

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2017-3068
(P2017-3068A)

(43) 公開日 平成29年1月5日(2017.1.5)

(51) Int.Cl.
F 1 6 F 7/00 (2006.01)

F 1
F 1 6 F 7/00
F 1 6 F 7/00

テーマコード (参考)
3 J 0 6 6
B
K

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2015-119932 (P2015-119932)	(71) 出願人	000005326
(22) 出願日	平成27年6月15日 (2015. 6. 15)		本田技研工業株式会社
			東京都港区南青山二丁目1番1号
		(74) 代理人	100071870
			弁理士 落合 健
		(74) 代理人	100097618
			弁理士 仁木 一明
		(74) 代理人	100152227
			弁理士 ▲ぬで▼島 慎二
		(72) 発明者	石塚 勇二
			埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
			社本田技術研究所内
		Fターム(参考)	3J066 AA02 AA23 BA03 BB01 BC01 BD05 BE01

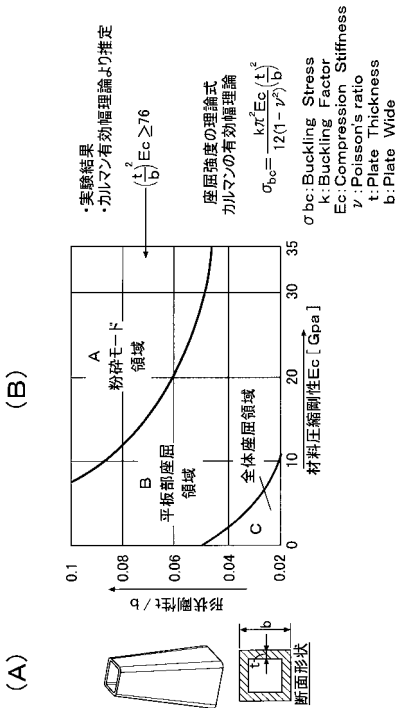
(54) 【発明の名称】 エネルギー吸収部材

(57) 【要約】

【課題】 製造が容易でありながら、温度に依存せずに高いエネルギー吸収性能を発揮可能エネルギー吸収部材を提供する。

【解決手段】 エネルギー吸収部材は、材料圧縮剛性 E_c が 100°C の温度下で $10\text{GPa} \sim 35\text{GPa}$ の範囲内にある熱可塑性繊維強化樹脂製の多角形状断面の中空体よりなり、軸方向荷重の入力時に粉碎モードで破壊するので、エネルギー吸収部材を高品質に射出成形することを可能にしながら、材料の強度や剛性が低下する高温下であってもエネルギー吸収部材を粉碎モードで圧壊してエネルギー吸収量を増加させることができる。断面の各辺の長さ b に対する板厚 t の比である形状剛性 t/b が、 $(t/b)^2 \cdot E_c \geq 76$ を満たせば、軸方向荷重の入力時にエネルギー吸収部材が粉碎モードで圧壊することを保証してエネルギー吸収量を増加させることができる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

材料圧縮剛性 E_c が 100°C の温度下で $10\text{GPa} \sim 35\text{GPa}$ の範囲内にある熱可塑性繊維強化樹脂製の多角形状断面の中空体よりなり、軸方向荷重の入力時に粉碎モードで破壊することを特徴とするエネルギー吸収部材。

【請求項 2】

前記多角形状断面の各辺の長さ b に対する板厚 t の比である形状剛性 t/b が、

$$(t/b)^2 \cdot E_c \geq 76$$

を満たすことを特徴とする、請求項 1 に記載のエネルギー吸収部材。

【請求項 3】

前記多角形状断面の隣接する 2 辺の成す角度が 150° 以下であることを特徴とする、請求項 1 または請求項 2 に記載のエネルギー吸収部材。

【請求項 4】

前記多角形状断面が正多角形であり、かつ前記多角形状断面の隣接する 2 辺の成す角度が $135^\circ \sim 154^\circ$ であることを特徴とする、請求項 1 または請求項 2 に記載のエネルギー吸収部材。

【請求項 5】

前記多角形状断面の辺は非直線のものを含むことを特徴とする、請求項 1 ～ 請求項 3 の何れか 1 項に記載のエネルギー吸収部材。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、自動車のバンパービームエクステンション（クラッシュカン）等に好適に使用可能な繊維強化樹脂製のエネルギー吸収部材に関する。

【背景技術】

【0002】

モータにより回転可能なコアを金型内に配置し、金型の内周面およびコアの外周面間に形成されたキャビティ内に強化繊維を含む熱可塑性樹脂を射出し、コアを回転させて熱可塑性樹脂を連れ回りさせることで、強化繊維が所定の方向に配向された円筒状のエネルギー吸収部材を製造するものが、下記特許文献 1、2 により公知である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開平 11 - 13806 号公報

【特許文献 2】特開 2000 - 240706 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、上記特許文献 1、2 に記載された熱可塑性樹脂をマトリクス樹脂とするエネルギー吸収部材は、射出成形が可能であるために安価に製造できるという利点を有するが、一般的に熱可塑性樹脂は材料特性として温度依存性が大きいいため、エネルギー吸収部材として使用するには問題がある。

【0005】

図 7 のグラフは、熱可塑性樹脂製のエネルギー吸収部材を水分の多い -30°C の環境と、水分の多い 90°C の環境とで圧縮試験したときのエネルギー吸収効率（単位重量当たりのエネルギー吸収量）を示すものである。このグラフから明らかなように、 90°C の環境では、 -30°C の環境に比べてエネルギー吸収効率が約 30% に低下することが分かる。よって、このエネルギー吸収部材を自動車のフロントサイドフレームおよびバンパービーム間に配置されるバンパービームエクステンション（クラッシュカン）として使用した場合に、気温によりエネルギー吸収効率が大きく変化するため、自動車の衝突時に

