

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6630480号
(P6630480)

(45) 発行日 令和2年1月15日 (2020.1.15)

(24) 登録日 令和1年12月13日 (2019.12.13)

(51) Int. Cl.	F I
C O 8 J 5/24 (2006.01)	C O 8 J 5/24 C E R
B 2 9 K 105/08 (2006.01)	C O 8 J 5/24 C E Z
B 2 9 L 31/30 (2006.01)	B 2 9 K 105:08
	B 2 9 L 31:30

請求項の数 8 外国語出願 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2015-43434 (P2015-43434)	(73) 特許権者	500520743
(22) 出願日	平成27年3月5日 (2015.3.5)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公開番号	特開2015-183186 (P2015-183186A)		The Boeing Company
(43) 公開日	平成27年10月22日 (2015.10.22)		アメリカ合衆国、60606-2016
審査請求日	平成30年2月26日 (2018.2.26)		イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(31) 優先権主張番号	14/219,737	(74) 代理人	100086380
(32) 優先日	平成26年3月19日 (2014.3.19)		弁理士 吉田 稔
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(74) 代理人	100103078
			弁理士 田中 達也
		(74) 代理人	100130650
			弁理士 鈴木 泰光
		(74) 代理人	100135389
			弁理士 臼井 尚

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 一時的に縫合されたプリフォームを用いた複合積層体の製造

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複合構造体を製造する方法であって、
 プリブレグ層をまとめてステッチにて縫合して、異なる繊維配向のトウを有するプリブレグ層の縫合スタックを形成することと、
 プリブレグ層の前記縫合スタックを熱硬化することと、
 プリブレグ層の前記縫合スタックの熱硬化中に、前記縫合のステッチを融解することと、
を含み、
 前記縫合スタックを形成するにあたって、各ステッチが前記トウに巻き付いて、前記縫合スタックを斜めに横切って延伸するようにした、方法。

【請求項 2】

前記プリブレグ層を組み立ててスタックを形成することを更に含み、
 前記プリブレグ層はそれぞれ樹脂粘着性を有し、前記プリブレグ層を組み立てて前記スタックを形成することは、前記縫合が行われている間、前記樹脂粘着性を利用して前記層を互いに付着させ、前記プリブレグ層の前記層配向を維持することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記スタックは厚みを有し、前記プリブレグ層の縫合は、前記ステッチが、前記スタックの前記厚みを実質的に貫通するように行われる、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

10

20

前記プリプレグ層を組み立ててスタックを形成することは、
プリプレグトウを敷設することと、
前記層毎に、前記トウの前記繊維配向を異ならせることと、を含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 5】

前記ステッチの融解は、プリプレグ層の前記縫合スタックが完全に硬化する前に行う、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

プリプレグ層の前記縫合スタックを、前記複合構造体の前記形状に対応する所望の形状に成形することを更に含む、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 7】

プリプレグ層の前記縫合スタックの成形は、前記プリプレグ層を互いに縫合する前に行う、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

プリプレグ層の前記縫合スタックの成形は、前記プリプレグ層を互いに縫合した後に行う、請求項 6 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、一般的には、複合積層構造体の製造に用いられるプリフォームに関し、特に、一時的に縫合されたプリフォームに関する。

20

【背景技術】

【0002】

高性能複合構造体は、プリプレグの層をレイアップするか、又は乾燥繊維に樹脂を注入して製造することができる。繊維は、一方向、織込み、又は網組みのいずれかの形態の繊維である。いくつかの用途では、レイアップの時間を削減するために、縫合材料を用いて隣接する繊維層を互いに縫合することがあるが、この材料は、構造体を硬化した後も、完成した構造体にそのまま残る。層同士を縫合することで、一層毎ではなく、層グループ単位でツール (tool) 上にレイアップすることができるため、レイアップ処理の効率を高めることができる。一方向強化繊維から形成された縫合繊維層の成形は比較的容易であるため、曲がり大きい構造体の形成に適している。しかしながら、縫合繊維層を用いて製造された構造体は、その強度及び耐亀裂性が、所定のレベルに達していない場合がある。

30

【0003】

したがって、縫合繊維層を用いて複合構造体を製造する方法であって、硬化した構造体に縫合材料が残存するのを解消又は低減する方法が求められている。また、縫合積層プリプレグ、又は、樹脂注入に適した縫合繊維層を用いて組み立てられる構造体の製造に使用可能なプリフォームが求められている。

