



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 006 830 B3** 2009.06.04

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 006 830.6**

(22) Anmeldetag: **30.01.2008**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **04.06.2009**

(51) Int Cl.⁸: **B21D 1/06** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Mzac, Karel, Prof. Dr.-Ing., 86316 Friedberg, DE;
Schuller, Paul, 86316 Friedberg, DE**

(74) Vertreter:

**Wiedemann, M., Dipl.-Ing. Univ. Dr.-Ing., Pat.-Anw.,
86150 Augsburg**

(72) Erfinder:

Mzac, Karel, Prof., Dr.-Ing., 86316 Friedberg, DE

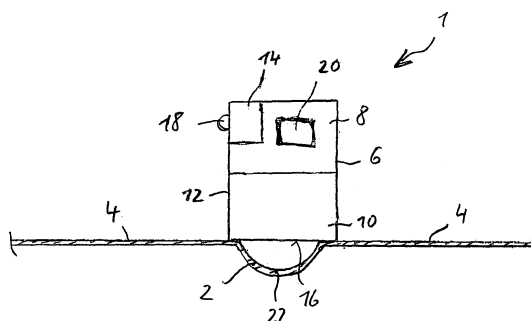
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

**DE 10 2005 033651 A1
DE 21 59 515 A
US 39 98 081 A
DE 27 42 574 A1**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Entfernen von Dellen aus einer elektrisch leitenden, flächigen Struktur zur Ausbildung einer glatten Struktur**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Entfernen von Dellen (2) aus einer elektrisch leitenden, flächigen Struktur (4) zur Ausbildung einer glatten Struktur.

Die Erfindung sieht vor, dass die Struktur (4) einem derartigen elektromagnetischen Feld ausgesetzt wird, dass die Struktur (4) einerseits zumindest im Bereich der Delle (2) erwärmt wird und andererseits die vom elektromagnetischen Feld auf die Delle (2) ausgeübte elektromagnetische Kraft eine Verformung der Delle (2) über den glatten Zustand der Struktur (4) hinaus bewirkt, und dass dann das elektromagnetische Feld zur Abkühlung und Entspannung der Struktur (4) im Bereich der Delle (2) außer Kraft gesetzt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zum Entfernen von Dellen aus einer elektrisch leitenden, flächigen Struktur zur Ausbildung einer glatten Struktur, gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1 sowie von einer Vorrichtung zur Ausführung des Verfahrens nach Patentanspruch 4.

[0002] Solche flächigen, elektrisch leitfähigen Strukturen sind beispielsweise Stahlblechkarosserien von Kraftfahrzeugen, welche durch Unfallbeschädigungen oder Umwelteinwirkungen wie Hagel verbeult werden. Zur Beseitigung der dann in der Karosseriestruktur vorhandenen Dellen sind aus dem Stand der Technik verschiedene Reparaturmethoden bekannt, welche rein mechanische Kräfte wie Ausbeulen, Ausdrücken, Ziehen usw. auf die Delle anwenden.

[0003] Verwendet werden dabei Druck-Schlag- und Ziehvorrichtungen, insbesondere stiftartige Kunststoff- oder Metallelemente, die in den Dellengrund eingeklebt werden und nach Aushärtung des Klebstoffs mittels einer zangenartigen Vorrichtung in die gewünschte Lage mechanisch zurückgezogen werden. Die Klebeverbindung zwischen dem Karosserieblech bzw. der Lackschicht und den stiftartigen Kunststoff- oder Metallelemente muss dann wieder gelöst werden. Nachteilig bei dieser Vorgehensweise ist daher der relativ hohe Zeitaufwand, da die Klebstoffreste nach der Reparatur beseitigt werden müssen sowie die Kosten für das Verfahren, da insbesondere die Klebstoffe relativ teuer sind. Bei einem weiteren bekannten Verfahren werden stiftartige Metallelemente am Dellengrund angeschweißt und das Blech durch mechanische Kraftanwendung in die ursprüngliche glatte Position zurückgezogen. Durch den Schweißvorgang wird jedoch die Lackierung der Karosserie im Bereich der Delle beschädigt und das Verfahren ist wegen des notwendigen Entfernens des Stifts und der erforderlichen Nachlackierung sehr zeitaufwendig.

[0004] Gemäß DE 21 59 515 A und DE 10 2005 033 651 A1 wird ein Elektrolastmagnet bzw. ein Permanentmagnet direkt in eine Delle im Blech eines Fahrzeugs gesetzt und dann der Elektromagnet bzw. der Permanentmagnet mechanisch durch Zugkräfte belastet.

[0005] Aus der DE 27 42 574 A1 ist ein Verfahren zur Entfernung von Aufwerfungen an elektrisch leitenden Materialien mit Hilfe elektromagnetischer Kräfte bekannt, bei welchem eine erste Stromquelle einen ersten Stromimpuls und eine zweite Stromquelle einen zweiten Stromimpuls entgegen gesetzter Polarität durch eine Spule erzeugt, wobei die Anstiegszeit des zweiten Stromimpulses kürzer als die Anstiegszeit des ersten Stromimpulses ist und die Anstiegszeiten im Bereich von 0,08 bis 1,6 Millise-

kunden bzw. im Bereich von 10 bis 40 Mikrosekunden liegen. Aufgrund der kurzen, impulsartigen Einwirkung des elektromagnetischen Feldes kann eine starke impulsive elektromagnetische Kraft erzeugt werden. Genauer wird der erste Impuls gar nicht zu Ende geführt, da andernfalls nur eine repulsive Kraft entstehen und die Delle sich vergrößern würde. Deshalb führt man den ersten Impuls nicht zu Ende, sondern kehrt den Strom durch den Induktor um. Aufgrund dessen wird eine starke impulsive elektromagnetische Zugkraft auf die Delle erzeugt.