10

20

30

40

50

発生する車体減速度が変化してエアバッグを確実に展開させることが困難になったり、乗員を保護するのに必要なエネルギー吸収性能が得られなくなったりする可能性がある。

【 0 0 0 6 】

本発明は前述の事情に鑑みてなされたもので、製造が容易でありながら、温度に依存せずに高いエネルギー吸収性能を発揮可能エネルギー吸収部材を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

上記目的を達成するために、請求項 1 に記載された発明によれば、材料圧縮剛性 E_c が 100°C の温度下で $10\text{GPa} \sim 35\text{GPa}$ の範囲内にある熱可塑性繊維強化樹脂製の多角形状断面の中空体よりなり、軸方向荷重の入力時に粉碎モードで破壊することを特徴とするエネルギー吸収部材が提案される。

10

【 0 0 0 8 】

また請求項 2 に記載された発明によれば、請求項 1 に構成に加えて、前記多角形状断面の各辺の長さ b に対する板厚 t の比である形状剛性 t/b が、

$$(t/b)^2 \cdot E_c \geq 76$$

を満たすことを特徴とするエネルギー吸収部材が提案される。

【 0 0 0 9 】

また請求項 3 に記載された発明によれば、請求項 1 または請求項 2 に構成に加えて、前記多角形状断面の隣接する 2 辺の成す角度が 150° 以下であることを特徴とするエネルギー吸収部材が提案される。

20

【 0 0 1 0 】

また請求項 4 に記載された発明によれば、請求項 1 または請求項 2 に構成に加えて、前記多角形状断面が正多角形であり、かつ前記多角形状断面の隣接する 2 辺の成す角度が $135^\circ \sim 154^\circ$ であることを特徴とするエネルギー吸収部材が提案される。

【 0 0 1 1 】

また請求項 5 に記載された発明によれば、請求項 1 ～ 請求項 3 の何れか 1 項に構成に加えて、前記多角形状断面の辺は非直線のものを含むことを特徴とするエネルギー吸収部材が提案される。

30

【発明の効果】

【 0 0 1 2 】

請求項 1 の構成によれば、エネルギー吸収部材は、材料圧縮剛性 E_c が 100°C の温度下で $10\text{GPa} \sim 35\text{GPa}$ の範囲内にある熱可塑性繊維強化樹脂製の多角形状断面の中空体よりなり、軸方向荷重の入力時に粉碎モードで破壊するので、エネルギー吸収部材を高品質に射出成形することを可能にしながら、材料の強度や剛性が低下する高温下であってもエネルギー吸収部材を粉碎モードで圧壊してエネルギー吸収量を増加させることができる。

【 0 0 1 3 】

また請求項 2 の構成によれば、多角形状断面の各辺の長さ b に対する板厚 t の比である形状剛性 t/b が、 $(t/b)^2 \cdot E_c \geq 76$ を満たすので、軸方向荷重の入力時にエネルギー吸収部材が粉碎モードで圧壊することを保証してエネルギー吸収量を増加させることができる。

40

【 0 0 1 4 】

また請求項 3 の構成によれば、多角形状断面の隣接する 2 辺の成す角度が 150° 以下であるので、隣接する 2 辺が実質的に 1 辺として機能して形状剛性 t/b が半減するのを防止することで、エネルギー吸収効率を確保することができる。

【 0 0 1 5 】

また請求項 4 の構成によれば、多角形状断面が正多角形であり、かつ多角形状断面の隣接する 2 辺の成す角度が $135^\circ \sim 154^\circ$ であるので、従来の円形断面のエネルギー吸収部材に比べて高いエネルギー吸収部効率を確保することができる。

50

【 0 0 1 6 】

また請求項 5 の構成によれば、多角形状断面の辺は非直線のものを含むので、非直線の辺によりエネルギー吸収部材の断面積を拡大してエネルギー吸収量を増加させることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 7 】

【 図 1 】エネルギー吸収部材の形状剛性および材料圧縮剛性により決まる粉砕モード、平板部座屈モードおよび全体座屈モードの説明図。

【 図 2 】粉砕モードおよび平板部座屈モードのエネルギー吸収量の差の説明図。

【 図 3 】エネルギー吸収部材の断面の内角が形状剛性に及ぼす影響の説明図。

10

【 図 4 】正多角形断面の角数とエネルギー吸収効率との関係の説明図。

【 図 5 】正多角形断面の好適な角数の説明図。

【 図 6 】辺が非直線である多角形状断面の説明図。

【 図 7 】従来のエネルギー吸収部材のエネルギー吸収効率の温度依存性を示すグラフ

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 8 】

以下、図 1 ～ 図 6 に基づいて本発明の実施の形態を説明する。

【 0 0 1 9 】

図 1 (A) は、自動車の左右一対のフロントサイドフレームの前端にそれぞれ固定されてバンパービームの車幅方向両端部を支持する繊維強化樹脂製のバンパービームエクステンション（以下、エネルギー吸収部材という）を示すものである。エネルギー吸収部材は、フロントサイドフレーム側からバンパービーム側に向かってテーパする矩形状断面を有する中空部材からなり、カーボンやガラスの不連続繊維を強化繊維として含む熱可塑性樹脂を用いて射出成形される。

