vom grundsätzlichen Aufbau dem Warmformwerkzeug 12 entsprechend den Figuren 5 und 6. Die Bauteile bzw. Bauteilkomponenten sind daher mit den gleichen Bezugszeichen versehen auf eine nochmalige Beschreibung wird verzichtet. Die Modifikation besteht in der Anordnung einer Mess- und Auswerteeinheit

ME, die zur Ermittlung des Verschleißzustandes des Oberwerkzeugs 2 und/oder des Unterwerkzeugs 3 dient. Die Abblasmenge des Überdruckventils 26 kann gemessen werden und als Verschleißanzeiger für die Werkzeuginstandhaltungsplanung genutzt werden. Dazu ist die Abblasseite des Überdruckventils 26 mit einer Mess- und Auswerteeinheit ME verbunden. Die Abblasmenge sinkt mit zunehmendem Werkzeugverschleiß bzw. zunehmendem Volumen der Luftpolster zwischen Werkzeug und Werkstück an. Das bedeutet, je größer der Verschleiß ist, umso mehr Wasser geht in die Luftspalte und umso weniger wird je Hub des Werkzeugs als Überschuss ausgeblasen. Durch Überwachung und Auswertung der Abblasmenge können Rückschlüsse auf den Werkzeugverschleiß gezogen und damit eine Werkzeugdiagnose durchgeführt werden.

**[0071]** Nachfolgend sind das Grundprinzip und vier mögliche Ausführungsbeispiele der Kühlung des Formbauteils in einem Warmformwerkzeug 1 bzw. 12 erläutert.

#### Grundprinzip:

**[0072]** Die apparative Ausgestaltung des Warmformwerkzeug 1 oder 12 ermöglicht es, dass das Kühlmittel KM mit einem Druck  $p_{KM}$  oberhalb des Dampfdrucks  $p_D$  des Kühlmittels KM in den Formraum 4 und in den Werkzeugspalt 6 eingebracht wird. Dies gewährleistet eine stabile Flüssigkeitsphase des Kühlmittels KM. Hierdurch wird ein hoher Wärmeübergang bzw. eine hohe Wärmeabfuhr gewährleistet und damit eine sehr gute Kühlung. Fertigungs- und/oder verschleißbedingte Luftspalte 10 zwischen der Kontaktfläche 9 des Formraums 4 und dem Formbauteil 5 werden durch das Kühlmittel KM geschlossen. Da das Kühlmittel KM, vorliegend Wasser, unter einem hohen Druck  $p_{KM}$  oberhalb des Dampfdrucks  $p_D$  steht, wird ein Verdampfen beim Kontakt mit der heißen Bauteiloberfläche des Formbauteils 5 verhindert. Die Kühlung erfolgt gleichmäßig über die gesamte Formbauteiloberfläche. Zonen schlechter Wärmeleitung durch Dampfbildung werden vermieden. Figur 3 zeigt die Kurve des Dampfdrucks  $p_D$  von Wasser. Beim grundlegenden Prinzip der Erfindung wird ein flüssiger Aggregatzustand des Kühlmittels KM eingestellt, in dem der Druck  $p_{KM}$  des Kühlmittels KM während der Kühlphase in einem Bereich oberhalb des Dampfdrucks  $p_D$  eingestellt wird. Das Wasser wird zeitlich gesteuert mit Drücken  $p_{KM}$  bis zu 25 MPa bei sehr hohen Volumenströmen in den Formraum 4 des geschlossenen Warmformwerkzeugs 1, 12 bzw. in die Luftspalte 10 gepresst. Durch das in den Formraum 4 bzw. den Werkzeugspalt 6 und in die Luftspalte 10 eingespritzte, unter hohem Druck stehende Wasser wird ein sehr guter Wärmeübergang und damit eine hohe Kühlwirkung sichergestellt. Das Verdampfen des Wassers und ein für die Wärmeabfuhr nachteiliger, isolierender Dampffilm wird vermieden. Der Wärmeübergang entspricht zumindest nahezu dem Wärmeübergang bei vollflächigem Werkzeugkontakt.