[0006] In ähnlicher Weise offenbart auch die US 39 98 081 A ein Verfahren zur Entfernung von Dellen mittels elektromagnetischer Kräfte, bei dem mittels Kondensatoren kurzzeitige Strompulse in einer Spule erzeugt werden. Die Anstiegszeiten der Strompulse liegen dabei im Bereich zwischen 0,8 bis 1,6 Millisekunden. Bei langsameren Anstiegszeiten wird die Werkstückoberfläche gekühlt.

[0007] Der Prozess ist jedoch nach dem Start auch aufgrund der sehr kurzen Wirkungsdauer nicht mehr beeinflussbar. Es lässt sich lediglich für die nächste Anwendung die Höhe der ersten Stromimpulse und der Grad der Umkehrung über die Spannung an der Kondensatorbatterie einstellen, während die Anstiegsgeschwindigkeit der Stromimpulse und die Geschwindigkeit der Umkehrung durch die Hardware vorgegeben sind.

[0008] Weiterhin entstehen Dellen in der Regel durch Kaltverformung, wodurch Eigenspannungen in der Struktur entstehen. Nachteilig bei dem vorstehend beschriebenen Verfahren ist, dass wegen der sehr kurzen Wirkungsdauer des elektromagnetischen Feldes diese Eigenspannungen in der Struktur nicht oder nur unwesentlich beseitigt werden, so dass diese Eigenspannungen eine Rückverformung der Dellen mittels elektromagnetischer Kräfte erschweren.

[0009] Vor diesem Hintergrund besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Entfernen von Dellen aus elektrisch leitfähigen, flächigen Strukturen derart weiter zu entwickeln, dass es einen flexibleren Einsatz erlaubt und bessere Resultate liefert.

[0010] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Merkmale der Patentansprüche 1 und 4 gelöst.

Offenbarung der Erfindung

[0011] Die Erfindung nutzt ein induktives Verfahren zum Beseitigen von Dellen, mit dem Wärme und elektromagnetische Kraft miteinander kombiniert werden.

[0012] Die Wärme wird angewendet, weil die Delle

dadurch entstanden ist, dass die metallische Struktur im Bereich der Delle zuvor kaltverformt wurde. Bedingt durch diese Kaltverformung entstehen Eigenspannungen in der Struktur, welche durch Anwendung der Wärme, ähnlich wie beim Spannungsarmglühen von Metallen beseitigt werden. Die durch das elektromagnetische Feld in dem elektrischen Leiter im Bereich der Delle erzeugte Wärme verursacht daher einerseits eine Reduktion der durch die Kaltverformung erzeugten inneren Spannungen, gleichzeitig aber auch eine Materialausdehnung in der Ebene der Struktur. Die auf das Material wirkende elektromagnetische Kraft sorgt dann dafür, dass die durch die Wärme und die dadurch verursachte Ausdehnung unter Dehnspannung gesetzte Struktur in die der ursprünglichen Kaltverformung entgegen gesetzten Richtung über den glatten Zustand hinaus umschnappt. Wenn dann das elektromagnetische Feld außer Kraft gesetzt wird, wird keine elektromagnetische Kraft noch Wärme induktiv erzeugt und die dadurch hervor gerufene Abkühlung der Struktur sorgt dafür, dass sie sich in den glatten Zustand rückverformen kann.

[0013] Die Wirkung basiert darauf, dass eine von Wechselstrom durchflossene Induktionsspule ein elektromagnetisches Feld im Bereich der Delle erzeugt. Wird die elektrisch leitende Delle von dem elektromagnetischen Feld durchsetzt, werden in ihr elektrische Ströme erzeugt, die zur Erwärmung der Struktur im Bereich der Delle führen. Gleichzeitig wirken elektromagnetische Kräfte, die einen attraktiven oder einen repulsiven Charakter haben können. Das heißt, dass durch die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens nicht nur konkave, sondern auch konvexe Dellen in einer Struktur beseitigt werden können. Bei der Anwendung des induktiven Verfahrens können abhängig vom Werkstoff der Struktur und von der gewünschten Wirkrichtung der elektromagnetischen Kräfte daher entweder ziehende Kräfte oder abstoßende Kräfte (Zug- oder Druckkräfte) erzeugt werden. Das Verfahren kann bei allen ferromagnetischen wie auch bei nicht-ferromagnetischen Strukturen (paramagnetische, diamagnetische Materialien) angewendet werden. Wesentlich ist, dass die Struktur elektrisch leitfähig ist, damit durch magnetische Induktion dort ein Strom und damit Erwärmung erzeugt werden kann. Anwendbar ist das Verfahren daher unter anderem auf metallische Werkstoffe, kohlenstoffbasierte Werkstoffe wie CFK-Werkstoffe sowie auf alle Strukturen, in welchen elektrisch leitfähige Partikel eingebunden sind.

[0014] Das erfindungsgemäße Verfahren hat weiterhin den Vorteil, dass es ohne jegliche mechanische Krafteinwirkung und ohne Beschädigung der Oberfläche der Struktur wirkt. Eine besonders zu bevorzugende Anwendung des Verfahrens besteht daher im Ausbeulen von Fahrzeugkarosserien durch Dellenziehen oder -drücken, da solche Karosserien

üblicherweise lackiert sind und der Lack bei Anwendung des Verfahrens nicht beschädigt wird. Nicht zuletzt ist das Verfahren schnell durchführbar, da es keinerlei Montageschritte erfordert und lediglich durch Erzeugen eines elektromagnetischen Felds im Bereich der Delle durchgeführt wird.