20

【 0 0 2 0 】

図 1 (B) のグラフは、横軸が 100°C におけるエネルギー吸収部材の材料圧縮剛性 $E_c [\text{GPa}]$ 、縦軸がエネルギー吸収部材の形状剛性 t/b であり、形状剛性 t/b はエネルギー吸収部材の厚さ t を 1 辺の長さ b で割った値で定義される。エネルギー吸収部材のエネルギー吸収特性は、粉砕モード領域 A と、平板部座屈領域 B と、全体座屈領域 C とに分類される。

30

【 0 0 2 1 】

粉砕モード領域 A は、形状剛性 t/b および材料圧縮剛性 E_c が共に大きい領域であり、軸方向の衝突荷重が入力したときにエネルギー吸収部材が粉砕するように圧壊する領域である。全体座屈領域 C は、形状剛性 t/b および材料圧縮剛性 E_c が共に小さい領域であり、軸方向の衝突荷重が入力したときにエネルギー吸収部材の全体が座屈するように圧壊する領域である。平板部座屈領域 B は、形状剛性 t/b および材料圧縮剛性 E_c に挟まれた領域であり、軸方向の衝突荷重が入力したときにエネルギー吸収部材の平板部分が座屈しながら稜線部分で割れるように圧壊する領域である。

【 0 0 2 2 】

本発明のエネルギー吸収部材は、形状剛性 t/b および材料圧縮剛性 E_c を粉砕モード領域 A に設定することで高いエネルギー吸収性能を得るものである。粉砕モード領域 A は、

40

$$(t/b)^2 \cdot E_c \geq 76$$

を満たす領域として定義される。上式は、実験結果と座屈強度の理論式であるカルマンの有効幅理論とから求められる。

【 0 0 2 3 】

材料圧縮剛性 E_c が 10GPa 以下の低剛性材料を使用すると、形状剛性 t/b を確保するために板厚 t を大きくすることが必要になるが、板厚 t が $6\text{mm} \sim 7\text{mm}$ を超えると成形不良が発生するため、材料圧縮剛性 E_c が 10GPa 以下では粉砕モード領域 A を実現することは困難である。逆に、材料圧縮剛性 E_c が 50GPa 以上になると射出成形自

50

体が不能になるため、高品質な射出成形を可能にするには、材料圧縮剛性 E_c が 35 GPa 以下であることが望ましい。

【0024】

材料圧縮剛性 E_c が、射出成形が可能になる上限値である 50 GPa のとき、形状剛性 t/b を $0.045 \sim 1.76 \sqrt{(\sigma_c / E_c)}$ の範囲に設定することで、軸方向荷重の入力時にエネルギー吸収部材を粉砕モードで圧壊することができる。形状剛性 t/b の上記範囲は、座屈強度の理論式であるカルマンの有効幅理論から求めることが可能である（図1参照）。尚、 σ_c はエネルギー吸収部材の圧縮強度であり、材料圧縮剛性 E_c は JIS K 7181 に基づき、樹脂および強化繊維を圧縮方向に流動させた試験片を 100°C の絶乾状態で圧縮したときの圧縮剛性率である。

10

【0025】

図2は、粉砕モード領域Aにある四角錐台状のエネルギー吸収部材（実施の形態）と、平板部座屈領域Bにある四角錐台状のエネルギー吸収部材（比較例）とのエネルギー吸収性能を比較するものである。実施の形態は、形状剛性 t/b が 0.1 （先端部） ~ 0.06 （基端部）であり、マトリクス樹脂であるMXD6（ポリアミド）にカーボン短繊維を40重量%含むものである。また比較例は、形状剛性 t/b が 0.038 （先端部） ~ 0.02 （基端部）であり、マトリクス樹脂であるPA6（ポリフェニレンスルファイド）にカーボン短繊維を30重量%含むものである。両者とも、 -30°C の状態に比べて 100°C の状態で圧縮剛性 E_c および圧縮強度 σ_c が大幅に低下するが、エネルギー吸収量は、実施の形態では -30°C の状態に比べて 100°C の状態でむしろ増加するのに対し、比較例では -30°C の状態に比べて 100°C の状態で大幅に減少する。その理由は、比較例のエネルギー吸収部材は、 100°C の状態で圧壊のストロークに対する荷重の特性が大幅に減少するためである。

20

【0026】

以上のように、本実施の形態によれば、圧縮剛性 E_c および圧縮強度 σ_c に温度依存性がある材料を用いても、形状剛性 t/b および材料圧縮剛性 E_c が粉砕モード領域Aにあれば、そのときの温度に殆ど影響を受けることなく、衝突荷重の入力時にエネルギー吸収部材を粉砕して高いエネルギー吸収効果を得ることができる。

【0027】

次に、エネルギー吸収部材の断面形状について考察する。

30

【0028】

図3(A)示すように、多角形断面の隣接する二つの辺に挟まれた内角 θ が例えば $90^\circ \sim 135^\circ$ であるとき、二つの辺は稜線によって分離されて別個の辺として機能する。しかしながら、図3(B)示すように、多角形断面の二つの辺に挟まれた内角 θ が例えば 140° であるとき、二つの辺は僅かに屈曲する実質的に一つの辺として機能するため、辺の長さ b が実質的に2倍の $2b$ になって形状剛性 t/b が半分に減少してしまい、形状剛性 t/b および材料圧縮剛性 E_c の関係が粉砕モード領域Aに入り難くなる。