Ausführungsbeispiel 1:

**[0073]** Durch die zeitliche Steuerung von Einspritzanfang und Einspritzende sowie die Druckhöhe kann die Bauteilhärte gezielt gesteuert werden. Die Mindesthärte bildet hierbei die Härte, die bei einer bestimmten Zuhaltezeit ohne Einspritzkühlung in dem Formbauteil erreicht wird, bis hin zur maximalen Härte, die von den Werkstoffeigenschaften und dem Legierungskonzept des Bauteilwerkstoffes abhängt. Die Steuerung von Einspritzanfang und Einspritzende ist auch durch eine Onlinemessung der Formbauteiltemperatur im oder vergleichend am Werkzeug möglich. Hierzu wird die Bauteiltemperatur  $T_B$  des Formbauteils 5 im Formraum 4 gemessen. Weiterhin kann die Werkzeugtemperatur  $T_W$  im Bereich der Kontaktflächen 9 des Formraums 4 gemessen werden. Der Anfangszeitpunkt  $T_A$  (Einspritzanfang) und der Endzeitpunkt  $T_E$  (Einspritzende) der Kühlmittelzufuhr wird in Abhängigkeit von der Bauteiltemperatur  $T_B$  und/oder der Werkzeugtemperatur  $T_W$  gesteuert.

Ausführungsbeispiel 2:

**[0074]** Durch die möglichen extrem kurzen Zuhaltezeiten des Warmformwerkzeugs 1 bzw. 12 lassen sich partiell gehärtete Formbauteile 5 herstellen, in dem nur bestimmte Bereiche des Formbauteils 5 im Formraum 4 mit Kühlmittel KM beaufschlagt werden. Es erfolgt eine sektionale Kühlmittleinspritzung in ansteuerbare Bereiche des Formraums 4 und korrespondierend hierzu auf die Bereiche des Formbauteils 5, die nach der Entnahme hart sein sollen. In den Bereichen des Formbauteils 5, die nach dem Warmform- und Presshärtvorgang eine geringere Festigkeit haben sollen, kann die Abkühlung noch zusätzlich durch den Einsatz von Mitteln zur Beeinflussung der Wärmeübertragung verzögert werden, die in den Kontaktflächen 9 des Formraums 4 angeordnet sind. Bei solchen Mitteln kann es sich beispielsweise um Heizelemente, Freimachungen, Luftspalte, Einsätze aus Materialien mit geringerer oder höherer Wärmeleitfähigkeit oder Keramikeinsätze handeln.

**[0075]** Aus dem Warmformwerkzeug 1 bzw. 12 wird ein Formbauteil 5 entnommen, welches zumindest zwei Zonen bzw. Bereiche aufweist, die voneinander verschiedene Temperaturen haben. Dieses Formbauteil 5 wird zur weiteren Abkühlung in einer gesonderten Abkühlstation fixiert gehalten. Diese Maßnahme wirkt sich vorteilhaft auf die definierte Abkühlung der weichen, nicht oder weniger stark gehärteten Bereiche aus und verhindert ein Verziehen des Formbauteils 5.

Ausführungsbeispiel 3:

**[0076]** Durch eine Variation der Einspritzdauer in Verbindung mit einer Variation des Einspritzdruckes  $p_{KM}$  können frei unterschiedliche Wärmeübergangskoeffizienten über ein Formbauteil 5 verteilt eingestellt werden. Je nach Einspritzdruck ist es möglich, im Formraum 4

bzw. im Werkzeugspalt 6 zwischen Oberwerkzeug 2 und Unterwerkzeug 3 eine Wasserschicht mit einer guten Wärmeleitung und einen Nassdampf mit einer anderen, schlechteren Wärmeleitfähigkeit zu erzeugen. Die beiden Betriebspunkte des Kühlmitteldrucks sind in der Figur 4 gekennzeichnet. Punkt 1 liegt im Bereich einer stabilen Flüssigphase oberhalb der Kurve des Dampfdrucks  $p_D$ . Punkt 2 liegt im Nassdampfbereich unterhalb der Kurve des Dampfdrucks  $p_D$ . Hierdurch besteht eine weitere Möglichkeit, die Bauteileigenschaften gezielt einzustellen.

Ausführungsbeispiel 4:

**[0077]** Durch ein Betreiben der Hochdruckeinspritzkühlung im Nassdampfbereich können Warmformwerkzeuge günstig ohne eine konventionelle Kühlung aufgebaut werden. Es kann folglich ein Warmformwerkzeug 12 wie in Figur 2 sowie den Figuren 5 und 6 dargestellt zum Einsatz gelangen, bei dem auf ein indirektes Kühlsystem verzichtet ist.