【発明の概要】

【0004】

開示する実施形態は、縫合多層プリフォームを用いて、複合積層構造体を製造する方法を提供する。一実施形態において、上記プリフォームは、プリプレグの硬化中に融解するステッチ材料を用いて、一方向プリプレグの層をまとめて縫合することにより形成される。他の実施形態において、上記プリフォームは、繊維層への注入用樹脂の硬化中に融解するステッチ材料を用いて、ファイバ層を縫合することにより形成される。硬化処理中にステッチ材料が融解することにより、効果的にステッチが溶解し、ステッチと強化繊維との間でクリンプが発生することを防止する。ステッチが溶解することで、硬化構造体において繊維のクリンプにより生じる応力集中が軽減又は排除され、複合積層構造体の機械性能を向上させるとともに、積層体で生じうる亀裂伝播を低減することができる。縫合多層プリフォームを用いると、繊維強化材からなる複数の層のレイアップ及び形成を同時に行うことができ、生産効率を向上させることができる。

40

50

【 0 0 0 5 】

開示する一実施形態によると、複合構造体を製造する方法が提供される。プリプレグ層はまとめて縫合され、異なる繊維配向を有するプリプレグ層の縫合スタックが形成され、このプリプレグ層の縫合スタックは熱硬化される。プリプレグ層の縫合スタックの熱硬化中に、上記縫合のステッチが融解する。上記方法は、プリプレグ層を組み立ててスタックを形成することを更に含んでもよく、プリプレグ層は、それぞれ樹脂粘着性を有し、プリプレグ層を組み立ててスタックを形成することは、上記縫合が行われている間、樹脂粘着性を利用してこれらの層を互いに付着させ、プリプレグ層の層配向を維持することを含む。プリプレグ層の縫合は、スタックの厚みを実質的に貫通するステッチを用いて行われる。プリプレグ層を組み立ててスタックを形成することは、プリプレグトウを敷設することと、層毎に、トウの繊維配向を異ならせることと、を含む。上記方法は、真空下で、縫合スタックを収縮（debulking）、一体化（consolidating）、及び硬化することを更に含んでもよい。ステッチの融解は、プリプレグ層の縫合スタックが完全に硬化する前に行われる。上記方法は、プリプレグ層の縫合スタックを、複合構造体の形状に対応する所望の形状に成形することを更に含んでもよい。

10

【 0 0 0 6 】

他の実施形態によると、複合プリフォームを製造する方法が提供される。プリプレグ層のスタックが組み立てられ、各層は、熱硬化性樹脂マトリックスに保持される強化繊維を含む。スタックが組み立てられた後に、プリプレグ層は、まとめて縫合される。この縫合は、プリプレグ層の熱硬化中に融解するステッチ材料を用いて行われる。プリプレグ層のスタックを組み立てることは、層をまとめて結合することにより、互いに位置合わせされた状態でこれらの層を保持することを含む。層の結合は、各層における樹脂マトリックスの粘着性を用いて行われる。プリプレグ層のスタックを組み立てることは、縫合中に、各プリプレグ層における樹脂マトリックスを用いて、これらの層における強化繊維が互いに隔離した状態で、強化繊維を保持することを含む。上記縫合は、ステッチが、プリプレグ層のスタックの厚みを、実質的に貫通するように行うことを含む。上記スタックは、プリプレグトウを敷設することにより組み立ててもよく、上記縫合は、プリプレグ層のスタックを実質的に完全に貫通するステッチが、プリプレグトウの間を通るように行ってもよい。スタックの組み立て中に、これらの層は、それぞれ異なる繊維配向を有するように配向される。

20

30

【 0 0 0 7 】

更に他の実施形態によると、複合プリフォームが提供される。上記プリフォームは、異なる繊維配向を有する一方向プリプレグ層のスタックを含む。ステッチは、スタックにおける全てのプリプレグ層を貫通しており、これにより、全ての層がまとめて保持される。ステッチは、プリプレグ層の熱硬化中に融解可能なステッチ材料で形成されている。各プリプレグ層は、プリプレグトウを含み、ステッチは、プリプレグトウの間を通る。ステッチは、一方向プリプレグ層のスタック全体に渡って略均一に分布していてもよい。プリプレグ層は、それぞれ樹脂マトリックスを含み、ステッチ材料は、樹脂マトリックスと適合性がある。樹脂マトリックスは熱硬化性樹脂であってもよく、ステッチ材料は熱可塑性樹脂であってもよい。熱硬化性樹脂は、熱硬化性樹脂が完全に硬化する硬化温度を有しており、熱可塑性樹脂の融解温度は、熱硬化性樹脂の硬化温度よりも低い。

