



(10) **DE 100 65 737 B4** 2010.07.22

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **100 65 737.0**  
(22) Anmeldetag: **29.12.2000**  
(43) Offenlegungstag: **12.07.2001**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **22.07.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B23P 15/14** (2006.01)  
**B23P 13/00** (2006.01)  
**F16H 48/08** (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).

(30) Unionspriorität:  
**09/476,032 31.12.1999 US**

(73) Patentinhaber:  
**Dana Automotive Systems Group, LLC, Toledo,  
Ohio, US**

(74) Vertreter:  
**Berendt und Kollegen, 81667 München**

(72) Erfinder:  
**Fisher, James S., Huntertown, Ind., US; Smith,  
Roland C., Milford, Ind., US**

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

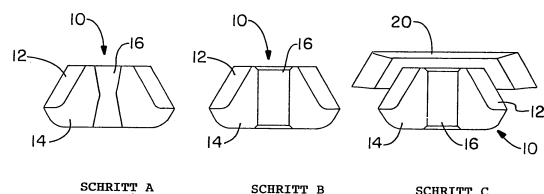
<b>DE</b>	<b>24 49 237</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>694 31 291</b>	<b>T2</b>
<b>US</b>	<b>46 75 488</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>42 51 704</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>34 46 495</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>21 67 798</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>25 90 546</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>26 89 900</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>24 44 259</b>	<b>A</b>

**DOEGE, E., u.a.: Präzisionsumformung  
schrägverzählter Zahnräder, In: VDI-Z  
138(1996), Nr. 1/2 - Januar/Februar, S. 56-61**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen eines Kegelrads**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Herstellen eines Kegelrads (10) ohne spanabhebende Fertigbearbeitung, welches Verfahren folgende zeitlich aufeinanderfolgende Schritte aufweist:

(a) Ausbilden eines Zwischenprodukts für ein Kegelrad mit Zähnen (12) durch Schmieden eines metallischen Rohlings, bis ein Kegelrad (10) mit im wesentlichen der Zahnkonfiguration und den Dimensionen des erwünschten Kegelrads (10) erhalten wird, wobei der metallische Rohling einen Kohlenstoffgehalt von wenigstens etwa 0,4 Gewichts-% hat; und abschließend  
(b) Härten der Zähne (12) des Kegelrads (10) durch eine Wirbelstromerwärmung.



## Beschreibung

**[0001]** Diese Erfindung betrifft Verfahren zum Herstellen eines Kegelrads ohne spanabhebende Fertigbearbeitung.

**[0002]** Es sind Verfahren zum Vorbereiten von Zahnradgetrieben bekannt, welche Verfahren eine schmiedende Wärmebehandlung und eine spanabhebende Formgebung von kohlenstoffarmem Stahl enthalten, der typischerweise etwa 0,2 Gewichts-% Kohlenstoff enthält. Es gibt zwei Nachteile beim Verwenden von kohlenstoffarmem Stahl von diesem Typ. Als erstes ist eine karbonisierende Wärmebehandlung erforderlich, weil es sonst nicht möglich ist, eine ausreichende Härte zu erhalten, wenn mit einem solchen kohlenstoffarmen Stahl begonnen wird. Als zweites kann ein kohlenstoffarmer Stahl, der etwa 0,2 Gewichts-% Kohlenstoff enthält, nicht durch eine Induktions-Wärmebehandlung bzw. Wirbelstromerwärmung behandelt werden.

**[0003]** Es ist im Stand der Technik berichtet worden, dass Hohlräder des Planetengetriebes bzw. Tellerräder für Hochleistungs-Fahrzeuge mit Eigenantrieb, wie beispielsweise für Lastkraftwagen, durch ein Verfahren hergestellt werden können, wie es im wesentlichen oben beschrieben ist, beginnend mit Stahl mit einem niedrigen bis mittleren Kohlenstoffgehalt, welcher Stahl irgendetwas von etwa 0,05 Gewichts-% Kohlenstoff bis 0,4 Gewichts-% Kohlenstoff enthalten kann. Es ist weiter berichtet worden, dass der Stahl präzisionsgeschmiedet werden kann, so dass nach der schließlichen Wärmebehandlung keine weitere Formgebung der Zahnprofile erforderlich ist. Jedoch ist es bei diesem Verfahren nötig, eine karbonisierende Wärmebehandlung zu verwenden.