【0029】

図4(A)の表は、エネルギー吸収部材の断面形状が同一の形状剛性 t/b を有する正多角形である場合の、隣接する二つの辺に挟まれた内角 θ と、エネルギー吸収効率と、正四角形断面のエネルギー吸収量を 1.00 としたときの他の正多角形断面のエネルギー吸収量とを示すものである。この表から明らかなように、正多角形断面の角数が増加するほど内角 θ は増加し、エネルギー吸収効率およびエネルギー吸収量は減少する。

40

【0030】

図4(B)のグラフは、正多角形断面の内角 θ とエネルギー吸収効率との関係を示すものである。正四角形断面（内角 $\theta = 90^\circ$ ）から正八角形断面（内角 $\theta = 135^\circ$ ）まではエネルギー吸収効率が略一定であるが、正十角形以上の正多角形断面になるとエネルギー吸収効率が急激に低下する。

【0031】

以上の説明は形状剛性 $t/b = 0.5$ の場合に対応するが、粉砕モード領域Aに対応す

50

る $t/b = 0.045 \sim 1.76 \sqrt{(\sigma_c/E_c)}$ の場合には、エネルギー吸収効率が急激に低下する内角 θ が、上記 135° から $135^\circ \sim 150^\circ$ に増加する。その理由は、形状剛性 t/b が $1.76 \sqrt{(\sigma_c/E_c)}$ に向けて増加すると、エネルギー吸収部材の板厚 t が増加して座屈強度が向上するからである。

【0032】

図5(A)に示すように、直径 D の円に内接する正多角形断面のエネルギー吸収部材が一定の板厚 t を備える場合、その角数に応じてエネルギー吸収効率が変化する。即ち、図5(B)の表から明らかなように、エネルギー吸収部材が直径 D を有する板厚 t の円形断面である場合には、エネルギー吸収効率は $47.6 [J/g]$ となる。この円形断面のエネルギー吸収部材よりも高いエネルギー吸収効率を得るには、エネルギー吸収部材が正八角形断面～正十四角形断面であることが、つまり正多角形断面の内角 θ が $135^\circ \sim 154^\circ$ であることが必要である。言い換えると、図5(C)のグラフから明らかなように、内角 θ が $135^\circ \sim 154^\circ$ の正多角形断面のエネルギー吸収部材は、それに外接する円形断面のエネルギー吸収部材よりも高いエネルギー吸収効率を得ることができる。

10

【0033】

本発明のエネルギー吸収部材の断面形状は、図6(A)に示すように、必ずしも各辺が直線で構成された多角形である必要はなく、図6(B)に示すように、外側に弧状に湾曲する非直線であっても良い。但し、直線の辺と非直線の辺とが交差する交差部は稜線を構成し、交差部の内角 θ は前述した 150° 以下であることが必要である。

【0034】

20

このように、多角形状の断面の何れかの辺を外側に凸に湾曲する非直線で構成することで、非直線の辺によってエネルギー吸収部材の断面積を大きくして形状剛性を増加することができる。

