



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 022 401 A1** 2009.11.19

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 022 401.4**

(22) Anmeldetag: **06.05.2008**

(43) Offenlegungstag: **19.11.2009**

(51) Int Cl.⁸: **C22C 38/04 (2006.01)**
C21D 1/18 (2006.01)

(71) Anmelder:
ThyssenKrupp Steel AG, 47166 Duisburg, DE

(74) Vertreter:
COHAUSZ & FLORACK, 40211 Düsseldorf

(72) Erfinder:
Bian, Jian, Dr., 47057 Duisburg, DE; Kohl, Gerhard, 44149 Dortmund, DE

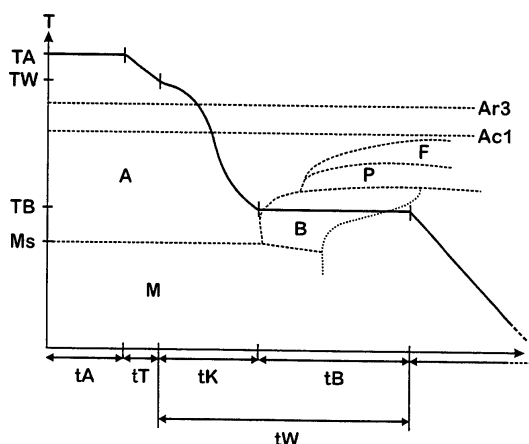
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
WO 2007/1 22 230 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen eines Stahlformteils mit einem überwiegend bainitischen Gefüge**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren, das es ermöglicht, auf prozesstechnisch einfache Weise Stahlformteile herzustellen, die bei hoher Festigkeit ein gutes Verformungsverhalten zeigen. Zu diesem Zweck sieht die Erfindung vor, ein Stahlformteil mit einem überwiegend bainitischen Gefüge aus einem Vormaterial, das in Form einer Stahlplatte oder einem vorgeformten Stahlteil vorliegt, zu erzeugen, das aus einem Stahl hergestellt ist der (in Gew.-%) C: 0,24-0,6%, Si: max. 0,5%, Mn: 0,5-2,0%, Cr: max. 1,0%, P: max. 0,02%, S: max. 0,01%, Al: 0,01-0,06%, sowie optional eines oder mehrere Elemente aus der Gruppe "Ti, B, Mo, Ni, Cu, N" nach folgender Maßgabe: Ti: max. 0,1%, B: 0,0008-0,005%, Mo: max. 0,5%, Ni: max. 1,0%, Cu: max. 0,1%, N: max. 0,01% und als Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen enthält. Im Zuge des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Vormaterial bei einer oberhalb der Ac3-Temperatur des Stahls liegenden Austenitisierungstemperatur (TA) durcherwärmt, in einem Pressformwerkzeug zu dem Stahlformteil geformt, auf eine Bainitbildungstemperatur (TB) gebracht, über eine Bainitisierungszeit (tB) im Wesentlichen isotherm auf der Bainitbildungstemperatur (TB) gehalten und nach dem Ende der Bainitisierungszeit (tB) auf Raumtemperatur gebracht.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Stahlformteils mit einem überwiegend bainitischen Gefüge.

[0002] Um die sich im modernen Karosseriebau bestehende Forderung nach geringem Gewicht bei gleichzeitig maximaler Festigkeit und Schutzwirkung zu erfüllen, werden heutzutage in solchen Bereichen der Karosserie, die im Fall eines Crashes besonders hohen Belastungen ausgesetzt sein können, warmpressgeformte Bauteile eingesetzt, die aus hochfesten Stählen erzeugt sind. Als Beispiele für solche Stahlformteile sind die A- und B-Säule, die Stoßfänger und Türaufprallträger eines Personenkraftfahrzeugs zu nennen.

[0003] Beim Warmpresshärten von Stahlplatten, die von kalt- oder warmgewalztem Stahlband abgeteilt sind, werden die betreffenden Blechzuschnitte auf eine in der Regel oberhalb der Austenitisierungstemperatur des jeweiligen Stahls liegende Verformungstemperatur erwärmt und im erwärmten Zustand in das Werkzeug einer Umformpresse gelegt. Im Zuge der anschließend durchgeführten Umformung erfährt der Blechzuschnitt bzw. das aus ihm geformte Bauteil durch den Kontakt mit dem kühlen Werkzeug eine schnelle Abkühlung, durch die sich im Bauteil Härtegefüge ergibt. Dabei kann es ausreichend sein, wenn das Bauteil ohne aktive Kühlung alleine durch den Kontakt mit dem Werkzeug abkühlt. Unterstützt werden kann eine schnelle Abkühlung jedoch auch dadurch, dass das Werkzeug selbst aktiv gekühlt wird.

[0004] Wie im Artikel "Potenziale für den Karosserieleichtbau", erschienen in der Messezeitung der ThyssenKrupp Automotiv AG zur 61. Internationalen Automobilausstellung in Frankfurt, 15.–25. Sept. 2005, berichtet, wird das Warmpresshärten in der Praxis insbesondere für die Herstellung von hochfesten Karosseriebauteilen aus borlegierten Stählen angewendet. Ein typisches Beispiel für einen solchen Stahl ist der unter der Bezeichnung 22MnB5 bekannte Stahl, der im Stahlschlüssel 2004 unter der Werkstoffnummer 1.5528 zu finden ist.