**[0004]** Es ist auch ein Verfahren zum Herstellen eines Tellerrads für ein Fahrzeug mit Eigenantrieb bekannt, welches Verfahren ein Schmieden, eine spanabhebende Formgebung des Ergebnisses beim Schmieden und eine Wirbelstromerwärmung enthält. Bei diesem Verfahren ist ein Rohling "Anear-net@", welcher so geschmiedet wird, dass nicht mehr als etwa 1,778 mm (= 0,070 Inch) von Metall von den Seitenwänden jedes Getriebezahns entfernt werden muss. Das Schmiedeergebnis wird dann einer spanabhebenden Formgebung bzw. einer Endbearbeitung unterzogen und schließlich kann dann, wenn Stahl mit hohem Kohlenstoffgehalt verwendet wird, die Tellerradoberfläche am Umfang induktionsgehärtet werden. Dieses Verfahren ist auch derart offenbart, dass es auf Stahl mit mittlerem Kohlenstoffgehalt anwendbar ist, welcher Stahl von 0,05% Kohlenstoff bis 0,6% Kohlenstoff enthält.

**[0005]** Gegenwärtig bekannte Verfahren zum Herstellen von Getrieben haben, gleichgültig ob sie für die Herstellung von Getrieben mit wenigen bzw. nied-

rigen Bewegungsübertragungsfehlern (von MTM-Getrieben), wie beispielsweise von Tellerrädern für Fahrzeuge mit Eigenantrieb verwendet werden, oder von Getrieben "Ahigh MTM@", wie beispielsweise Differentialgetrieben (z. B. einem mit einem Kleinrad gepaarten Großrad oder einem Seitengetriebe) für Fahrzeuge mit Eigenantrieb, oder zum Herstellen von Getrieben für leichtere Fahrzeuge, wie beispielsweise Rasenmäher und Golfkarren bzw. -wagen und ähnliches, allgemein entweder ein Karbonisieren oder eine spanabhebende Formgebung bzw. eine Endbearbeitung oder beides erfordert. Solche Operationen verteuern die Herstellung in beachtlichem Ausmaß. Weiterhin sind solche Verfahren, die solche Schritte erfordern, für die Herstellung von Drehmomentengetrieben mit hohem MTM unnötig.

**[0006]** DE 24 49 237 A1 zeigt ein Verfahren zur induktiven Oberflächenhärtung von verzahnten Werkstücken aus Stahl mit etwa 0,4% (0,35 ... 0,75%) Kohlenstoffgehalt durch induktives Erhitzen des Werkstücks mit nachfolgender Abschreckung. Die induktive Oberflächenhärtung erfolgt dabei auf derartige Weise, dass das Werkstück einschließlich seines Zahngrunds zunächst auf eine Temperatur zwischen den Umwandlungspunkten Ac1 und Ac3 derart erwärmt wird, dass durch Austenitbildung eine Festigkeit von etwa 40–45 HRC entsteht, und dass darauf folgend in einem zweiten Erwärmungsschritt die Oberfläche des Werkstücks mindestens im Bereich der Verzahnung kurzfristig und mit hoher Energiedichte bis über die Ac3-Temperatur konturengetreu erhitzt und danach abgeschreckt wird.

**[0007]** In "DOEGE, E. u. a.: Präzisionsumformung schräg verzahnter Zahnräder, IN: VDI-Z 138 (1996), Nr. 1/2 – Januar/Februar; S. 56–61" ist im Abschnitt "Realisierung des Schmiedeprozesses in der Pilotanlage" auf den S. 59–60 ein einstufiges Umformverfahren angegeben, mit dem sich Zahnräder endkonturnah schmieden lassen, die lediglich im Bereich der Zahnflanken und der Innenbohrung hartfein nachbearbeitet werden müssen.