**[0078]** Beim Betreiben im Nassdampfbereich wird die Wärmeenergie aus dem Formbauteil flächig dazu genutzt das Wasser aus der flüssigen Phase in die gasförmige Phase zu überführen. Um keinen geschlossenen Wasserfilm im Werkzeugspalt 6 zu erzeugen, wird der Einspritzdruck  $p_{KM}$  zeitgesteuert oder über eine Temperaturmessung am Formbauteil 5 angepasst. Alternativ wird vergleichend die Werkzeugtemperatur  $T_W$  am Warmformwerkzeug 1 bzw. im Bereich der Kontaktflächen 9 des Formraums 4 gemessen und ständig an den Dampfdruck  $p_D$  angepasst.

**[0079]** Bei den vorerläuterten Ausführungsbeispielen 1 bis 4 kann vorgesehen sein, das Überdruckventil 26 zusätzlich zu indirekten Verschleißanzeige des Warmformwerkzeugs 1 bzw. 12 zu nutzen. Dazu wird die Ablassmenge am Überdruckventil 26 messtechnisch durch die Mess- und Auswerteeinheit ME erfasst und ausgewertet. Damit kann im laufenden Betrieb über die Zeit eine Aussage über die Abnutzung des Formwerkzeugs 1, 12 getroffen werden, um rechtzeitig Werkzeugüberholungen bzw. -instandhaltungen einplanen und durchführen zu können.

**Bezugszeichen:****[0080]**

- 1 - Warmformwerkzeug
- 2 - Oberwerkzeug
- 3 - Unterwerkzeug
- 4 - Formraum
- 5 - Formbauteil

6 -	Werkzeugspalt
7 -	Versorgungsleitung
8 -	Einspritzleitung
9 -	Kontaktfläche
10 -	Luftspalt
11 -	Kühlkanal
12 -	Warmformwerkzeug
13 -	Druckerzeuger
14 -	Druckspeicher
15 -	Vorfüllpumpe
16 -	Kolben-Zylinder-Einheit
17 -	Kolben-Zylinder-Einheit
18 -	Zylinder
19 -	Kolben
20 -	Kolbenstange
21 -	Zylinderraum
22 -	Zuführleitung
23 -	Rückschlagventil
24 -	Hauptversorgungsleitung
25 -	Schließventil
26 -	Überdruckventil
27 -	Rückschlagventil
28 -	Stahlbehälter
29 -	Speicherblase
30 -	Überdruckventil
KM -	Kühlmittel
KS -	Kühlsystem
$p_{KM}$ -	Kühlmitteldruck
$p_D$ -	Dampfdruck

$T_B$ -	Bauteiltemperatur
$T_W$ -	Werkzeugtemperatur
5 $T_A$ -	Anfangszeitpunkt (Einspritzanfang)
$T_E$ -	Endzeitpunkt (Einspritzende)
P1 -	Pfeil
10 P2 -	Pfeil
P3 -	Pfeil
15 ME -	Mess- und Auswerteeinheit

### Patentansprüche

- 20 1. Verfahren zur Herstellung von gehärteten Formbauteilen, insbesondere von Struktur- oder Karosseriebauteilen von Kraftfahrzeugen, wobei eine Metallplatte erwärmt, anschließend im Formraum (4) eines Warmformwerkzeugs (1; 12) zum Formbauteil (5) warm umgeformt und durch Kontakt mit einem Kühlmittel (KM) im Formraum (4) des Warmformwerkzeugs (1; 12) gehärtet wird, wozu das Kühlmittel (KM) durch Zuflusskanäle (7, 8) in den Formraum (4) geleitet wird, und das Formbauteil (5) zumindest teilweise mit einem Kühlmittel (KM) gekühlt wird,
- 25 30
- 30 dessen Druck ( $p_{KM}$ ) oberhalb des Dampfdrucks ( $p_D$ ) des Kühlmittels (KM) liegt, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kühlmittel (KM) mit einem Druck von bis zu 25 MPa in den Formraum (4) eingebracht wird.
- 35
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kühlmittelverteilung im Formraum (4) variabel steuerbar ist, insbesondere das erste Bereiche des Formbauteil (5) mit Kühlmittel (KM) beaufschlagt werden und zweite Bereiche des Formbauteils (5) nicht mit Kühlmittel (KM) beaufschlagt werden oder ein erster Bereich und ein zweiter Bereich zeitlich versetzt mit Kühlmittel (KM) beaufschlagt werden.
- 40
- 45
3. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kühlmittel (KM) mit einem Druck ( $p_{KM}$ ) in den Formraum (4) eingebracht wird und der Druck ( $p_{KM}$ ) während der Kühlphase steuerungstechnisch an den Dampfdruck ( $p_D$ ) des Kühlmittels angepasst wird.
- 50
- 55
4. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druck ( $p_{KM}$ ) zeitgesteuert und/oder temperaturgesteuert, insbesondere in Abhängigkeit einer Temperaturmessung am Formbauteil (5) im Warmformwerkzeug (1; 12) und/oder einer Temperaturmessung am