[0005] Ein mit dem Stahl 22MnB5 vergleichbarer Stahl ist aus der JP 2006104526 A bekannt. Dieser bekannte Stahl enthält neben Fe und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) 0,05–0,55% C, max. 2% Si, 0,1–3% Mn, max. 0,1% P und max. 0,03% S. Zur Härtesteigerung können dem Stahl zusätzlich Gehalte von 0,0002–0,005% B und 0,001–0,1% Ti zugegeben werden. Der jeweilige Ti-Gehalt dient dabei zum Abbinden des in dem Stahl vorhandenen Stickstoffs. Auf diese Weise kann das im Stahl vorhandene Bor seine festigkeitssteigernde Wirkung möglichst vollständig entfalten.

[0006] Gemäß der JP 2006104526 A werden aus dem derart zusammengesetzten Stahl zunächst Bleche gefertigt, die dann auf eine oberhalb der A_{c_3} -Temperatur, typischerweise im Bereich von 850–950°C, liegende Temperatur vorgewärmt werden. Bei der anschließend im Presswerkzeug erfolgenden, von diesem Temperaturbereich ausgehenden schnellen Abkühlung bildet sich im aus dem jeweiligen Blechzuschnitt pressgeformten Bauteil das die angestrebten hohen Festigkeiten gewährleistende martensitische Gefüge. Günstig wirkt sich dabei aus, dass sich die auf das genannte Temperaturniveau erwärmten Blechteile bei relativ geringen Umformkräften zu komplex geformten Bauteilen umformen lassen. Dies gilt insbesondere auch für solche Blechteile, die aus hochfestem Stahl gefertigt und mit einer Korrosionsschutzbeschichtung versehen sind.

[0007] Die auf die voranstehend erläuterte Weise aus borlegierten Stählen erzeugten Bauteile erreichen Festigkeiten von über 1.500 MPa. Allerdings hat das dazu benötigte vollständig martensitische Gefüge der Bauteile zur Folge, dass die Bauteile eine für viele Anwendungen unzureichende Restbruchdehnung A80 von 5–6% besitzen. Die relativ geringe Restbruchdehnung geht mit einer geringen Zähigkeit einher. Diese führt bei Anwendungen, bei denen es auf ein gutes Verformungsverhalten im Falle eines Crashes ankommt, dazu, dass aus borlegierten Stählen in der bekannten Weise hergestellte Bauteile, diese Anforderungen häufig nicht mehr erfüllen. Dies gilt insbesondere dann, wenn es sich bei den herzustellenden Bauteilen um Teile für eine Automobilkarosserie handelt.

[0008] In der DE 10 2005 054 847 B3 ist vorgeschlagen worden, durch eine nachgeschaltete Wärmebehandlung das Crashverhalten von durch Warmpresshärten erzeugten Stahlbauteilen zu verbessern, die neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) 0,18–0,3% C, 0,1–0,7% Si, 1,0–2,50% Mn, max. 0,025% P, 0,1–0,8% Cr, 0,1–0,5% Mo, max. 0,01% S, 0,02–0,05% Ti, 0,002–0,005% B und 0,01–0,06% Al enthalten. Im Zuge der Wärmebehandlung werden die warmpressgehärteten Bauteile bei 320–400°C gehalten. Abgesehen davon, dass ein solcher Wärmebehandlungsschritt nur mit großem Aufwand in die für die Herstellung von warmpressgehärteten Stahlbauteilen etablierte Prozesskette eingegliedert werden kann, haben praktische Untersuchungen gezeigt, dass die Bruchdehnung von auf diese Weise wärmebehandelten Bauteilen sich deutlich verschlechtert.

[0009] Eine andere Möglichkeit der Herstellung eines gehärteten metallischen Bauteils ist aus der DE 102 08 216 C1 bekannt. Bei diesem bekannten Verfahren wird eine Platine oder ein vorgeformtes Formbauteil, die jeweils aus einem Stahl der voranstehend angegebenen Art bestehen, in einer Erwärmungseinrichtung auf eine Austenitisierungstemperatur erwärmt und anschließend über einen Transportweg einem Härteprozess zugeführt. Während des Transports werden Teilbereiche erster Art der Platine oder des Formbauteils, die im Endbauteil höhere Duktilitätseigenschaften aufweisen sollen, von einer vorbestimmten Abkühl-Starttemperatur abgeschreckt, die oberhalb der γ - α -Umwandlungstemperatur liegt. Dieses Abschrecken wird beendet, wenn eine vorgegebene Abkühl-Stopptemperatur erreicht ist, und zwar bevor eine Umwandlung in Ferrit und/oder Perlit stattgefunden hat oder nachdem erst eine geringe Umwandlung in Ferrit und/oder Perlit stattgefunden hat. Anschließend wird die Platine oder das jeweilige Formteil isotherm zur Umwandlung des Austenits in Ferrit und/oder Perlit gehalten. Währenddessen wird in den Bereichen zweiter Art, die im Endbauteil im Verhältnis geringere Duktilitätseigenschaften aufweisen sollen, die Härtetemperatur gerade so hoch gehalten, dass eine ausreichende Martensitbildung in den Bereichen zweiter Art während eines Härteprozesses stattfinden kann. Abschließend wird dann die Abkühlung durchgeführt. Dazu wird das erhaltene Formteil in einem separaten Arbeitsgang in ein Abschreckbecken oder desgleichen getaucht, um das gewünschte martensitische Härtegefüge auszubilden. Auch diese Verfahrensweise bedingt eine Prozessführung, die nur mit großem Aufwand in einem modernen Produktionsbetrieb eingegliedert werden kann. Darüber hinaus besteht auch bei den nach diesem bekannten Verfahren hergestellten Bauteilen das Problem, dass sie zwar eine hohe Festigkeit besitzen, gleichzeitig aber so spröde sind, dass sie den in der Praxis sich stellenden Anforderungen an ihre Verformbarkeit nicht gerecht werden.