**[0008]** US 4 675 488 A zeigt eine derartige Abänderung eines induktiven Erhitzens von einzelnen Zähnen eines Zahnrads, dass das Verfahren ein induktives Erhitzen und dann Abschreckhärten von einigen Zähnen gleichzeitig umfasst, während die übrigen Zähne zum Verhindern der Beeinträchtigung von zuvor gehärteten Zähnen gekühlt werden.

**[0009]** DE 694 31 291 T2, in welchem Dokument auf US 4 675 488 A Bezug genommen ist, betrifft ein Induktionserhitzen für das Einsatzhärten von Maschinenbauteilen wie Zahnrädern, wobei insbesondere eine Induktionshärtungsmaschine zum Randhärten eines Kegelrads angegeben ist.

**[0010]** Die vorliegende Erfindung stellt ein billiges

Verfahren zum Herstellen von Kegelrädern für Getriebe mit hohem MTM zur Verfügung, wie beispielsweise für Differentialgetriebe für Fahrzeuge mit Eigenantrieb (z. B. von einem mit einem Kleinrad gepaarten Großrad oder von einem Achswellenrad), und für Getriebe für kleinere Fahrzeuge, wie beispielsweise für Golfkarren und Rasenmäher. Das Kegelrad kann entweder ein geradverzahntes Kegelrad oder ein schrägverzahntes Kegelrad sein. Differentialgetriebe für Fahrzeuge mit Eigenantrieb sind normalerweise vom Typ eines geradverzahnten Kegelrads. Andere hierin hergestellte Getriebe können entweder vom Typ eines geradverzahnten Kegelrads oder eines schrägverzahnten Kegelrads sein.

**[0011]** Das vorliegende Verfahren weist die folgenden Schritte auf: Ausbilden eines Zwischenprodukts für ein Kegelrad mit Zähnen durch Schmieden eines metallischen Rohlings, bis ein Kegelrad mit im wesentlichen der Zahnkonfiguration und den Dimensionen des erwünschten Kegelrads erhalten wird, wobei der metallische Rohling einen Kohlenstoffgehalt von wenigstens etwa 0,4 Gewichts-% hat; und abschließend Härten der Zähne des Kegelrads durch eine Wirbelstromerwärmung bzw. Induktionshärten, um ein Getriebe mit relativ hoher Oberflächenhärte, z. B. Rockwell C50 oder darüber, und einem weicheren Kern mit einer Rockwell-Härte von etwa Rockwell C45 oder darunter zu erhalten.

**[0012]** Diese Erfindung stellt ein billiges Herstellungsverfahren zur Verfügung, das insbesondere für Differentialgetriebe, wie beispielsweise mit einem Kleinrad gepaarte Großräder und Achswellenräder, geeignet ist, und andere Getriebe, die nicht mit niedrigem MTM (unter 40 Mikroradian) hergestellt werden müssen, was die teuren Schritte einer spanabhebenden Formgebung bzw. einer End- bzw. Fertigbearbeitung und einer karbonisierenden Wärmebehandlung eliminiert.

**[0013]** In den Zeichnungen ist folgendes gezeigt:

**[0014]** [Fig. 1](#) ist ein Diagramm einer Ablaufübersicht über ein bevorzugtes Verfahren dieser Erfindung.

**[0015]** [Fig. 2](#) ist eine schematische Darstellung eines Teils eines Getriebe- bzw. Kegelradzahns, der gehärtete Bereiche zeigt.

**[0016]** [Fig. 3](#) ist eine Seitenansicht eines schrägverzahnten Kegelrads, das gemäß dem Verfahren dieser Erfindung vorbereitet werden kann.