【0035】

以上、本発明の実施の形態を説明したが、本発明はその要旨を逸脱しない範囲で種々の設計変更を行うことが可能である。

【0036】

例えば、本発明のエネルギー吸収部材の用途は自動車のバンパービームエクステンションに限定されるものではない。

【0037】

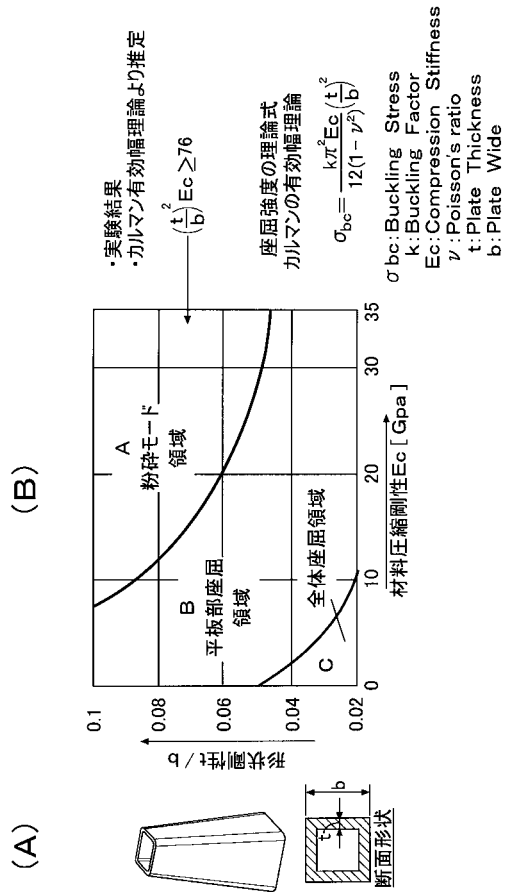
30

またエネルギー吸収部材の断面形状は実施の形態に示したものに限定されず、星形等を含むものとする。

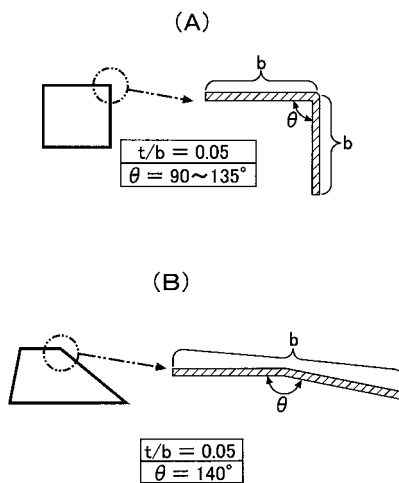
【0038】

またエネルギー吸収部材のマトリクス樹脂はMXD6(ポリアミド)に限定されず、PPS(ポリフェニレンスルファイド)やPA9T(ポリアミド)等であっても良い。

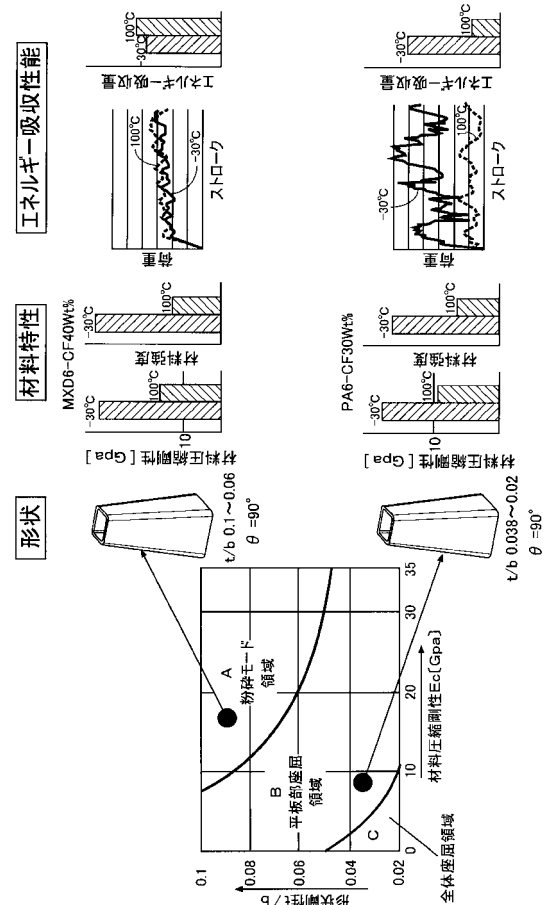
【図 1】



【図 3】



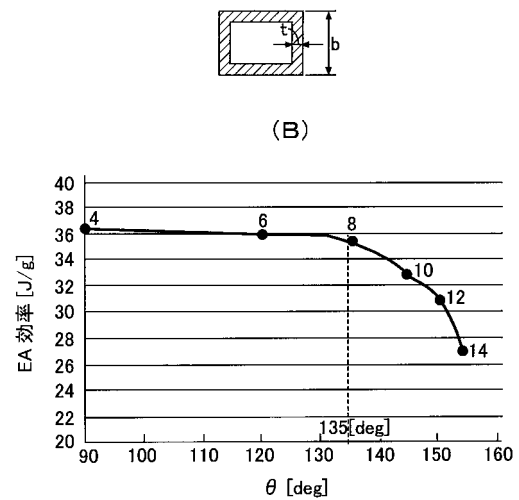
【図 2】



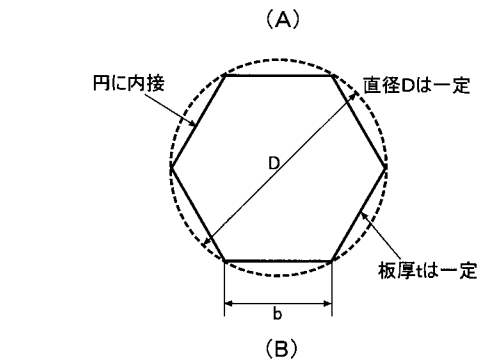
【図 4】

(A)

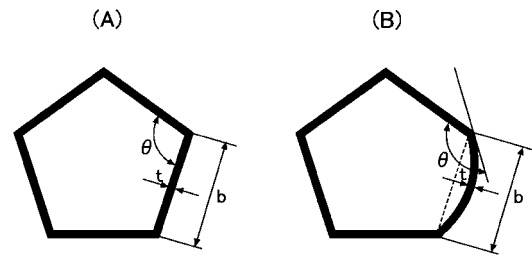
角数	b [mm]	t [mm]	t/b	θ [deg]	EA効率 [J/g]	EA低下率 β
4	30.0	1.5	0.05	90	36.4	1.00
6	30.0	1.5	0.05	120	36.0	0.99
8	30.0	1.5	0.05	135	35.5	0.97
10	30.0	1.5	0.05	144	32.9	0.90
12	30.0	1.5	0.05	150	31.0	0.85
14	30.0	1.5	0.05	154	27.0	0.74



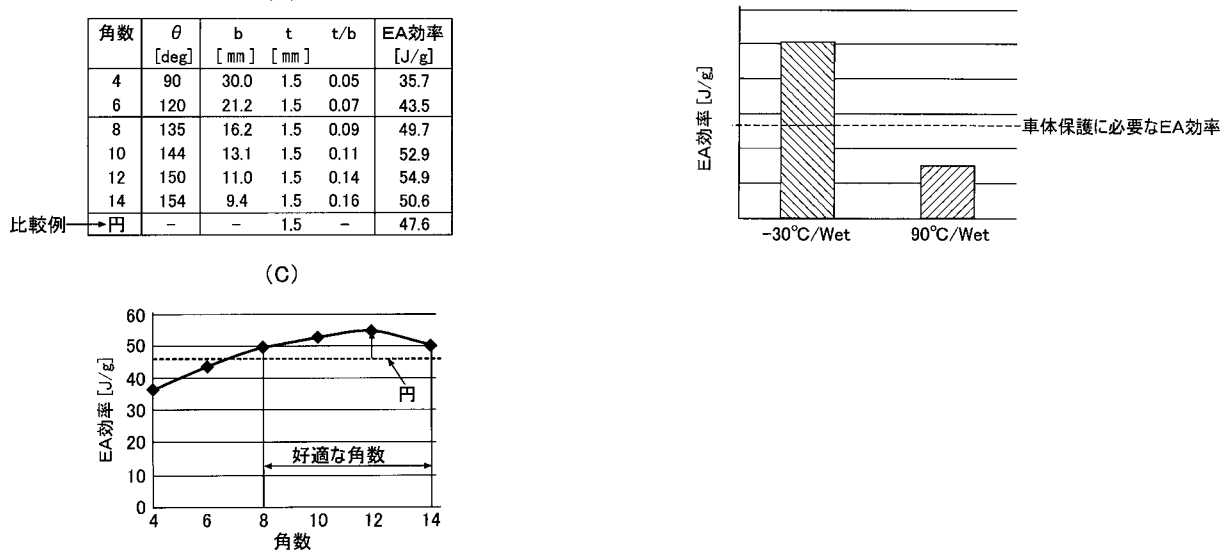
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【手続補正書】