[0010] Vor dem Hintergrund des voranstehend erläuterten Standes der Technik bestand die Aufgabe der Erfindung darin, ein Verfahren anzugeben, mit dem es möglich ist, auf prozesstechnisch einfache Weise Stahlformteile herzustellen, die bei hoher Festigkeit ein gutes Verformungsverhalten im Falle eines Crashes zeigen.

[0011] Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß durch das in Anspruch 1 angegebene Verfahren gelöst worden. Vorteilhafte Ausgestaltungen dieses Verfahrens sind in den auf Anspruch 1 rückbezogenen Ansprüchen angegeben.

[0012] Gemäß der Erfindung wird ein Stahlformteil mit einem überwiegend bainitischen Gefüge hergestellt.

[0013] Dazu wird ein Vormaterial in Form einer Stahlplatine oder eines vorgeformtes Stahlteils bereitgestellt. Wird eine bis dahin noch unverformte Stahlplatine als Vormaterial verarbeitet, wird der Gesamtprozess als "einstufiges" Verfahren bezeichnet. Wird dagegen ein vorgeformtes Stahlteil verarbeitet, spricht man von einem zweistufigen Prozess, wobei in der ersten Stufe eine bis dahin noch unverformte Platine so verformt wird, dass das dabei erhaltene Stahlbauteil seine Endform noch nicht erreicht hat.

[0014] Das jeweilige Vormaterial besteht erfindungsgemäß aus einem Stahl an sich bekannter Zusammensetzung, der neben Eisen und unvermeidbaren herstellungsbedingten Verunreinigungen (in Gew.-%) 0,24–0,6% C, bis zu 0,5% Si, 0,5–2,0% Mn, bis zu 1,0% Cr, bis zu 0,02% P, bis zu 0,01% S, 0,01–0,06% Al, sowie optional eines oder mehrere Elemente aus der Gruppe "Ti, B, Mo, Ni, Cu, N" enthält, wobei – sofern jeweils vorhanden – Ti in einem Gehalt von bis zu 0,1%, B in Gehalten von 0,0008–0,005%, Mo in Gehalten von bis zu 0,5%, Ni in Gehalten von bis zu 1,0%, Cu in Gehalten von bis zu 0,1% und N in Gehalten von jeweils bis zu 0,01% enthalten sind. Besondere Bedeutung im Hinblick auf die Festigkeit erfindungsgemäß erzeugte Bauteile kommt dabei dem jeweiligen C-Gehalt zu, wogegen die Gehalte an Si, Mn, Cr und B so eingestellt sind, dass die Bildung des Bainits gefördert und die Entstehung größerer Martensitmengen im Gefüge des Bauteils vermieden werden.

[0015] Das derart zusammengesetzte Vormaterial (Stahlplatine bzw. vorgeformtes Stahlteil) wird bei einer oberhalb der A_{c3} -Temperatur des jeweiligen Stahls liegenden Austenitisierungstemperatur durcherwärmt, um in dem Vormaterial ein austenitisches Gefüge zu erzeugen.

[0016] Anschließend wird das Vormaterial in ein Pressformwerkzeug eingelegt und darin zu dem Stahlformteil geformt.

[0017] Wesentlich für die Erfindung ist nun, dass das Stahlformteil auf eine Bainitbildungstemperatur gebracht wird, die oberhalb der Martensitstarttemperatur, jedoch unterhalb der Perlitumwandlungstemperatur des Stahls liegt, aus dem die Stahlplatine oder das vorgeformte Stahlteil jeweils hergestellt sind.

[0018] Sobald diese Bainitbildungstemperatur erreicht ist, wird das Stahlformteil erfindungsgemäß über eine

Bainitisierungszeit im Wesentlichen isotherm auf der Bainitbildungstemperatur gehalten. Die Bainitisierungszeit wird dabei so eingestellt, dass an ihrem Ende in dem Stahlformteil ein zum überwiegenden Teil bainitisches Gefüge entstanden ist.

[0019] Nach dem Ende der Bainitisierungszeit wird das Stahlformteil auf Raumtemperatur abgekühlt.

[0020] Das erfindungsgemäße Verfahren liefert somit ein Stahlbauteil, dessen Gefüge durch eine bainitische Mikrostruktur gekennzeichnet ist. Diese bainitische Mikrostruktur verleiht einem erfindungsgemäß erzeugten Bauteil verbesserte Verformungseigenschaften und damit einhergehend in entsprechender Weise verbessertes Crashverhalten, da Bainit als eine Art von angelassenem Martensit angesehen werden kann.

[0021] Darüber hinaus erlaubt es das erfindungsgemäße Verfahren, das Stahlbauteil langsamer abzukühlen als bei den konventionellen Verfahren, bei denen die Abkühlung im Werkzeug mit dem Ziel erfolgt, martensitisches Härtegefüge zu erzeugen. Daher ist bei einem erfindungsgemäßen Verfahren die Gefahr der Entstehung von Bauteilverzug minimiert und die erfindungsgemäß erzeugten Bauteile zeichnen sich durch eine besonders hohe Maßhaltigkeit aus. Um eine langsame Abkühlung des Stahlbauteils sicherzustellen kann zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens das Presswerkzeug auch gezielt erwärmt werden.