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren kann mit einer einzigen induktiven Quelle und einer einzigen Induktionsspule durchgeführt werden, wobei während der Anwendung des Verfahrens das elektromagnetische Feld je nach dem erforderlichen Verhältnis zwischen der Erwärmung der Struktur und der auf sie wirkenden elektromagnetischen Kraft bevorzugt verändert bzw. gesteuert wird, beispielsweise sprunghaft und/oder rampenhaft.

[0016] Es ist allerdings auch möglich, dass mehrere voneinander unabhängige Induktionsquellen oder Magnetfelderzeuger eingesetzt werden können, wobei wenigstens eine Induktionsquelle für die Erwärmung und wenigstens eine weitere Induktionsquelle für die Erzeugung der elektromagnetischen Zug- bzw. Druckkraft vorgesehen ist. In diesem Fall kann die kräfteerzeugende Induktionsquelle mit Gleichstrom gespeist oder durch einen Permanentmagneten gebildet werden. Nicht zuletzt ist es möglich, dass die Erwärmung und die Kräfteerzeugung nicht gleichzeitig, sondern hintereinander erfolgen.

[0017] Da die induktiv erzeugte Wärme und Kraft aber bevorzugt gleichzeitig wirken, ist es notwendig, dass sie als physikalische Größen oder Prozessparameter in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen. Eine zu große bzw. zu schnelle Erwärmung bei gleichzeitig schwachen elektromagnetischen Kräften kann zu einer Schädigung der Oberfläche der Struktur führen, welche insbesondere bei einer Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens im Karosseriebereich von Fahrzeugen lackiert ist, ohne dass sich ausreichende Zug- oder Druckkräfte einstellen. Umgekehrt können zu große elektromagnetische Kräfte ohne entsprechende Erwärmung nicht zur Ausbildung einer glatten Oberfläche der Struktur im Bereich der Delle führen.

[0018] Bei ferromagnetischen Strukturen wie Stahlblechkarosserien von Fahrzeugen ist das Verhältnis zwischen der in der Struktur im Bereich der Delle eingebrachten Wärmemenge und der dort wirkenden elektromagnetischen Kraft abhängig von der Frequenz und der Feldstärke des elektromagnetischen Felds. Dagegen hängt die Größe der elektromagnetischen Kraft nur von der Feldstärke, nicht aber von der Frequenz des elektromagnetischen Felds ab. Diese Verfahrenparameter sind weiterhin nicht nur vom Werkstoff der Struktur, sondern auch von deren Dicke abhängig. Wesentlich ist daher auch, wie groß die Eindringtiefe des elektromagnetischen Felds in die Oberfläche ist. Bevorzugt wird das Verfahren für

dünnwandige ferromagnetische Strukturen verwendet.

[0019] In Anwendung des Verfahrens bedeutet dies, dass für eine möglichst große Bandbreite der Anwendung des Verfahrens wenigstens eine Induktionsquelle oder wenigstens ein Magnetfelderzeuger wenigstens einen mindestens eine Induktionsspule speisenden elektrischen Generator aufweist, der derart ausgebildet ist, dass insbesondere die Stromstärke und/oder die Frequenz des die Induktionsspule durchfließenden Stromes steuerbar ist. Zur Realisierung einer Regelung können die Stromstärke und/oder die Frequenz des die Induktionsspule durchfließenden Stromes auch abhängig von einer Abweichung des Ist-Verformungswegs der Delle von einem vorgegebenen Soll-Verformungsweg als Stellgrößen gesteuert werden.

[0020] Die Frequenz und/oder die Stromstärke des die Induktionsspule durchfließenden Stroms wird dann während der Anwendung des Verfahrens variiert, um das Verhältnis zwischen den beiden Größen Wärme und Kraft zu verändern, nämlich entweder durch die oben beschriebene Regelung oder mittels Steuerung durch eine Bedienperson. Weil man bei der Anwendung des Verfahrens eine visuelle Rückkopplung dadurch erhält, dass die Struktur beispielsweise noch nicht ausreichend verformt bzw. geglättet ist, können Prozessparameter wie beispielsweise die Frequenz und die Stromstärke des die Induktionsspule durchfließenden Stroms auch durch die Bedienperson am elektrischen Generator eingestellt werden.

[0021] Es ist allerdings auch möglich, dass durch Fokussierung auf spezielle Anwendungen mit konstanter Frequenz und konstanter Stromstärke des Stroms gearbeitet wird. Um Oberflächenbeschädigungen zu vermeiden, werden in der Regel niedrigere Aufheizraten bevorzugt. Für speziellen Anwendungsfälle sind höhere Aufheizraten aber nicht ausgeschlossen.

[0022] Für eine Regelung des Verformungswegs als Regelgröße wird der aktuelle Ist-Verformungsweg mittels einer geeigneten Sensoreinrichtung erfasst. Wird die Sensoreinrichtung zur Erfassung des Ist-Verformungswegs in Bezug auf die ebene Struktur oder Fläche auf Null geeicht, weist beispielsweise eine Vorzeichenänderung von Plus auf Minus oder umgekehrt auf das Prozessende hin, woraufhin ein Stoppsignal erzeugt wird, das die Wirkung der Induktionsquelle beendet, beispielsweise dadurch, dass der elektrische Generator abgeschaltet wird. Dazu sind geeignete Sensoren einsetzbar wie beispielsweise Näherungs- oder Mikroschalter. Über den Verformungsweg als Regelgröße kann dann das Verfahren gesteuert oder geregelt werden. Mit anderen Worten werden die Prozessparameter wie die An-

wendungszeit des Verfahrens, die Stromstärke und/oder die Frequenz des die Induktionsspule durchfließenden Stroms über das Stellglied Generator solange angepasst bzw. verändert, bis der Ist-Verformungsweg dem Soll-Verformungsweg entspricht. Dieser Soll-Verformungsweg ist insbesondere dann erreicht, wenn die Delle in die der ursprünglichen Kaltverformung entgegen gesetzten Richtung über den glatten Zustand hinaus umschnappt.