Warmformwerkzeug (1; 12), eingestellt wird.

5. Warmformwerkzeug zum Umformen und Härten von Metallblechen mit einem Oberwerkzeug (2) und einem Unterwerkzeug (3), wobei zumindest eines der Werkzeuge (2, 3) Zuflusskanäle (7, 8) aufweist, über welche ein Kühlmittel (KM) in den zwischen Oberwerkzeug (2) und Unterwerkzeug (3) ausgebildeten Formraum (4) leitbar ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Aggregatzustand des Kühlmittels (KM) einstellbar ist. 5
6. Warmformwerkzeug zum Umformen und Härten von Metallblechen mit einem Oberwerkzeug (2) und einem Unterwerkzeug (3) sowie einem Kühlsystem (KS), wobei zumindest eines der Werkzeuge (2, 3) Zuflusskanäle (7, 8) aufweist, über welche ein Kühlmittel (KM) in den zwischen Oberwerkzeug (2) und Unterwerkzeug (3) ausgebildeten Formraum (4) leitbar ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kühlsystem (KS) mindestens einen Druckerzeuger (13) umfasst, insbesondere in Form einer Kolben-Zylinder-Einheit (16, 17), wobei der Druckerzeuger (13) zumindest mittelbar durch das Oberwerkzeug (2) und/oder das Unterwerkzeug (3) betätigbar ist. 10  
15  
20  
25
7. Warmformwerkzeug nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kühlmittel (KM) mit einem Druck ( $p_{KM}$ ) in den Formraum (4) einspritzbar ist und die Höhe des Drucks ( $p_{KM}$ ) und/oder die Einspritzdauer ( $T_E$ ) steuerbar sind. 30
8. Warmformwerkzeug nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Oberwerkzeug (2) und/oder im Unterwerkzeug (3) Versorgungsleitungen (7) für das Kühlmittel (KM) und von den Versorgungsleitungen (7) abzweigende und in dem Formraum (4) mündende Einspritzleitungen (8) vorgesehen sind. 35  
40
9. Warmformwerkzeug nach wenigstens einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** in den Kontaktflächen (9) des Formraums (4) Mittel zur Beeinflussung der Wärmeübertragung angeordnet sind. 45
10. Warmformwerkzeug nach wenigstens einem der Ansprüche 5 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Mess- und Auswerteeinheit (ME) vorgesehen ist zur Ermittlung des Verschleißzustandes des Oberwerkzeugs (2) und/oder des Unterwerkzeugs (3). 50
11. Warmformwerkzeug nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** in das Kühlsystem (KS) mindestens ein Druckspeicher (14) integriert ist. 55
12. Warmformwerkzeug nach wenigstens einem der An-

sprüche 6 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, der Druckerzeuger (13) und der Druckspeicher (14) unter Eingliederung eines Überdruckventils (26) miteinander verbunden sind.

13. Warmformwerkzeug nach wenigstens einem der Ansprüche 6 oder 11 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem Druckerzeuger (13) nachgeschaltet, insbesondere zwischen dem Druckerzeuger (13) und dem Druckspeicher (14), ein Überdruckventil (26) vorgesehen ist und das Überdruckventil (26) mit einer Mess- und Auswerteeinheit (ME) gekoppelt ist, wobei durch die Mess- und Auswerteeinheit (ME) der Verschleißzustand des Oberwerkzeugs (2) und/oder des Unterwerkzeugs (3) ermittelbar ist.