[0022] Die Abkühlgeschwindigkeiten, mit denen das auf Austenitierungstemperatur durcherwärmte Vormaterial im Presswerkzeug auf die Bainitisierungstemperatur gebracht werden, sollten so hoch sein, dass die Bainitumwandlungstemperatur erreicht wird, ohne dass zu einer Zwischenumwandlung in Ferrit oder Perlit kommt.

[0023] Um die mit der Erfindung erzielten vorteilhaften Eigenschaften besonders sicher nutzen zu können, sollte der Bainitanteil im Gefüge des Stahlformteils am Ende der Bainitisierungszeit mindestens 80% betragen. Dementsprechend sollten die Anteile an Ferrit, Martensit oder Restaustenit im Gefüge des erhaltenen Bauteils 20% nicht überschreiten.

[0024] Gemäß einer besonders praxisgerechten, besonders sicher zu dem angestrebten Ergebnis führenden Ausgestaltung der Erfindung weist der erfindungsgemäß verarbeitete Stahl neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) 0,25–0,6% C, 0,1–0,5% Si, 0,5–2,0% Mn, bis zu 1,0% Cr, bis zu 0,02% P, bis zu 0,01% S, 0,01–0,06% Al, sowie optional eines oder mehrere Elemente aus der Gruppe "Ti, B, Mo, Ni, Cu" auf, wobei – sofern vorhanden – Ti in einem Gehalt von 0,02–0,1%, B in einem Gehalt von 0,002–0,005%, Mo in einem Gehalt von bis zu 0,5%, Ni in einem Gehalt von bis zu 1,0% und Cu in Gehalten von bis zu 0,1% vorhanden ist. Bei dieser Zusammensetzung wird eine besonders hohe Festigkeit des erfindungsgemäß ein überwiegend bainitisches Gefüge aufweisenden Bauteils erreicht. Im Fall, dass der C-Gehalt unterhalb von 0,4 Gew.-% liegt, sollte der Stahl, aus dem die erfindungsgemäß erzeugten Stahlbauteile bestehen, als Pflichtbestandteil 0,02–0,1 Gew.-% Ti und 0,002–0,005 Gew.-% B aufweisen. Die in diesen Grenzen liegenden Anteile an Ti und B fördern die erfindungsgemäß angestrebte Bildung von Bainit im erfindungsgemäß herzustellenden Bauteil.

[0025] Noch höherfeste Stahlbauteile mit gleichzeitig optimaler Dehnbarkeit und dementsprechend guten Energieaufnahme- und Verformungseigenschaften im Fall eines Crashes lassen sich erzielen, wenn ein Stahl verarbeitet wird, der 0,24–0,5% C, max. 0,4% Si, 0,5–2,0% Mn, max. 0,6% Cr, max. 0,02% P, max. 0,01% S, 0,01–0,06% Al, max. 0,05% Ti, 0,0008–0,005% B, max. 0,1% Cu und als Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen enthält.

[0026] Um vor der Pressformgebung das im Wesentlichen vollständig austenitische Gefüge herzustellen, wird das in erfindungsgemäßer Weise zusammengesetzte Vormaterial typischerweise auf eine Austenitierungstemperatur durcherwärmt, die im Bereich von 850–950°C liegt.

[0027] Insbesondere bei der Herstellung von Stahlformteilen, die zum Bau von Karosserien für Fahrzeuge, insbesondere Automobile, bestimmt sind, ist es günstig, wenn das Vormaterial mit einem vor Korrosion schützenden metallischen Überzug versehen ist. Dieser Überzug schützt das jeweilige Vormaterial (Stahlplatte, vorgeformtes Stahlteil) auch beim Transport von dem Ofen, in dem es auf die Austenitierungstemperatur vorerwärmt wird, zum Pressformwerkzeug. Die Korrosionsschutzbeschichtung kann dabei so ausgelegt werden, dass sie eine Oxidation des heißen Stahlsubstrats mit dem Umgebungssauerstoff auch bei einem Transport an Luft schützt.

[0028] Eine besonders praxisgerechte Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Pressformgebung und die Bainitisierung des im Zuge der Pressformgebung erzeugten

Stahlbauteils im Pressformwerkzeug erfolgt. Dementsprechend sieht eine besonders vorteilhafte Variante der Erfindung vor, dass nach dem Pressformen des Vormaterials das dann erhaltene Stahlformteil in dem Pressformwerkzeug verbleibt und dort auf die Bainitbildungstemperatur gebracht und für die Bainitisierungszeit gehalten wird. Dabei ist das Pressformwerkzeug bevorzugt so temperiert, dass das Vormaterial ausgehend von einer über der Bainitisierungstemperatur liegenden Temperatur bereits während ihrer Pressverformung zu dem Stahlbauteil auf die Bainitisierungstemperatur abgekühlt werden.

[0029] Alternativ zu einer Bainitisierung im Pressformwerkzeug ist es auch denkbar, nach dem Pressformen das aus dem Vormaterial pressgeformte Stahlformteil aus der Pressform zu entnehmen und in einem separaten Arbeitsgang auf die Bainitbildungstemperatur zu bringen und auf dieser über die Bainitisierungszeit zu halten. Eine solche Vorgehensweise kann angezeigt sein, wenn eine entsprechende Anlagentechnik zur Verfügung steht. So lässt sich eine solche Vorgehensweise beispielsweise dann anwenden, wenn zum Erwärmen auf und Halten bei der Bainitisierungstemperatur ein Salz- oder ein Bleibad zur Verfügung stehen, in die das Stahlbauteil nach der Pressformgebung verbracht werden kann.

[0030] Der typische Bereich der Bainitisierungstemperatur, bei der die erfindungsgemäße Bainitisierung bevorzugt durchgeführt wird, liegt bei 300–500°C.