【提出日】平成27年6月30日(2015.6.30)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、自動車のバンパービームエクステンション（クラッシュカン）等に好適に使用可能な繊維強化樹脂製のエネルギー吸収部材に関する。

【背景技術】

【0002】

モータにより回転可能なコアを金型内に配置し、金型の内周面およびコアの外周面間に形成されたキャビティ内に強化繊維を含む熱可塑性樹脂を射出し、コアを回転させて熱可塑性樹脂を連れ回りさせることで、強化繊維が所定の方に配向された円筒状のエネルギー吸収部材を製造するものが、下記特許文献1、2により公知である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開平11-13806号公報

【特許文献2】特開2000-240706号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

ところで、上記特許文献 1、2 に記載された熱可塑性樹脂をマトリクス樹脂とするエネルギー吸収部材は、射出成形が可能であるために安価に製造できるという利点を有するが、一般的に熱可塑性樹脂は材料特性として温度依存性が大きいため、エネルギー吸収部材として使用するには問題がある。

【 0 0 0 5 】

図 7 のグラフは、熱可塑性樹脂製のエネルギー吸収部材を水分の多い - 3 0 ° C の環境と、水分の多い 9 0 ° C の環境とで圧縮試験したときのエネルギー吸収効率（単位重量当たりのエネルギー吸収量）を示すものである。このグラフから明らかなように、9 0 ° C の環境では、- 3 0 ° C の環境に比べてエネルギー吸収効率が約 3 0 % に低下することが分かる。よって、このエネルギー吸収部材を自動車のフロントサイドフレームおよびバンパービーム間に配置されるバンパービームエクステンション（クラッシュカン）として使用した場合に、気温によりエネルギー吸収効率が大きく変化するため、自動車の衝突時に発生する車体減速度が変化してエアバッグを確実に展開させることが困難になったり、乗員を保護するのに必要なエネルギー吸収性能が得られなくなったりする可能性がある。

【 0 0 0 6 】

本発明は前述の事情に鑑みてなされたもので、製造が容易でありながら、温度に依存せず高いエネルギー吸収性能を発揮可能エネルギー吸収部材を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

上記目的を達成するために、請求項 1 に記載された発明によれば、材料圧縮剛性 E_c が 1 0 0 ° C の温度下で 1 0 G P a ~ 3 5 G P a の範囲内にある熱可塑性繊維強化樹脂製の多角形状断面の中空体よりなり、軸方向荷重の入力時に粉碎モードで破壊することを特徴とするエネルギー吸収部材が提案される。

【 0 0 0 8 】

また請求項 2 に記載された発明によれば、請求項 1 に構成に加えて、前記多角形状断面の各辺の長さ b に対する板厚 t の比である形状剛性 t / b が、

$$(t / b)^2 \cdot E_c \geq 76$$

を満たすことを特徴とするエネルギー吸収部材が提案される。

【 0 0 0 9 】

また請求項 3 に記載された発明によれば、請求項 1 または請求項 2 に構成に加えて、前記多角形状断面の隣接する 2 辺の成す角度が 1 5 0 ° 以下であることを特徴とするエネルギー吸収部材が提案される。

【 0 0 1 0 】

また請求項 4 に記載された発明によれば、請求項 1 または請求項 2 に構成に加えて、前記多角形状断面が正多角形であり、かつ前記多角形状断面の隣接する 2 辺の成す角度が 1 3 5 ° ~ 1 5 4 ° であることを特徴とするエネルギー吸収部材が提案される。

【 0 0 1 1 】

また請求項 5 に記載された発明によれば、請求項 1 ~ 請求項 3 の何れか 1 項に構成に加えて、前記多角形状断面の辺は非直線のものを含むことを特徴とするエネルギー吸収部材が提案される。

【発明の効果】

【 0 0 1 2 】

請求項 1 の構成によれば、エネルギー吸収部材は、材料圧縮剛性 E_c が 1 0 0 ° C の温度下で 1 0 G P a ~ 3 5 G P a の範囲内にある熱可塑性繊維強化樹脂製の多角形状断面の中空体よりなり、軸方向荷重の入力時に粉碎モードで破壊するので、エネルギー吸収部材を高品質に射出成形することを可能にしながら、材料の強度や剛性が低下する高温下であってもエネルギー吸収部材を粉碎モードで圧壊してエネルギー吸収量を増加させることができる。