[0023] Das Verfahren kann beispielsweise durch eine geeignete Start-/Stoppeinrichtung am elektrischen Generator oder an der Induktionsspule gestartet und damit im Fall einer Steuerung auch gestoppt werden. Das Verfahren wird dann solange durchgeführt, so lange ein von der Bedienperson an der Start-/Stoppeinrichtung ausgelöstes externes Signal an einer Steuereinrichtung des elektrischen Generators ansteht. Die Rückkopplung ist in diesem Fall visuell. Um durch Unaufmerksamkeit der Bedienperson verursachten Schäden vorzubeugen, kann in der Steuereinrichtung des elektrischen Generators eine maximale Anwendungsdauer für das Verfahren vorgegeben werden. Nach Ablauf dieser Zeit wird das Verfahren automatisch unterbrochen, unabhängig davon, dass das externe Startsignal noch ansteht. Für Fortsetzung des Verfahrens muss dann das externe Signal nochmals eingegeben bzw. ausgelöst werden.

[0024] Der Status des elektrischen Generators, beispielsweise EIN bzw. AUS wird der Bedienperson bevorzugt kontinuierlich signalisiert. Das Signal kann beispielsweise durch ein LED und/oder einen Summer optisch und/oder akustisch angezeigt werden. Die Einspeisung des Signalerzeugers an der Induktionsspule erfolgt beispielsweise durch in einer Sonderwicklung induzierten Spannung. Alternativ kann die Einspeisung auch durch den Generator erfolgen. Die Einstellung der beiden elektrischen Größen Stromstärke und Frequenz des die Induktionsspule durchfließenden Stroms erfolgt bevorzugt unabhängig und getrennt voneinander.

[0025] Die Stromstärke durch die Induktionsspule wird bevorzugt über eine PWM (Pulsweitenmodulation) eingestellt bzw. eingeregelt. Diese ist direkt abhängig von der Ausführung der Induktionsspule und kann im Bereich zwischen einem und einigen hundert Ampere liegen.

[0026] Die Induktionsspule kann mit einem Feldformer bzw. Feldverstärker versehen sein, beispielsweise in Form eines Spulenkerns. Dieser kann in Abhängigkeit vom gewählten Frequenzbereich für den Strom aus magnetisch leitenden oder aus elektrisch nicht leitendem Werkstoff (Sinterwerkstoff, pulververpresster Werkstoff) für höhere Frequenzen, aus nanokristalline, oder amorphem Werkstoff für den mittleren Frequenzbereich oder aus Transformatorblech

(kalt oder warm gewalzt) für niedrige Frequenzen bestehen.

[0027] Die anwendungsrelevanten Frequenzen liegen je nach der Tiefe der Delle bzw. dem erforderlichen Verformungsweg oder konstruktiven Gegebenheiten der Struktur (Zugänglichkeit) zwischen einigen Herz oberhalb der üblichen Industriefrequenz und einigen Hundert kHz. Mit Rücksicht auf Wirkungsweise, einfache Einstellbarkeit und Sicherheit (höhere Frequenzen benötigen eine höhere Spannung) werden Frequenzen bis ca. 20 kHz bevorzugt. Höhere Frequenzen sind zwar nicht ausgeschlossen, diese verursachen jedoch eine zu schnelle und schwer zu kontrollierende Erwärmung, ohne dass die notwendige elektromagnetische Kraft erzeugt wird. Bei Anwendung von mehreren Magnetfelderzeugern kann die Frequenz im Krafterzeuger auch Null betragen, so dass auch ein Permanentmagnet eingesetzt werden kann.

Zeichnungen

[0028] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

[0029] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß einer bevorzugten Ausführungsform, welche auf eine Struktur mit einer Delle angewendet wird;

[0030] [Fig. 2](#) eine schematische Querschnittsdarstellung der Struktur von [Fig. 1](#) in einem überstreckten Zustand;

[0031] [Fig. 3](#) eine schematische Querschnittsdarstellung der Struktur von [Fig. 1](#) in einem glatten Zustand;

[0032] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0033] Die in [Fig. 1](#) gezeigte bevorzugte Ausführungsform einer Vorrichtung **1** zum Entfernen von Dellen **2** aus einer flächigen und elektrisch leitenden, bevorzugt dünnwandigen Struktur **4** zur Ausbildung einer glatten Struktur weist wenigstens einen Magnetfelderzeuger **6** mit wenigstens einem elektrischen Generator **8** auf, welcher mindestens eine Induktionsspule **10** zur Erzeugung eines die Struktur **4** zumindest im Bereich der Delle **2** durchdringenden elektromagnetischen Felds beispielsweise mit Wechselstrom bestromt. Die Struktur besteht vorzugsweise aus einem ferromagnetischen Metallblech, insbesondere einer Stahlblechkarosserie eines Kraftfahrzeugs.

[0034] Der elektrische Generator **8** und die Induktionsspule **10** sind bevorzugt in einem gemeinsamen Gehäuse **12** untergebracht, welches als Handhabungsgerät **1** von einer Bedienperson auf der zu reparierenden Struktur **4** angewendet wird. Dabei ist die Delle **2**, wie in [Fig. 1](#) gezeigt, beispielsweise durch mechanische Einwirkung von außen entstanden und dann in Bezug zur restlichen Struktur **4** der Karosserie konkav ausgebildet.