[0031] Praktische Versuche haben ergeben, dass die Bainitisierungszeit bevorzugt im Bereich von 5–60 Sekunden liegen sollte, um den gewünschten Bainitanteil im fertigen Stahlbauteil sicher zu erhalten. Besonders betriebssicher lässt sich dies erreichen, wenn die Bainitisierungszeit 20–60 Sekunden beträgt.

[0032] Im Fall, dass die Abkühlung auf die Bainitisierungstemperatur und die Bainitisierung in einem Werkzeug absolviert werden, ist die Bainitisierungszeit jeweils um die Zeitdauer kürzer als die Werkzeugschließzeit, die benötigt wird, um das jeweilige Vormaterial auf die Bainitisierungstemperatur zu bringen.

[0033] Der mit der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens verbundene verfahrenstechnische Aufwand kann auch dadurch auf ein Minimum reduziert werden, dass nach dem Ende der Bainitisierungszeit die Abkühlung des erhaltenen Stahlformteils auf einfache Weise an Luft durchgeführt wird.

[0034] Für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eignen sich Stahlplatinen, die von einem warmgewalzten oder kaltgewalzten Flachprodukt, wie Band oder Blech, abgeteilt worden sind. Ebenso ist es möglich, das erfindungsgemäße Verfahren auf ein Stahlteil anzuwenden, das in einem vorangegangenen Arbeitsschritt vorgeformt worden ist. Letzteres bietet sich beispielsweise dann an, wenn die Formgebung des herzustellenden Stahlbauteils so komplex ist, dass für ihre Herstellung mehrere Formgebungsschritte erforderlich sind.

[0035] Aufgrund ihres Eigenschaftsprofils eignen sich erfindungsgemäß erzeugte Stahlbauteile besonders für eine Verwendung als crashrelevante Teile einer Automobilkarosserie. Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich dabei insbesondere für die Herstellung von Längs- und Bodenquerträgern, die in der Praxis ein besonders gutes Energieaufnahmevermögen aufweisen sollen.

[0036] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

[0037] In [Fig. 1](#) ist ein typischer bei der Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens eingehaltener Verlauf der Temperatur T über die Zeit t aufgezeichnet. Demnach wird als Vormaterial eine jeweils zu einem Stahlbauteil zu verformende, beispielsweise mit einer vor Korrosion schützenden auf Al oder Zn basierenden metallischen Beschichtung, insbesondere einer AlSi-Beschichtung, versehene Stahlplatine zunächst auf eine Austenitisierungstemperatur T_A erwärmt, die deutlich oberhalb der A_{c_3} -Temperatur des Stahls liegt, aus dem die Stahlplatine jeweils hergestellt ist. Bei der Austenitisierungstemperatur T_A wird die Stahlplatine für eine Zeit t_A gehalten, bis die Stahlplatine vollständig durcherwärmt ist. Der Bereich, in dem der Stahl ein austenitisches Gefüge aufweist, ist in [Fig. 1](#) mit A gekennzeichnet.

[0038] Nach Ende der Austenitisierungszeit t_A wird die Stahlplatine zu einem Pressformwerkzeug transportiert. Die bis zum Schließen des Pressformwerkzeugs benötigte Transferzeit ist in [Fig. 1](#) mit t_T bezeichnet. Die Temperatur T_W , mit der die Stahlplatine in das Pressformwerkzeug gelangt, liegt immer noch über der A_{c_3} -Temperatur.

[0039] Das Pressformwerkzeug ist mit einer Temperiereinrichtung ausgestattet, die es auf einer konstanten Temperatur hält, die der Bainitisierungstemperatur T_B entspricht. Das aus der Stahlplatine geformte, mit dem

Pressformwerkzeug unmittelbar in Kontakt kommende Stahlformteil wird dementsprechend über eine Abkühlzeit t_K auf die Bainitisierungstemperatur T_B gekühlt. Die Bainitisierungstemperatur T_B liegt dabei oberhalb der Martensitstarttemperatur M_s , jedoch unterhalb der Perlitumwandlungstemperatur. Das Gebiet, in dem es zur Bildung von Perlit kommt, ist in [Fig. 1](#) mit P gekennzeichnet. Zusätzlich ist in [Fig. 1](#) mit F das Gebiet, in dem sich Ferrit bildet, und mit M das Gebiet gekennzeichnet, in dem Martensit entsteht.

[0040] Sobald die Bainitisierungstemperatur T_B erreicht ist, wird das nach wie vor in dem Pressformwerkzeug sitzende Stahlbauteil über eine Bainitisierungszeit t_B isotherm auf der Bainitisierungstemperatur T_B gehalten. Die Bainitisierungszeit t_B ist dabei so bemessen, dass an ihrem Ende das Gefüge des Stahlbauteils im Wesentlichen vollständig bainitisch ist.

[0041] Die Abkühlung der Stahlplatte im temperierten Presswerkzeug erfolgt dabei innerhalb der Abkühlzeit t_K so schnell, dass der Stahl nur das Austenitgebiet A durchläuft und eine Umwandlung im Ferritbereich F und Perlitbereich P weitestgehend verhindert wird, wobei die Ferrit- und Perlitbildung möglichst vollständig vermieden wird.

[0042] Nach Erreichen des Endes der Bainitisierungszeit t_B wird das Werkzeug geöffnet und das Stahlbauteil an ruhender Luft auf Raumtemperatur abgekühlt. Die die Abkühlzeit t_K und die Bainitisierungszeit t_B umfassende Werkzeugschließzeit t_W beträgt abhängig von der Komplexität der Formgebung des herzustellenden Stahlbauteils und der Blechdicke der jeweils verarbeiteten Stahlplatte 5–60 Sekunden.