**[0017]** Nun wird diese Erfindung detailliert unter Bezugnahme auf bevorzugte Ausführungsbeispiele einschließlich der besten Art und eines bevorzugten Ausführungsbeispiels dieser Erfindung beschrieben. Insbesondere erfolgt die Beschreibung hierin unter

Bezugnahme auf eine Ausbildung eines geradverzahnten Kegelrads für ein Differential für Fahrzeuge mit Eigenantrieb. Dieses geradverzahnte Kegelrad kann entweder ein mit einem Kleinrad gepaartes Großrad oder ein Achswellenrad sein, von welchen beide herkömmlicherweise innerhalb eines Differentialgehäuses angeordnet sind. Wie es früher angemerkt ist, ist die vorliegende Erfindung auch auf die Herstellung von anderen Getrieben "Ahigh MTM@" anwendbar, wie sie beispielsweise in leichteren Fahrzeugen verwendet werden, wie beispielsweise in Rasenmähern und Golfkarren.

**[0018]** Das Startmaterial für das vorliegende Verfahren ist ein Getrieberohling mit der Oberfläche einer Stahllegierung, die wenigstens etwa 0,4 Gewichts-% Kohlenstoff enthält, und vorzugsweise wenigstens etwa 0,45 Gewichts-% Kohlenstoff. Ein bevorzugter Kohlenstoffgehalt ist 0,5 Gewichts-%. Ein besonders bevorzugter Startstahl ist SAE 1050, der einen Kohlenstoffgehalt von 0,5 Gewichts-% hat. Eine weitere geeignete Stahllegierung ist AISI 8650, welche auch einen Kohlenstoffgehalt von 0,5 Gewichts-% hat.

**[0019]** Der erste Schritt, der in [Fig. 1](#) der Zeichnungen als Schritt A bezeichnet ist, besteht im Erhalten eines Getriebe geschmiedes bzw. Kegelrads **10**, das eine Vielzahl von Zähnen **12** an einer Außenumfangsfläche hat und das auch einen Steg **14** und ein zentrales Loch oder eine zentrale Bohrung **16** haben kann. Das im Schritt A erhaltene Geschmiede oder Getriebe-Zwischenprodukt bzw. Kegelrad hat Zähne **12**, die durch Schmieden zu im Wesentlichen der Konfiguration und den Dimensionen ausgebildet werden, die beim Getriebe-Endprodukt bzw. Getriebe-Produkt bzw. schließlich Kegelrad erforderlich sind, so dass keine weitere spanabhebende Formgebung bzw. Endbearbeitung oder kein weiteres Feinschleifen der Getriebe- bzw. Kegelradzähne erforderlich sein wird. Schmiedetechniken zum Erreichen dieses Maßes an Präzision sind bekannt. Maximale absolute und bevorzugte Abweichungen sind gemäß Toleranzen der American Gear Manufacturers Association (AGMA) class 6 [= der Klasse 6 der amerikanischen Getriebeherstellervereinigung].

**[0020]** Der zweite Schritt des Verfahrens ist in [Fig. 1](#) als Schritt B gezeigt und besteht in einer spanabhebenden Formgebung bei Bereichen des Getriebes bzw. Kegelrads **10** ohne Zähne. Diese Bereiche ohne Zähne, die einer spanabhebenden Formgebung unterzogen werden können, enthalten beispielsweise den Steg **14**, die Bohrung **16**, eine Montageschulter und einen Keil (mit Innendurchmesser) "AID@" (der an Seitengetrieben erforderlich ist). Wie es früher angegeben ist, ist keine spanabhebende Formgebung der Zähne **12** erforderlich, da diese derart geschmiedet worden sind, dass sie innerhalb der Genauigkeit sind, die beim Endprodukt nötig ist.