40

【 0 0 0 8 】

更に他の実施形態によると、複合構造体を製造する方法が提供される。乾燥繊維層は、まとめて縫合されることにより、異なる繊維配向を有する乾燥繊維層の縫合スタックが形成される。乾燥繊維層のスタックには、ポリマー樹脂が注入される。樹脂が注入されたスタックは、熱硬化される。上記縫合のステッチは、縫合スタックの熱硬化中に融解する。上記方法は、真空下で、縫合スタックを収縮、一体化、及び硬化することを更に含む。乾燥繊維層の縫合は、スタックの厚み全体を実質的に貫通するステッチを用いて行われる。上記方法は、各乾燥繊維層に粘着剤を塗布することを更に含み、乾燥繊維層を組み立ててスタックを形成することは、縫合が行われている間、粘着剤を用いて乾燥繊維層を互いに

50

付着させ、乾燥繊維層の繊維配向を維持することを含む。乾燥繊維層を組み立ててスタックを形成することは、乾燥繊維トウを敷設することと、乾燥繊維層毎に、乾燥繊維トウの繊維配向を異ならせることと、を含む。上記方法は、乾燥繊維層の縫合スタックを、複合構造体の形状に対応する所望の形状に成形することを更に含んでもよい。上記成形は、乾燥繊維層の縫合スタックを、モールドなどのツール上で成形することにより行われてもよい。

【0009】

他の実施形態によると、乾燥繊維プリフォームを製造する方法が提供される。上記方法は、乾燥繊維層で構成されるスタックを組み立てることを含み、各層は、一方向強化繊維を含む。スタックが組み立てられた後に、乾燥繊維層は、まとめて縫合される。上記縫合は、スタックを貫通するステッチであって、所定の温度まで加熱されると融解するステッチを用いて行われる。上記方法は、各乾燥繊維層に粘着剤を塗布することを更に含み、乾燥繊維層のスタックを組み立てることは、粘着剤を用いてこれらの層を互いに位置合わせされた状態で維持することを含む。

10

【0010】

要約すれば、本発明の一態様によると、複合構造体を製造する方法が提供され、当該方法は、プリプレグ層をまとめて縫合して、異なる繊維配向を有するプリプレグ層の縫合スタックを形成することと、プリプレグ層の縫合スタックを熱硬化することと、プリプレグ層の縫合スタックの熱硬化中に、縫合のステッチを融解することと、を含む。

【0011】

20

好ましくは、上記方法は、プリプレグ層を組み立ててスタックを形成することを更に含み、プリプレグ層はそれぞれ樹脂粘着性を有し、プリプレグ層を組み立ててスタックを形成することは、縫合が行われている間、樹脂粘着性を利用して層を互いに付着させ、プリプレグ層の層配向を維持することを含む。

【0012】

好ましくは、上記方法において、スタックは厚みを有し、プリプレグ層の縫合は、スタックの厚みを実質的に貫通するステッチを用いて行われる。

【0013】

好ましくは、上記方法において、プリプレグ層を組み立ててスタックを形成することは、プリプレグトウを敷設することと、層毎に、トウの繊維配向を異ならせることと、を含む。

30

【0014】

好ましくは、上記方法は、真空下で、縫合スタックを収縮、一体化、及び硬化することを更に含む。

【0015】

好ましくは、上記方法において、ステッチの融解は、プリプレグ層の縫合スタックが完全に硬化する前に行う。

【0016】

好ましくは、上記方法は、プリプレグ層の縫合スタックを、複合構造体の形状に対応する所望の形状に成形することを更に含む。

40

【0017】

好ましくは、上記方法において、プリプレグ層の縫合スタックの成形は、プリプレグ層を互いに縫合する前に行う。

【0018】

好ましくは、上記方法において、プリプレグ層の縫合スタックの成形は、プリプレグ層を互いに縫合した後に行う。

【0019】

本発明の他の態様によると、複合プリフォームを製造する方法が提供され、当該方法は、プリプレグ層のスタックを組み立てることを含み、各層は、熱硬化樹脂マトリックスに保持される強化繊維を含み、上記方法は、スタックが組み立てられた後に、プリプレグ層