[0043] Entsprechend dem voranstehend in allgemeiner Form beschriebenen Vorgehen ist in einem ersten Versuch als Vormaterial eine aus einem Warmband von 3–4 mm Dicke kaltgewalzte, 1,5–2 mm dicke Stahlplatte, die aus einem Stahl mit der in Tabelle 1 in Gew.-% angegebenen Zusammensetzung bestand, auf eine Austenitisierungstemperatur T_A von 900°C erwärmt worden und auf dieser Temperatur T_A für eine Austenitisierungszeit t_A von 6 min gehalten worden.

C	Si	Mn	P	S
0,294	0,24	1,13	0,017	0,002

Al	N	Cr	Ti	B
0,035	0,0038	0,43	0,033	0,0010

Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen

Tabelle 1

[0044] Anschließend ist die Stahlplatte in einer 6 bis 12 s betragenden Transferzeit t_T an Luft in ein Pressformwerkzeug transportiert worden, das auf eine Bainitisierungstemperatur T_B von 400°C aufgeheizt und bei dieser Temperatur T_B konstant gehalten worden ist. In dem Presswerkzeug ist die Stahlplatte dann über eine Werkzeugschließzeit t_W von 60 s pressverformt worden. Die Gesamtpresszeit umfasste die Abkühlzeit t_K , in der die Stahlplatte von der Werkzeugeintrittstemperatur T_W auf die Bainitisierungstemperatur T_B abgekühlt worden ist, und die Bainitisierungszeit t_B , in der sich das Bainitgefüge in dem im Pressformwerkzeug warm-pressgeformten Stahlbauteil gebildet hat. Anschließend ist das Presswerkzeug geöffnet worden und das Stahlbauteil an ruhender Luft auf Raumtemperatur abgekühlt worden. Das so erhaltene Stahlbauteil erreichte eine Streckgrenze von 800 MPa, eine Zugfestigkeit von 1000 MPa und eine Bruchdehnung von 10%.

[0045] In einem zweiten Versuch ist eine Stahlplatte aus einem Stahl mit der in Tabelle 2 in Gew.-% angegebenen Zusammensetzung in einer Austenitisierungszeit t_A von 6 min bei einer Austenitisierungstemperatur T_A von 900°C austenitisiert worden.

C	Si	Mn	P	S	Al
0,575	0,26	0,68	0,010	0,003	0,009

N	Cr	Cu	Mo	Ni
0,0079	0,035	0,029	0,002	0,043

Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen

Tabelle 2

[0046] Anschließend ist die Stahlplatte in das Pressformwerkzeug eingesetzt worden. In diesem Fall betrug die der Baintisierungstemperatur TB entsprechende Temperatur des Pressformwerkzeugs jedoch nur 350°C. Das Pressverformen zu dem Stahlbauteil einschließlich des damit einhergehenden Abkühlens und Baintisierens wurde in einer Werkzeugschließzeit tW von 60 s absolviert. Nach einer Abkühlung an Luft wies das so erzeugte Stahlbauteil ebenfalls eine Streckgrenze von 800 MPa, eine Zugfestigkeit von 1050 MPa und eine Bruchdehnung von 10% auf.

[0047] In zwei weiteren Versuchen ist eine Stahlplatte aus einem Stahl mit der in Tabelle 3 in Gew.-% angegebenen Zusammensetzung jeweils in einer Austenitierungszeit tA von 6 min bei einer Austenitierungstemperatur TA von 900°C austenitisiert worden.

C	Si	Mn	P	S	Al	N
0,358	0,21	1,21	0,009	0,001	0,029	0,0109

Cr	Cu	Mo	Ni	Ti	B
0,12	0,018	0,002	0,027	0,035	0,0021

Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen

Tabelle 3

[0048] Anschließend ist die jeweilige Stahlplatte in das Pressformwerkzeug eingesetzt worden. Dabei betrug bei der ersten der aus dem in Tabelle 3 angegebenen Stahl erzeugten Platte die der Baintisierungstemperatur TB entsprechende Temperatur des Pressformwerkzeugs 350°C.

[0049] Das Pressverformen zu dem Stahlbauteil einschließlich des damit einhergehenden Abkühlens und Baintisierens wurde in einer Werkzeugschließzeit von 20 s absolviert. Bei der zweiten aus dem in Tabelle 3 angegebenen Stahl gefertigten Stahlplatte betrug die der Baintisierungstemperatur TB entsprechende Werkzeugtemperatur dagegen 400°C. Auch bei dieser Platte erfolgte die Umformung, Abkühlung und Baintisierung in einer Werkzeugschließzeit tW von 20 s.

[0050] In [Fig. 2](#) sind die Zugfestigkeit Rm, die Streckgrenze Rp 0,2 und die Dehnung A80 des bei einer Baintisierungstemperatur TB von 350°C pressverformten Stahlbauteils den korrespondierenden Eigenschaften des bei einer Baintisierungstemperatur TB von 400°C pressverformten Stahlbauteils gegenüber gestellt.