**[0021]** Der nächste Schritt, der in [Fig. 1](#) als Schritt C gezeigt ist, besteht im Erwärmen des Getriebes bzw. Kegelrads durch eine Wirbelstromerwärmung zum Härten der Zähne. Andere Bereiche des Kegelrads können gleichzeitig auch gehärtet werden, wenn es nötig ist. Dies kann durch Ausführen einer Wirbelstromerwärmung in einer Mehrfachfrequenz-Wirbelstromerwärmungsmaschine **20** durchgeführt werden, indem zuerst das Kegelrad einer niedrigeren Frequenz von etwa 10 Kilohertz (kHz) ausgesetzt wird, um das Kegelrad vorzuwärmen, darauffolgend einer höheren Frequenz von 50 kHz, um ein Aufwärmen des gesamten Kegelrads zu erhalten und um das erwünschte Härteprofil zu erhalten. Allgemeiner gesagt kann die niedrigere Frequenz von etwa 3 bis etwa 20 kHz sein, und vorzugsweise von etwa 3 bis etwa 10 kHz. Die höhere Frequenz kann von etwa 40 bis etwa 250 kHz sein, und vorzugsweise von etwa 40 bis zu etwa 60 kHz, und ist am meisten bevorzugt 50 kHz. Eine Wirbelstromerwärmungsmaschine, die für diesen Zweck geeignet ist, ist Ajax laboratory, hergestellt von Ajax Magnethermic aus Cleveland, Ohio. Ein bevorzugtes Härteprofil enthält eine Oberflächenhärte von wenigstens 50 auf der Rockwell-C-Skala (Rockwell C50), vorzugsweise Rockwell C60, und eine Kernhärte von nicht über Rockwell C45, vorzugsweise von Rockwell C25 bis Rockwell C40.

**[0022]** Das Vorwärmen, das zuerst bei einer niedrigeren Frequenz durchgeführt wird, von sagen wir 10 KHz, erwärmt das Kegelrad vom Kern in Richtung nach außen zur Oberfläche. Eine Wirbelstromerwärmung bei einer höheren Frequenz von, sagen wir, 50 kHz erwärmt das Kegelrad von der Oberfläche nach innen. Die Endtemperatur des Getriebes nach der Wirbelstromerwärmung bei 50 kHz sollte oberhalb der Austenitisierungstemperatur sein, die etwa 1700 EF ist.

**[0023]** Der Kohlenstoffgehalt des Getriebes bzw. Kegelrads ist vor und nach der Wirbelstromerwärmung im Wesentlichen derselbe. Als erstes wird keine Karbonisierungsatmosphäre verwendet. Als zweites ist die Wirbelstromerwärmung zu kurz für einen Kohlenstofftransfer, wie beispielsweise demjenigen, der während einer Karbonisierung stattfindet.

**[0024]** Das der Wirbelstromerwärmung unterzogene Getriebe bzw. Kegelrad wird in einem geeigneten Abschreckmedium abgeschreckt. Es kann ein kommerzielles Polymer-Wasser-Abschreckmedium verwendet werden. Die Verwendung eines solchen Abschreckmediums resultiert in einem schnellen Abkühlen, so dass die austenitische metallurgische Struktur in eine martensitische Struktur umgewandelt wird. Das resultierende abgeschreckte Getriebe bzw. Kegelrad hat die erwünschte Oberflächenhärte, d. h. wenigstens etwa Rockwell C50 und vorzugsweise wenigstens etwa Rockwell C60. Wasser wird als Abschreckmedium vermieden, weil ein Abschrecken mit

Wasser zu stark bzw. drastisch ist. Eine Luftkühlung wird nicht verwendet, weil sie zu langsam ist, was zulässt, dass das Getriebe bzw. Kegelrad zu einer unerwünschten metallurgischen Form (z. B. Martensit) zurückkehrt, die nicht die erwünschten Oberflächencharakteristiken hat.

**[0025]** Schließlich kann das im Schritt C erhaltene einer Wirbelstromerwärmung unterzogene geschmiedete Getriebe bzw. Kegelrad einer Endbearbeitung (in [Fig. 1](#) nicht gezeigt) unterzogen werden, wenn es erwünscht ist. Dieser Schritt ist optional und wird in den meisten Fällen weggelassen.

**[0026]** [Fig. 2](#) ist eine bruchstückartige Ansicht entlang der zentralen Achse des Getriebes bzw. Kegelrads **10**, die drei aufeinanderfolgende Getriebe- bzw. Kegelradzähne **12** schematisch zeigt. Die Zähne **12** haben einen gehärteten Oberflächenbereich **22** und einen Kern **24** mit niedrigerer Härte. Der gehärtete Oberflächenbereich oder die Schicht **22** kann eine Härte von wenigstens Rockwell C50 und von vorzugsweise wenigstens Rockwell C60 haben, und der Kern **24** kann eine Härte von nicht über Rockwell C45 und bevorzugt von Rockwell C25 bzw. Rockwell C40 haben, wie es zuvor angegeben ist.