【 0 0 1 3 】

また請求項 2 の構成によれば、多角形状断面の各辺の長さ b に対する板厚 t の比である形状剛性 t/b が、 $(t/b)^2 \cdot E_c \geq 76$ を満たすので、軸方向荷重の入力時にエネルギー吸収部材が粉砕モードで圧壊することを保証してエネルギー吸収量を増加させることができる。

【 0 0 1 4 】

また請求項 3 の構成によれば、多角形状断面の隣接する 2 辺の成す角度が 150° 以下であるので、隣接する 2 辺が実質的に 1 辺として機能して形状剛性 t/b が半減するのを防止することで、エネルギー吸収効率を確保することができる。

【 0 0 1 5 】

また請求項 4 の構成によれば、多角形状断面が正多角形であり、かつ多角形状断面の隣接する 2 辺の成す角度が $135^\circ \sim 154^\circ$ であるので、従来の円形断面のエネルギー吸収部材に比べて高いエネルギー吸収効率を確保することができる。

【 0 0 1 6 】

また請求項 5 の構成によれば、多角形状断面の辺は非直線のものを含むので、非直線の辺によりエネルギー吸収部材の断面積を拡大してエネルギー吸収量を増加させることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 7 】

【 図 1 】 エネルギー吸収部材の形状剛性および材料圧縮剛性により決まる粉砕モード、平板部座屈モードおよび全体座屈モードの説明図。

【 図 2 】 粉砕モードおよび平板部座屈モードのエネルギー吸収量の差の説明図。

【 図 3 】 エネルギー吸収部材の断面の内角が形状剛性に及ぼす影響の説明図。

【 図 4 】 正多角形断面の角数とエネルギー吸収効率との関係の説明図。

【 図 5 】 正多角形断面の好適な角数の説明図。

【 図 6 】 辺が非直線である多角形状断面の説明図。

【 図 7 】 従来のエネルギー吸収部材のエネルギー吸収効率の温度依存性を示すグラフ

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 8 】

以下、図 1 ～ 図 6 に基づいて本発明の実施の形態を説明する。

【 0 0 1 9 】

図 1 (A) は、自動車の左右一対のフロントサイドフレームの前端にそれぞれ固定されてバンパービームの車幅方向両端部を支持する繊維強化樹脂製のバンパービームエクステンション (以下、エネルギー吸収部材という) を示すものである。エネルギー吸収部材は、フロントサイドフレーム側からバンパービーム側に向かってテーパする矩形状断面を有する中空部材からなり、カーボンやガラスの不連続繊維を強化繊維として含む熱可塑性樹脂を用いて射出成形される。

【 0 0 2 0 】

図 1 (B) のグラフは、横軸が 100°C におけるエネルギー吸収部材の材料圧縮剛性 $E_c [\text{GPa}]$ 、縦軸がエネルギー吸収部材の形状剛性 t/b であり、形状剛性 t/b はエネルギー吸収部材の厚さ t を 1 辺の長さ b で割った値で定義される。エネルギー吸収部材のエネルギー吸収特性は、粉砕モード領域 A と、平板部座屈領域 B と、全体座屈領域 C とに分類される。

【 0 0 2 1 】

粉砕モード領域 A は、形状剛性 t/b および材料圧縮剛性 E_c が共に大きい領域であり、軸方向の衝突荷重が入力したときにエネルギー吸収部材が粉砕するように圧壊する領域である。全体座屈領域 C は、形状剛性 t/b および材料圧縮剛性 E_c が共に小さい領域であり、軸方向の衝突荷重が入力したときにエネルギー吸収部材の全体が座屈するように圧壊する領域である。平板部座屈領域 B は、形状剛性 t/b および材料圧縮剛性 E_c に挟まれた領域であり、軸方向の衝突荷重が入力したときにエネルギー吸収部材の平板部分が座

屈しながら稜線部分で割れるように圧壊する領域である。

【0022】

本発明のエネルギー吸収部材は、形状剛性 t/b および材料圧縮剛性 E_c を粉砕モード領域 A に設定することで高いエネルギー吸収性能を得るものである。粉砕モード領域 A は、

$$(t/b)^2 \cdot E_c \geq 76$$

を満たす領域として定義される。上式は、実験結果と座屈強度の理論式であるカルマンの有効幅理論とから求められる。

【0023】

材料圧縮剛性 E_c が 10 GPa 以下の低剛性材料を使用すると、形状剛性 t/b を確保するために板厚 t を大きくすることが必要になるが、板厚 t が $6 \text{ mm} \sim 7 \text{ mm}$ を超えると成形不良が発生するため、材料圧縮剛性 E_c が 10 GPa 以下では粉砕モード領域 A を実現することは困難である。逆に、材料圧縮剛性 E_c が 50 GPa 以上になると射出成形自体が不能になるため、高品質な射出成形を可能にするには、材料圧縮剛性 E_c が 35 GPa 以下であることが望ましい。

【0024】

材料圧縮剛性 E_c が、射出成形が可能になる上限値である 50 GPa のとき、形状剛性 t/b を 0.05 以上 に設定することで、軸方向荷重の入力時にエネルギー吸収部材を粉砕モードで圧壊することができる。形状剛性 t/b の上記範囲は、座屈強度の理論式であるカルマンの有効幅理論から求めることが可能である（図1参照）。