[0051] Beim erfindungsgemäßen bainitischen Presshärten handelt es sich somit um ein Verfahren zum Warmpresshärten, bei dem anstelle des üblicherweise erzeugten Martensitgefüges ein überwiegend aus Bainit bestehendes Gefüge durch eine isothermische Umwandlung beim Presshärten am jeweils pressgeformten Stahlbauteil eingestellt wird. Bainit weist im Vergleich zu Martensit eine gute Duktilität und gute Zähigkeit auf. Um die isothermische Umwandlung von Bainit beim Presshärten zu ermöglichen, wird das Pressformwerkzeug auf eine bestimmte Baintisierungstemperatur aufgeheizt und konstant gehalten. Die Werkzeugtemperatur richtet sich dabei nach der Bainitumwandlungstemperatur, die je nach der Stahlzusammensetzung durch die Martensitstarttemperatur nach unten und Perlitumwandlungstemperatur nach oben begrenzt ist. Die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erzeugten Stahlbauteile weisen eine hohe Festigkeit in Kombination mit einer guten Duktilität auf.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 2006104526 A [[0005](#), [0006](#)]
- DE 102005054847 B3 [[0008](#)]
- DE 10208216 C1 [[0009](#)]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Stahlformteils mit einem überwiegend bainitischen Gefüge,
– bei dem ein Vormaterial in Form einer Stahlplatte oder eines vorgeformten Stahlteils bereitgestellt wird, das jeweils aus einem Stahl hergestellt ist, der (in Gew.-%)

C: 0,24–0,6%,

Mn: 0,5–2,0%,

Al: 0,01–0,06%,

Si: max. 0,5%,

Cr: max. 1,0%,

P: max. 0,02%,

S: max. 0,01%,

sowie optional eines oder mehrere Elemente aus der Gruppe "Ti, B, Mo, Ni, Cu, N" nach folgender Maßgabe

Ti: max. 0,1%,

B: 0,0008–0,005%,

Mo: max. 0,5%,

Ni: max. 1,0%,

Cu: max. 0,1%,

N: max. 0,01%,

und als Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen enthält,

– bei dem das Vormaterial bei einer oberhalb der A_{c3} -Temperatur des Stahls liegenden Austenitisierungstemperatur (TA) durcherwärmt wird,

– bei dem das Vormaterial in ein Pressformwerkzeug eingelegt und darin zu dem Stahlformteil geformt wird,

– bei dem das Stahlformteil auf eine Bainitbildungstemperatur (TB) gebracht wird, die oberhalb der Martensitstarttemperatur (Ms), jedoch unterhalb der Perlitumwandlungstemperatur des Stahls liegt, aus dem das Vormaterial jeweils hergestellt ist,

– bei dem das Stahlformteil über eine Bainitisierungszeit (tB) im Wesentlichen isotherm auf der Bainitbildungstemperatur (TB) gehalten wird, bis in dem Stahlformteil ein zum überwiegenden Teil bainitisches Gefüge entstanden ist, und

– bei dem das Stahlformteil nach dem Ende der Bainitisierungszeit (tB) auf Raumtemperatur gebracht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Stahl (in Gew.-%)

C: 0,25–0,6%,

Si: 0,1–0,5%,

Mn: 0,5–2,0%,

Cr: max. 1,0%,

P: max. 0,02%,

S: max. 0,01%,

Al: 0,01–0,06%,

sowie optional eines oder mehrere Elemente aus der Gruppe "Ti, B, Mo, Ni, N" nach folgender Maßgabe

Ti: 0,02–0,1%,

B: 0,002–0,005%,

Mo: max. 0,5%,

Ni: max. 1,0%,

N: max. 0,01%

und als Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen enthält.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Stahl des Vormaterials bei einem unterhalb von 0,4 Gew.-% liegenden C-Gehalt 0,02–0,1 Gew.-% Ti und 0,002–0,005 Gew.-% B enthält.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Stahl (in Gew.-%)

C: 0,24–0,5%,

Si: max. 0,4%,

Mn: 0,5–2,0%,

Cr: max. 0,6%,

P: max. 0,02%,

S: max. 0,01%,

Al: 0,01–0,06%,

Ti: max. 0,05%,

B: 0,0008–0,005%,

Cu: max. 0,1%,
und als Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen enthält.

5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Bainitanteil im Gefüge des Stahlformteils am Ende der Bainitisierungszeit (tB) mindestens 80% beträgt.

6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Austenitisierungstemperatur (TA) 850–950°C beträgt.

7. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Vormaterial mit einem vor Korrosion schützenden metallischen Überzug versehen ist.

8. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Pressformen des Vormaterials das erhaltene Stahlformteil in dem Pressformwerkzeug auf die Bainitbildungstemperatur (TB) gebracht und für die Bainitisierungszeit (tB) gehalten wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Werkzeugschließzeit (tW) des Presswerkzeugs 5–60 Sekunden, insbesondere 20–60 Sekunden, beträgt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Bainitisierungszeit (tB) kürzer als die Werkzeugschließzeit (tW) ist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Pressformen das aus dem Vormaterial pressgeformte Stahlformteil aus der Pressform entnommen und in einem separaten Arbeitsgang auf die Bainitbildungstemperatur (TB) gebracht und über die Bainitisierungszeit (tB) gehalten wird.

12. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bainitisierungstemperatur (TB) 300–500°C beträgt.

13. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abkühlung des erhaltenen Stahlformteils nach dem Ende der Bainitisierungszeit (tB) an Luft durchgeführt wird.

14. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei dem Stahlformteil um einen Teil einer Automobilkarosserie handelt.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

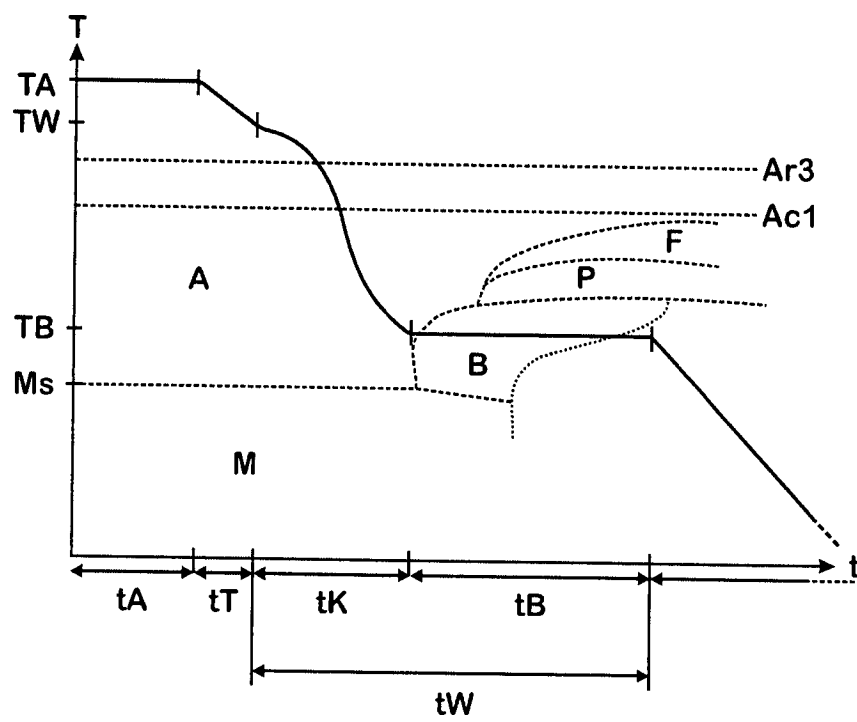


Fig. 1

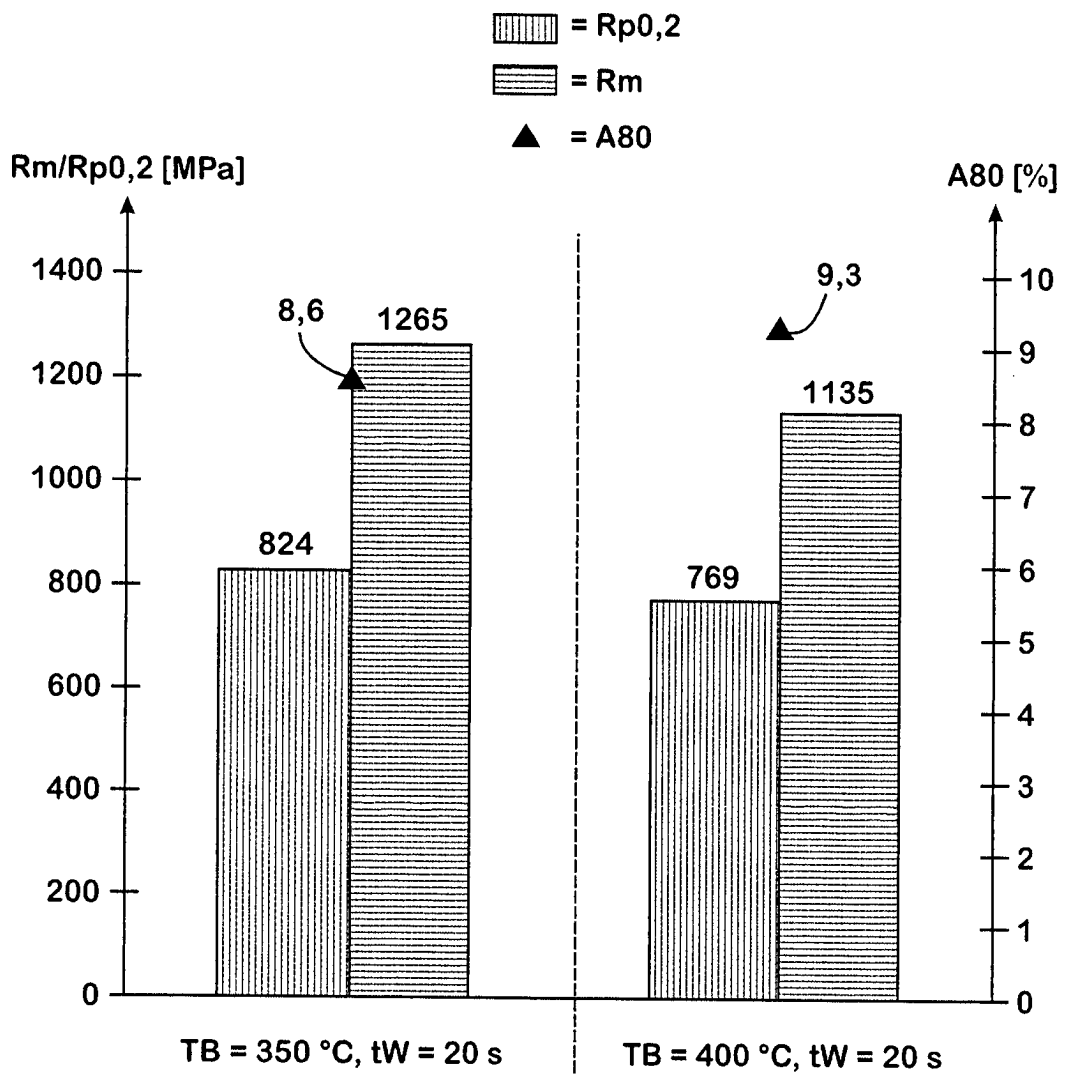


Fig. 2