**[0027]** Das vorliegende Verfahren ist unter besonderer Bezugnahme auf die Herstellung eines geradverzahnten Kegelrads beschrieben worden. Jedoch kann dieses Verfahren auch für die Herstellung eines schrägverzahnten Kegelrads verwendet werden, wie beispielsweise das schrägverzahnte Kegelrad **30**, das in [Fig. 3](#) gezeigt ist. Da die Struktur des schrägverzahnten Kegelrads **30** herkömmlich sein kann, wird sie nicht detailliert beschrieben werden.

**[0028]** Das vorliegende Verfahren ist ein ökonomisches Verfahren mit niedrigen Kosten, das insbesondere für die Herstellung von Getrieben bzw. Kegelrädern geeignet ist, die keine schweren Drehmomentenlasten tragen, wie beispielsweise von mit Kleinrädern gepaarten Großrädern und von Seitengetrieben bzw. Achswellenrädern für Differentiale für Fahrzeuge mit Eigenantrieb, sowie von Getrieben für leichte Fahrzeuge, wie beispielsweise Rasenmäher und Golfkarren, wie es zuvor angegeben ist. Die durch dieses Verfahren erhaltenen Getriebe bzw. Kegelräder erfüllen alle dimensionsmäßigen Anforderungen und alle Serviceanforderungen, die für solche Getriebe bzw. Kegelräder erforderlich sind, und werden mit viel niedrigerem Kostenaufwand erhalten, als es bei Verwendung gegenwärtig bekannter Verfahren möglich ist.

**[0029]** Während dieser Erfindung detailliert unter Bezugnahme auf die beste Art und das beste Ausführungsbeispiel beschrieben ist, sollte verstanden werden, dass diese Beschreibungen illustrativ und keineswegs beschränkend sind.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Kegelrads (**10**) ohne spanabhebende Fertigbearbeitung, welches Verfahren folgende zeitlich aufeinanderfolgende Schritte aufweist:

(a) Ausbilden eines Zwischenprodukts für ein Kegelrad mit Zähnen (**12**) durch Schmieden eines metallischen Rohlings, bis ein Kegelrad (**10**) mit im wesentlichen der Zahnkonfiguration und den Dimensionen des erwünschten Kegelrads (**10**) erhalten wird, wobei der metallische Rohling einen Kohlenstoffgehalt von wenigstens etwa 0,4 Gewichts-% hat; und abschließend

(b) Härten der Zähne (**12**) des Kegelrads (**10**) durch eine Wirbelstromerwärmung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Rohling aus Stahl einen Kohlenstoffgehalt von wenigstens etwa 0,45 Gewichts-% hat.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Stahl einen Kohlenstoffgehalt von wenigstens etwa 0,5 Gewichts-% hat.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Wirbelstromerwärmung eine Erwärmung bei einer ersten Frequenz von etwa 3 bis etwa 20 kHz und darauffolgend bei einer zweiten Frequenz von etwa 40 bis etwa 250 kHz aufweist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Kegelrads (**10**) eine Oberflächenhärte (**22**) von wenigstens etwa Rockwell C50 und eine Kernhärte (**24**) von nicht größer als Rockwell C45 hat.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