[0035] Der elektrische Generator **8** ist bevorzugt ein Generator zur Erzeugung mittelfrequenter Ströme in der Induktionsspule **10**, welcher beispielsweise an das Stromnetz angeschlossen, aber auch batteriebetrieben sein kann.

[0036] Der physikalische Hintergrund des Verfahrens, welches mit dem Handhabungsgerät **1** ausgeführt wird, basiert darauf, dass die metallische Struktur **4** von dem elektromagnetischen Feld derart durchsetzt wird, dass einerseits die Struktur **4** im Bereich der Delle **2** erwärmt wird und andererseits die vom elektromagnetischen Feld auf die Delle **2** ausgeübte elektromagnetische Kraft dafür sorgt, dass die Delle **2** in die der ursprünglichen Kaltverformung entgegengesetzten Richtung ein Stück weit über den glatten oder ebenen Zustand hinaus umschnappt, wie [Fig. 2](#) zeigt. Wenn dann das elektromagnetische Feld außer Kraft gesetzt wird, sorgt die dadurch hervorgerufene Abkühlung der Struktur **4** im Bereich der Delle **2** dafür, dass sie sich in den glatten Zustand rückverformen kann, wie er in [Fig. 3](#) gezeigt ist.

[0037] Das Verfahren kann bei ferromagnetischen wie auch bei nicht-ferromagnetischen Strukturen **4** (paramagnetische, diamagnetische Materialien) angewendet werden, wesentlich ist, dass das Material **4** elektrisch leitfähig ist, damit durch magnetische Induktion dort ein Strom und damit Wärme erzeugt werden kann. Bevorzugt wird das Verfahren zum Ausbeulen von Karosserieblechen **4** aus Stahl oder aus Alu angewendet, es ist jedoch nicht auf diese Anwendungen beschränkt und kann bei jeglichen elektrisch leitenden Strukturen **4** durchgeführt werden.

[0038] Bevorzugt ist am elektrischen Generator **8** oder an der Induktionsspule **10** eine Start-/Stoppeinrichtung **14** vorgesehen ist, welche zumindest durch ein externes Startsignal durch die Bedienperson steuerbar ist. Zunächst wird eine Stirnfläche **16** des Magnetfelderzeugers **6**, an welcher die Feldlinien des das elektromagnetischen Felds austreten, auf die Struktur **4** aufgelegt, so dass der radial äußere Teil der Stirnfläche **16** den glatten Rand der Delle **2** im Bereich der unverformten Struktur **4** kontaktiert. Zum Start des Verfahrens wird dann das Startsignal, beispielsweise über einen Startknopf **18** der Start-/Stoppeinrichtung **14** eingegeben, woraufhin der elektrische Generator **8** einen Strom in die Induktionsspule **10** einspeist, welcher in dem über die

Stirnfläche **16** magnetisch kurz geschlossenen Dellenbereich **2** ein elektromagnetisches Feld erzeugt. Durch eine Anzeigeeinrichtung **20** am Handhabungsgerät **1** wird dann das Anliegen des externen Startsignals, d. h. der Zustand des durch die Bedienperson gedrückten Startknopfs **18** durch akustische und/oder optische Signale angezeigt.

[0039] Als Prozessgrößen des Magnetfelderzeugers **6** werden bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel wenigstens die Stromstärke und/oder die Frequenz des die Induktionsspule **10** durchfließenden Stroms und/oder die Anwendungsdauer des Verfahrens in Abhängigkeit von der Abweichung des Ist-Verformungswegs der Delle **2** von einem vorgegebenen Soll-Verformungsweg eingestellt. Die Einstellung der beiden elektrischen Größen Stromstärke und Frequenz des die Induktionsspule **10** durchfließenden Stroms erfolgt bevorzugt unabhängig und getrennt voneinander.

[0040] Die Rückkopplung über den Erfolg einer Anwendung des Verfahrens ist bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) visuell. Um durch Unaufmerksamkeit der Bedienperson verursachten Schäden vorzubeugen, kann in einer hier nicht separat gezeigten Steuereinrichtung des elektrischen Generators **8** eine maximale Anwendungsdauer für das Verfahren vorgegeben werden. Nach Ablauf dieser Zeit wird das Verfahren automatisch unterbrochen unabhängig davon, dass das externe Startsignal noch ansteht. Für Fortsetzung des Verfahrens muss dann das externe Signal über den Startknopf **18** nochmals eingegeben werden.

[0041] Wie eingangs bereits erläutert, basiert die Wirkung des Verfahrens darauf, dass die von Wechselstrom durchflossene Induktionsspule **10** ein elektromagnetisches Feld im Bereich der Delle **2** erzeugt. Wird die elektrisch leitende Delle **2** von dem elektromagnetischen Feld durchsetzt, werden in ihr elektrische Ströme erzeugt, die zur Erwärmung der Struktur **4** im Bereich der Delle **2** führen. Gleichzeitig wirken elektromagnetische Kräfte, die Zugkräfte oder Druckkräfte sein können. Da die Delle **2** im vorliegenden Fall in Bezug zum Magnetfelderzeuger **6** konkav ist, muss die Induktionsspule **10** vom elektrischen Generator **8** derart angeregt werden, dass das elektromagnetische Feld Zugkräfte auf die Delle **2** erzeugt. Falls jedoch die Delle **2** in Bezug zur Lage des Magnetfelderzeugers **6** eine prominente oder konvexe Form aufweist, was dann der Fall sein kann, wenn eine Delle **2** vom Inneren der Struktur aus bearbeitet wird, muss die Induktionsspule **10** vom Generator **8** derart bestromt werden, dass sie auf die Delle **2** Druckkräfte ausübt.