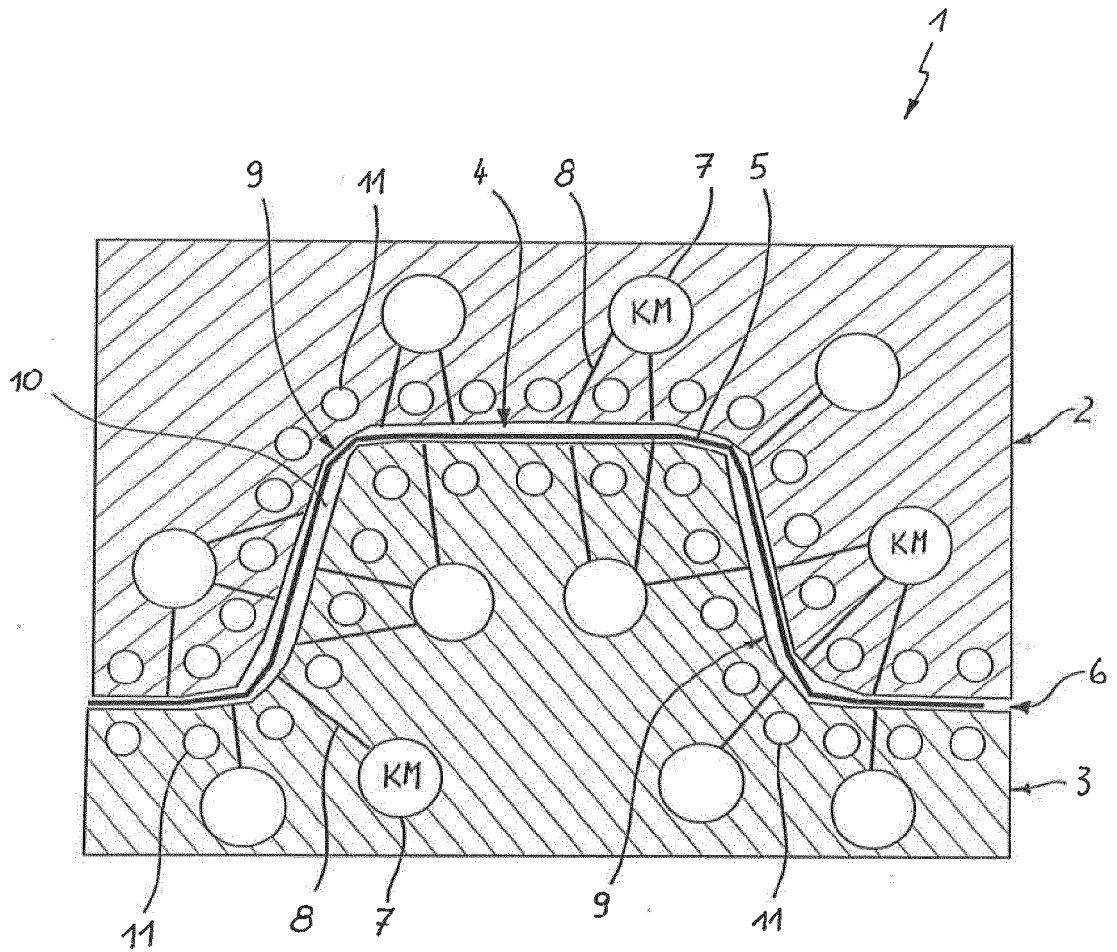


Fig. 1



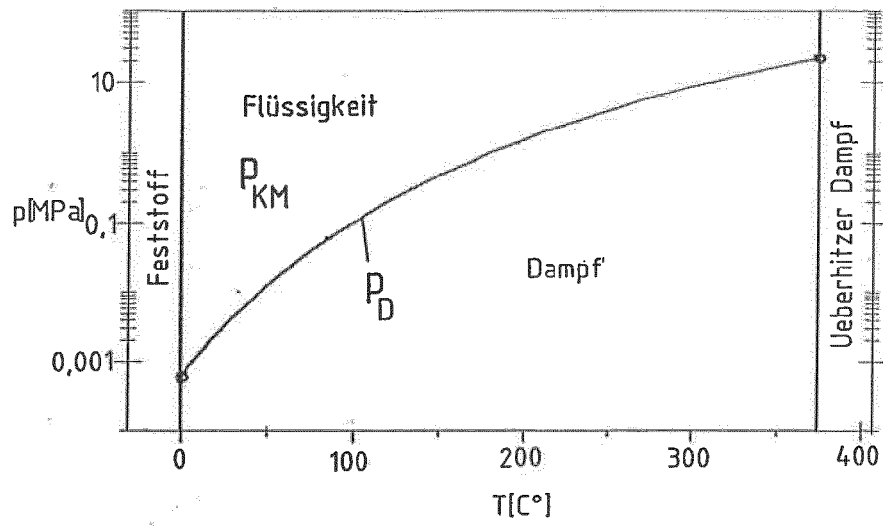


Fig. 3

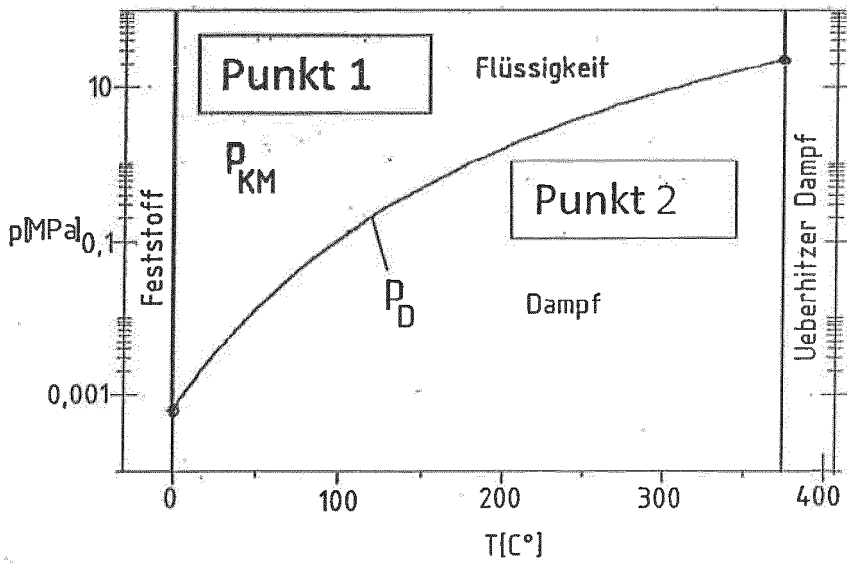


Fig. 4

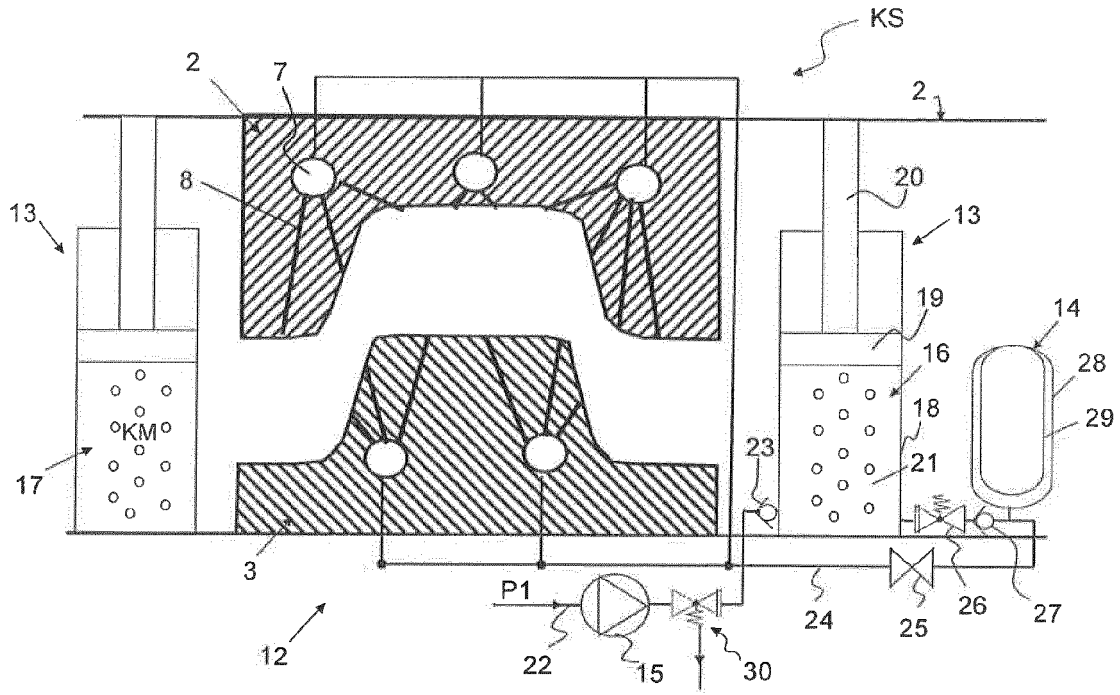


Fig. 5

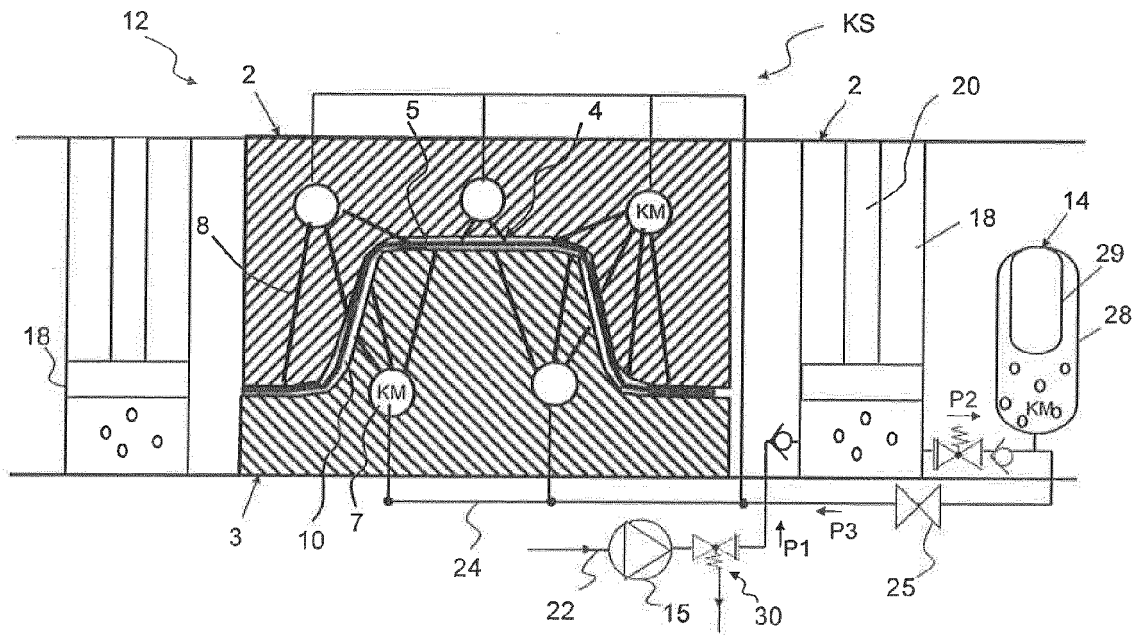


Fig. 6

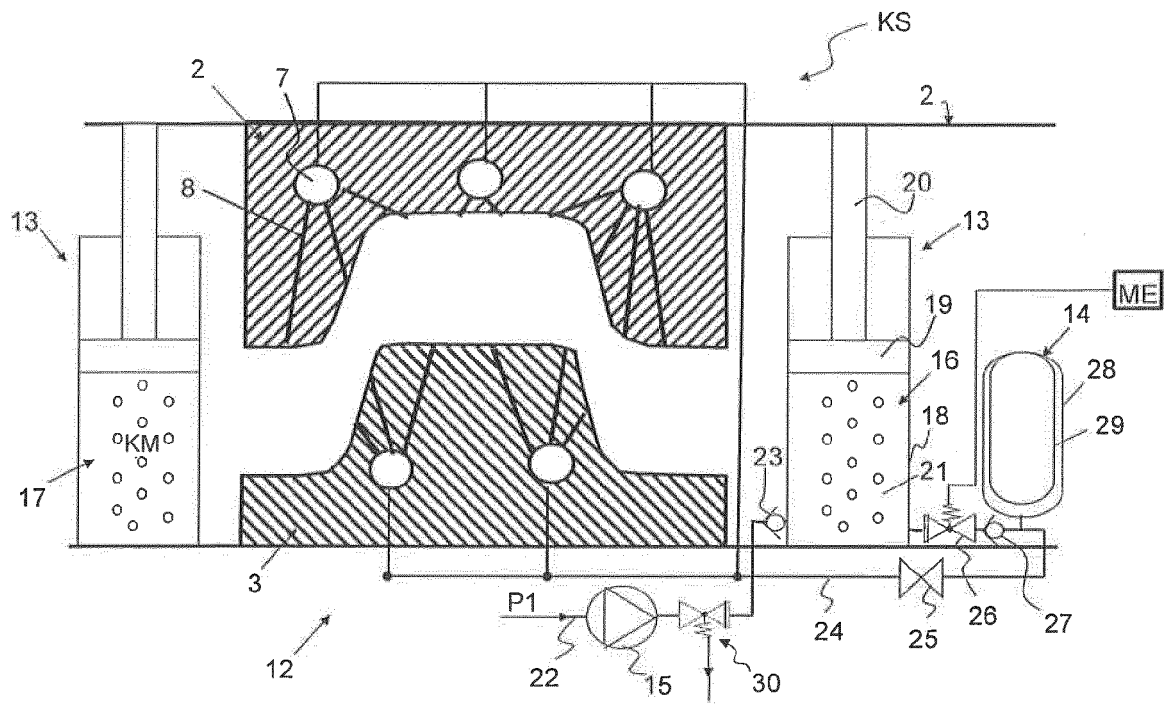


Fig. 7



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 12 15 1528

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	DE 26 03 618 A1 (KENEBUC GALT LTD) 23. Dezember 1976 (1976-12-23) * Seite 13 - Seite 14; Anspruch 1 * -----	1-13	INV. B21D22/02 C21D1/673 C22C38/02 C22C38/04 C21D1/02 B21D22/20 B21D37/16