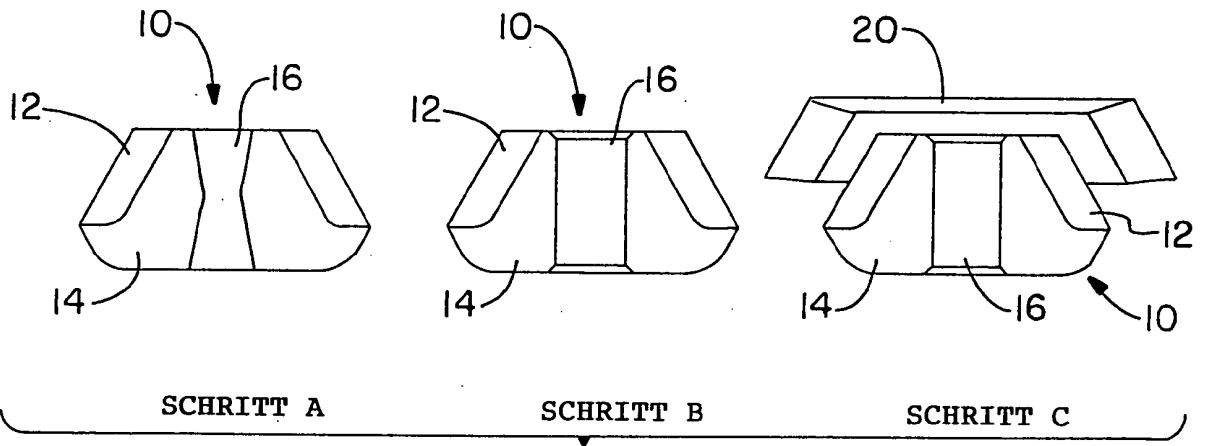


FIG.-1

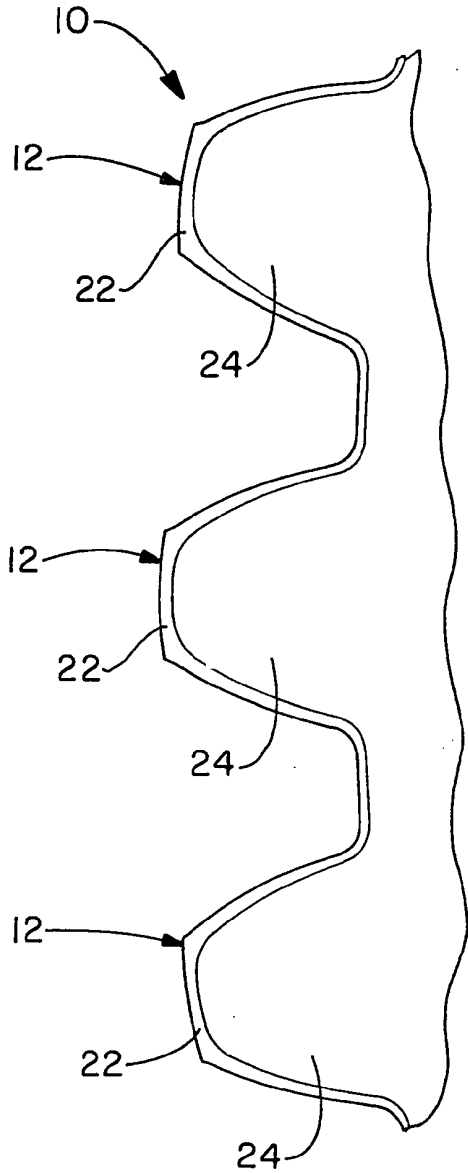


FIG.-2

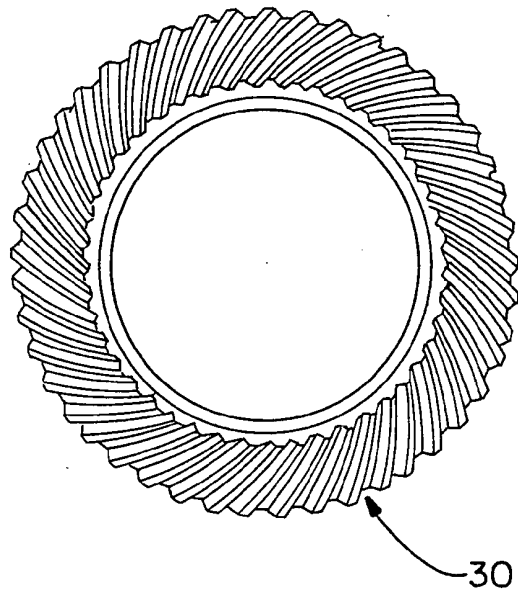


FIG.-3