[0042] Die durch das elektromagnetische Feld in der elektrischen Struktur **4** im Bereich der Delle **2** erzeugte Wärme verursacht einerseits eine Reduktion

der durch die zuvor statt gefundene Kaltverformung erzeugten inneren Spannungen, gleichzeitig aber auch eine Materialausdehnung im Bereich der Delle **2**. Die auf das Material der Delle **2** wirkende elektromagnetische Kraft sorgt dann dafür, dass das durch die Wärme und die dadurch verursachte Ausdehnung unter Dehnspannung gesetzte Material **2** in Richtung einer glatten Struktur **4** gezogen wird und darüber hinaus in die der ursprünglichen Kaltverformung entgegen gesetzten Richtung unter Überschreitung der glatten Nulllage überschnappt, wie aus [Fig. 2](#) hervorgeht. Danach wird das elektromagnetische Feld außer Kraft gesetzt, damit die dadurch hervor gerufene Abkühlung und Entspannung der Struktur **4** im Bereich der Delle **2** dafür sorgt, dass diese sich in den glatten Zustand gemäß [Fig. 3](#) rückverformen kann.

[0043] Das Verfahren kann bei metallischen ferromagnetischen wie auch bei nicht-ferromagnetischen Strukturen **4** (paramagnetische, diamagnetische Materialien) angewendet werden, wesentlich ist, dass das Material elektrisch leitfähig ist, damit durch magnetische Induktion dort ein Strom und damit eine Erwärmung erzeugt werden kann.

[0044] Für eine möglichst große Bandbreite der Anwendung des Verfahrens ist der die Induktionsspule **10** speisende elektrische Generator **8** bevorzugt derart ausgebildet ist, dass insbesondere die Stromstärke und die Frequenz des die Induktionsspule **10** durchfließenden Stromes steuerbar ist. Die Frequenz und/oder die Stromstärke des die Induktionsspule **10** durchfließenden Stroms werden dann während der Anwendung des Verfahrens variiert, um das Verhältnis zwischen den beiden Größen Wärme und Kraft durch die Bedienperson zu verändern. Bei der Anwendung des Verfahrens erhält die Bedienperson eine visuelle Rückkopplung dadurch, dass die Struktur **4** beispielsweise noch nicht ausreichend verformt ist, so dass die genannten Prozessparameter am elektrischen Generator **8** nachgestellt werden müssen.

[0045] Eine spürbare und sichtbare Rückkopplung erhält die Bedienperson dadurch, dass die Struktur **4** im Bereich der Delle **2** zunächst hör- und fühlbar über die glatte Nulllage hinaus überschnappt, wie der Zustand in [Fig. 2](#) zeigt. Dieses Überschnappen des Dellenrunds **22** kann die Bedienperson am Magnetfelderzeuger **6** spüren, weil der Dellenrund **22** gegen die Stirnfläche **16** des Magnetfelderzeugers **6** schlägt und bedingt durch diesen Kraftimpuls das Handhabungsgerät **1** gegen die Wirkung der von der Bedienperson ausgeübten Haltekraft von der Struktur **4** kurzzeitig abhebt. Nach Außerkräftsetzen des elektromagnetischen Felds durch die Bedienperson, was eine Abkühlung und Entspannung der Struktur **4** im Bereich der Delle **2** bewirkt, nimmt diese dann den glatten Zustand gemäß [Fig. 3](#) ein.

[0046] Alternativ kann gemäß der in [Fig. 4](#) gezeigten Ausführungsform eine Sensoreinrichtung **24** zur Aussteuerung von Signalen abhängig vom Ist-Verformungsweg der Delle **2** vorgesehen sein. Diese Signale werden dann in eine Steuereinrichtung **30** des elektrischen Generators **8** eingesteuert. Bevorzugt beinhaltet die Sensoreinrichtung **24** einen durch eine Feder **26** in den Dellengrund **22** vorgespannten, und bevorzugt innerhalb der Induktionsspule **10** längsbeweglich geführten und durch eine Öffnung in der Stirnfläche **16** ragenden Messbolzen **28**, welcher bei der Verformung der Delle **2** gemäß eines vorgegebenen Soll-Verformungswegs gegen die Federkraft in [Fig. 4](#) nach oben bewegt wird und dort mit seinem anderen Ende einen elektrischen Endschalter **30** der Steuereinrichtung betätigt, welcher daraufhin seine Schaltstellung von einer die Induktionsspule **10** mit dem Generator **8** koppelnden in eine die Induktionsspule **10** vom Generator **8** trennende Schaltstellung ändert, wie anhand von [Fig. 4](#) leicht vorstellbar ist.

[0047] Auf diese Weise wird eine Regelung verwirklicht, durch welche der Magnetfelderzeuger **6** abhängig von der Abweichung des Ist-Verformungswegs, welchen der Messbolzen **28** misst, vom Soll-Verformungsweg gesteuert wird, welcher durch die Lage des Endschalters **30** in Bezug zum Messbolzen **28** vorgegeben ist. Dieser Soll-Verformungsweg ist insbesondere dann erreicht, wenn die Delle **2** in die der ursprünglichen Kaltverformung entgegen gesetzten Richtung über den glatten Zustand hinaus gemäß [Fig. 2](#) umschnappt.