A	US 6 443 214 B1 (MATSUO NOBUKI [JP] ET AL) 3. September 2002 (2002-09-03) * das ganze Dokument * -----	1-13	
A,P	EP 2 289 694 A2 (HYUNDAI STEEL CO [KR]) 2. März 2011 (2011-03-02) * das ganze Dokument * -----	1-13	
A	EP 1 195 208 A2 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]) 10. April 2002 (2002-04-10) * das ganze Dokument * -----	1-13	
A	DE 195 20 138 A1 (WSP INGENIEUR GMBH [DE]) 5. Dezember 1996 (1996-12-05) * das ganze Dokument * -----	1-13	
A	WO 2007/084089 A2 (TERZIAKIN MEHMET [TR]) 26. Juli 2007 (2007-07-26) * das ganze Dokument * -----	1-13	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B21D C21D C22C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlussdatum der Recherche <b>27. März 2012</b>	Prüfer <b>Huber, Gerrit</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

2  
EPO FORM 1503\_03\_02 (P/AC03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 12 15 1528

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

27-03-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 2603618	A1	23-12-1976	DE 2603618 A1	23-12-1976
			JP 52010811 A	27-01-1977
-----				
US 6443214	B1	03-09-2002	CA 2291890 A1	08-06-2001
			GB 2357055 A	13-06-2001
			US 6443214 B1	03-09-2002
-----				
EP 2289694	A2	02-03-2011	EP 2289694 A2	02-03-2011
			JP 2011523375 A	11-08-2011
			KR 20100011958 A	03-02-2010
			US 2011068519 A1	24-03-2011
			WO 2010011103 A2	28-01-2010
-----				
EP 1195208	A2	10-04-2002	DE 10049660 A1	25-04-2002
			EP 1195208 A2	10-04-2002
			JP 3553536 B2	11-08-2004
			JP 2002178069 A	25-06-2002
			US 2002069506 A1	13-06-2002
-----				
DE 19520138	A1	05-12-1996	KEINE	
-----				
WO 2007084089	A2	26-07-2007	EP 1973679 A2	01-10-2008
			TR 200805253 T2	22-09-2008
			US 2008295563 A1	04-12-2008
			WO 2007084089 A2	26-07-2007
-----				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 2452486 A1 [0002]
- DE 102005028010 B3 [0005]
- DE 2603618 A1 [0006]