【0025】

図2は、粉砕モード領域 A にある四角錐台状のエネルギー吸収部材（実施の形態）と、平板部座屈領域 B にある四角錐台状のエネルギー吸収部材（比較例）とのエネルギー吸収性能を比較するものである。実施の形態は、形状剛性 t/b が 0.1 （先端部） ~ 0.06 （基端部）であり、マトリクス樹脂である M X D 6（ポリアミド）にカーボン短繊維を 40 重量%含むものである。また比較例は、形状剛性 t/b が 0.038 （先端部） ~ 0.02 （基端部）であり、マトリクス樹脂である P A 6（ポリフェニレンスルファイド）にカーボン短繊維を 30 重量%含むものである。両者とも、 -30°C の状態に比べて 100°C の状態で圧縮剛性 E_c および圧縮強度 σ_c が大幅に低下するが、エネルギー吸収量は、実施の形態では -30°C の状態に比べて 100°C の状態でむしろ増加するのに対し、比較例では -30°C の状態に比べて 100°C の状態で大幅に減少する。その理由は、比較例のエネルギー吸収部材は、 100°C の状態で圧壊のストロークに対する荷重の特性が大幅に減少するためである。

【0026】

以上のように、本実施の形態によれば、圧縮剛性 E_c および圧縮強度 σ_c に温度依存性がある材料を用いても、形状剛性 t/b および材料圧縮剛性 E_c が粉砕モード領域 A にあれば、そのときの温度に殆ど影響を受けることなく、衝突荷重の入力時にエネルギー吸収部材を粉砕して高いエネルギー吸収効果を得ることができる。

【0027】

次に、エネルギー吸収部材の断面形状について考察する。

【0028】

図3（A）示すように、多角形断面の隣接する二つの辺に挟まれた内角 θ が例えば $90^\circ \sim 135^\circ$ であるとき、二つの辺は稜線によって分離されて別個の辺として機能する。しかしながら、図3（B）示すように、多角形断面の二つの辺に挟まれた内角 θ が例えば 140° であるとき、二つの辺は僅かに屈曲する実質的に一つの辺として機能するため、辺の長 b さが実質的に2倍の $2b$ になって形状剛性 t/b が半分に減少してしまい、形状剛性 t/b および材料圧縮剛性 E_c の関係が粉砕モード領域 A に入り難くなる。

【0029】

図4（A）の表は、エネルギー吸収部材の断面形状が同一の形状剛性 t/b を有する正多角形である場合の、隣接する二つの辺に挟まれた内角 θ と、エネルギー吸収効率と、正

四角形断面のエネルギー吸収量を 1.00 としたときの他の正多角形断面のエネルギー吸収量とを示すものである。この表から明らかなように、正多角形断面の角数が増加するほど内角 θ は増加し、エネルギー吸収効率およびエネルギー吸収量は減少する。

【0030】

図 4 (B) のグラフは、正多角形断面の内角 θ とエネルギー吸収効率との関係を示すものである。正四角形断面 (内角 $\theta = 90^\circ$) から正八角形断面 (内角 $\theta = 135^\circ$) まではエネルギー吸収効率が略一定であるが、正十角形以上の正多角形断面になるとエネルギー吸収効率が急激に低下する。

【0031】

以上の説明は形状剛性 $t/b = 0.05$ の場合に対応するが、粉碎モード領域 A に対応する $t/b = 0.05$ 以上の場合には、エネルギー吸収効率が急激に低下する内角 θ が、上記 135° から $135^\circ \sim 150^\circ$ に増加する。その理由は、形状剛性 t/b が増加すると、エネルギー吸収部材の板厚 t が増加して座屈強度が向上するからである。

【0032】

図 5 (A) に示すように、直径 D の円に内接する正多角形断面のエネルギー吸収部材が一定の板厚 t を備える場合、その角数に応じてエネルギー吸収効率に変化する。即ち、図 5 (B) の表から明らかなように、エネルギー吸収部材が直径 D を有する板厚 t の円形断面である場合には、エネルギー吸収効率は $47.6 [\text{J/g}]$ となる。この円形断面のエネルギー吸収部材よりも高いエネルギー吸収効率を得るには、エネルギー吸収部材が正八角形断面～正十四角形断面であることが、つまり正多角形断面の内角 θ が $135^\circ \sim 154^\circ$ であることが必要である。言い換えると、図 5 (C) のグラフから明らかなように、内角 θ が $135^\circ \sim 154^\circ$ の正多角形断面のエネルギー吸収部材は、それに外接する円形断面のエネルギー吸収部材よりも高いエネルギー吸収効率を得ることができる。

【0033】

本発明のエネルギー吸収部材の断面形状は、図 6 (A) に示すように、必ずしも各辺が直線で構成された多角形である必要はなく、図 6 (B) に示すように、外側に弧状に湾曲する非直線であっても良い。但し、直線の辺と非直線の辺とが交差する交差部は稜線を構成し、交差部の内角 θ は前述した 150° 以下であることが必要である。

【0034】

このように、多角形状の断面の何れかの辺を外側に凸に湾曲する非直線で構成することで、非直線の辺によってエネルギー吸収部材の断面積を大きくして形状剛性を増加することができる。

【0035】

以上、本発明の実施の形態を説明したが、本発明はその要旨を逸脱しない範囲で種々の設計変更を行うことが可能である。

【0036】

例えば、本発明のエネルギー吸収部材の用途は自動車のバンパービームエクステンションに限定されるものではない。

【0037】

またエネルギー吸収部材の断面形状は実施の形態に示したものに限定されず、星形等を含むものとする。

【0038】

またエネルギー吸収部材のマトリクス樹脂は M X D 6 (ポリアミド) に限定されず、P S (ポリフェニレンスルファイド) や P A 9 T (ポリアミド) 等であっても良い。