[0048] Denkbar ist jedoch auch eine Regelung, bei welcher als Stellgrößen die Stromstärke und/oder die Frequenz des die Induktionsspule **10** durchfließenden Stroms und/oder die Anwendungsdauer des elektromagnetischen Felds abhängig von der Abweichung des Ist-Verformungsweges vom Soll-Verformungsweg automatisch eingestellt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Entfernen von Dellen (**2**) aus einer elektrisch leitenden, flächigen Struktur (**4**) zur Ausbildung einer glatten Struktur, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Struktur (**4**) einem derartigen elektromagnetischen Feld ausgesetzt wird, dass die Struktur (**4**) einerseits zumindest im Bereich der Delle (**2**) erwärmt wird und andererseits die vom elektromagnetischen Feld auf die Delle (**2**) ausgeübte elektromagnetische Kraft eine Verformung der Delle (**2**) über den glatten Zustand der Struktur (**4**) hinaus bewirkt, und dass dann das elektromagnetische Feld zur Abkühlung und Entspannung der Struktur (**4**) im Bereich der Delle (**2**) außer Kraft gesetzt wird, wobei zur Erzeugung des elektromagnetischen Felds wenigstens ein Magnetfelderzeuger (**6**) mit einem elektrischen Generator (**8**) herangezogen wird, welcher mindestens eine Induktionsspule (**10**) zur Erzeugung des

elektromagnetischen Felds bestromt und als Prozessgrößen des wenigstens einen Magnetfelderzeugers (**6**) wenigstens die Stromstärke und/oder die Frequenz des die Induktionsspule (**10**) durchfließenden Stroms einstellbar sind.

2. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als weitere Prozessgröße des wenigstens einen Magnetfelderzeugers (**6**) die Anwendungsdauer des Verfahrens in Abhängigkeit der Abweichung eines Ist-Rückverformungswegs vom Soll-Rückverformungsweg eingestellt wird.

3. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Struktur ein metallischer Werkstoff, ein kohlenstofffaserbasierter Werkstoff oder ein elektrisch leitfähige Partikel beinhaltender Werkstoff ist.

4. Vorrichtung zur Ausführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie wenigstens einen Magnetfelderzeuger (**6**) mit wenigstens einem elektrischen Generator (**8**) umfasst, welcher mindestens eine Induktionsspule (**10**) zur Erzeugung des elektromagnetischen Felds bestromt, wobei der wenigstens eine Magnetfelderzeuger (**6**) derart ausgebildet ist, dass als Prozessgrößen wenigstens die Stromstärke und/oder die Frequenz des die Induktionsspule (**10**) durchfließenden Stroms einstellbar sind.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine Magnetfelderzeuger (**6**) derart ausgebildet ist, dass als weitere Prozessgröße die Anwendungsdauer des Verfahrens in Abhängigkeit von der Abweichung des Ist-Rückverformungswegs vom Soll-Rückverformungsweg einstellbar ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine Sensoreinrichtung (**24**) zur Aussteuerung von Signalen für den Magnetfelderzeuger (**6**) abhängig vom Ist-Rückverformungsweg vorgesehen ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoreinrichtung (**24**) einen durch Federkraft in den Dellengrund (**22**) vorgespannten Messbolzen (**28**) beinhaltet, welcher mit einem in die stromleitende Verbindung zwischen dem Generator (**8**) und der Induktionsspule (**10**) geschalteten Endschalter (**30**) zusammen wirkt.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere voneinander unabhängige Magnetfelderzeuger (**6**) vorgesehen sind, wobei wenigstens ein Magnetfelderzeuger für die Erwärmung der Delle (**2**) und wenigstens ein weiterer Magnetfelderzeuger (**6**) zur Erzeugung der

elektromagnetischen Kraft vorgesehen ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Induktionsspule (**10**) des weiteren Magnetfelderzeugers (**6**) zur Erzeugung der elektromagnetischen Kraft mit Gleichstrom gespeist wird.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der weitere Magnetfelderzeuger (**6**) zur Erzeugung der elektromagnetischen Kraft durch einen Permanentmagneten gebildet wird.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass eine Start-/Stopp-einrichtung (**14**) zum Starten und/oder Stoppen des wenigstens einen Magnetfelderzeugers (**6**) vorgesehen ist, welche zumindest durch ein externes Startsignal steuerbar ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass eine Anzeigeeinrichtung (**20**) vorgesehen ist, welche das Anliegen des externen Startsignals durch akustische und/oder optische Signale anzeigt.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromstärke des die Induktionsspule (**10**) durchfließenden Stroms durch Pulsweitenmodulation eingestellt bzw. eingeregelt wird.

14. Verwendung der Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 4 bis 13 zum Entfernen von Dellen (**2**) aus metallischen und elektrisch leitfähigen Karosserien (**4**) von Kraftfahrzeugen.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

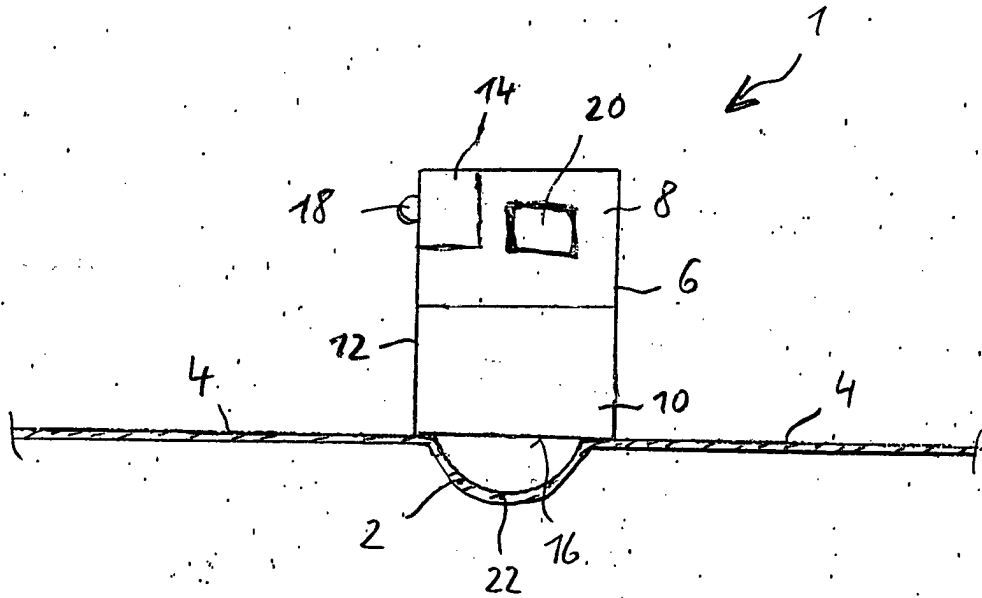


Fig. 1

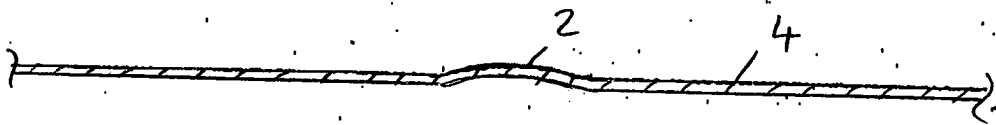


Fig. 2

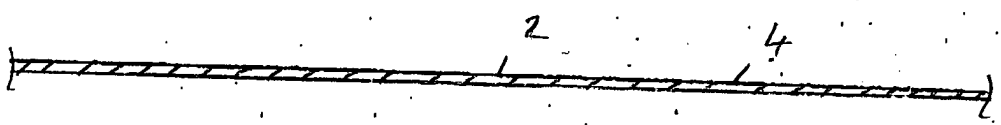


Fig. 3

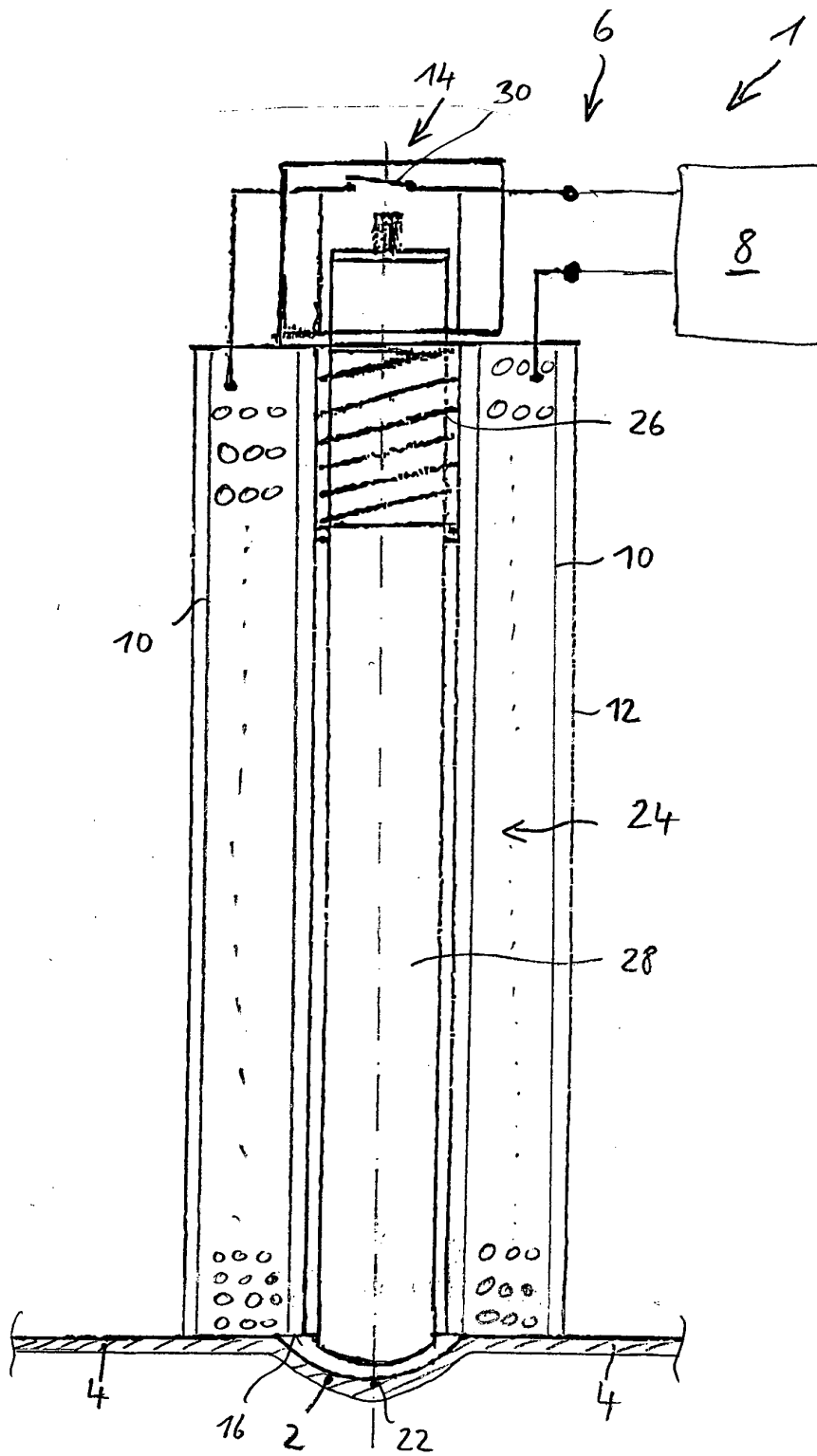


Fig. 4