50

をまとめて縫合することを更に含み、上記縫合は、プリプレグ層の熱硬化中に融解するステッチ材料を用いて行われる。

【0020】

好ましくは、上記方法においては、プリプレグ層のスタックを組み立てることは、層をまとめて結合することにより、互いに位置合わせされた状態でこれらの層を維持することを含む。

【0021】

好ましくは、上記方法において、層の結合は、各層における樹脂マトリックスの粘着性を用いて行われる。

【0022】

好ましくは、上記方法において、プリプレグ層のスタックを組み立てることは、縫合中に、各プリプレグ層における樹脂マトリックスを用いて、これらの層における強化繊維が互いに隔離した状態で、強化繊維を保持することを含む。

【0023】

好ましくは、上記方法において、プリプレグ層のスタックは厚みを有し、上記縫合は、ステッチが、プリプレグ層のスタックの厚みを、実質的に完全に貫通するように行うことを含む。

【0024】

好ましくは、上記方法において、プリプレグ層のスタックを組み立てることは、プリプレグトウを敷設することを含み、上記縫合は、ステッチが、プリプレグトウの間を通り、プリプレグ層のスタックを実質的に完全に貫通するように行ってもよい。

【0025】

好ましくは、上記方法において、プリプレグ層のスタックを組み立てることは、各層が異なる繊維配向を有するように層を配向することを含む。

【0026】

本発明の更に他の態様によると、複合プリフォームが提供され、当該複合プリフォームは、異なる繊維配向を有する一方向プリプレグ層で構成されるスタックと、スタックにおける全てのプリプレグ層を貫通し、層をまとめて保持することが可能なステッチと、を含み、ステッチは、プリプレグ層の熱硬化中に融解可能なステッチ材料で形成されている。

【0027】

好ましくは、上記複合プリフォームにおいて、プリプレグ層は、それぞれプリプレグトウを含む。

【0028】

好ましくは、上記複合プリフォームにおいて、ステッチは、プリプレグトウの間を通る。

【0029】

好ましくは、上記複合プリフォームにおいて、ステッチは、一方向プリプレグ層のスタック全体に渡って略均一に分布している。

【0030】

好ましくは、上記複合プリフォームにおいて、プリプレグ層は、それぞれ樹脂マトリックスを含み、ステッチ材料は、樹脂マトリックスと適合性がある。

【0031】

好ましくは、上記複合プリフォームにおいて、樹脂マトリックスは熱硬化性樹脂であり、ステッチ材料は熱可塑性樹脂である。

【0032】

好ましくは、上記複合プリフォームにおいて、熱硬化性樹脂は、当該熱硬化性樹脂が完全に硬化する硬化温度を有しており、熱可塑性樹脂の融解温度は、熱硬化性樹脂の硬化温度よりも低い。

【0033】

本発明の、さらに他の態様によると、複合構造体を製造する方法が提供される。当該方

10

20

30

40

50

法は、乾燥繊維層をまとめて縫合することにより、異なる繊維配向を有する乾燥繊維層の縫合スタックを形成することと、乾燥繊維層のスタックにポリマー樹脂を注入することと、乾燥繊維層の縫合スタックを熱硬化することと、乾燥繊維層の縫合スタックの熱硬化中に、縫合のステッチを融解することと、を含む。

【0034】

好ましくは、上記方法は、真空下で、縫合スタックを収縮、一体化、及び硬化することを更に含む。

【0035】

好ましくは、上記方法において、スタックは厚みを有し、乾燥繊維層の縫合は、スタックの厚みを実質的に貫通するステッチを用いて行われる。

10

【0036】

好ましくは、上記方法は、各乾燥繊維層に粘着剤を塗布することを更に含み、乾燥繊維層を組み立ててスタックを形成することは、縫合が行われている間、粘着剤を用いて乾燥繊維層を互いに付着させ、乾燥繊維層の繊維配向を維持することを含む。

【0037】

好ましくは、上記方法において、乾燥繊維層を組み立ててスタックを形成することは、乾燥繊維トウを敷設することと、乾燥繊維層毎に、乾燥繊維トウの繊維配向を異ならせることと、を含む。

【0038】

好ましくは、上記方法は、乾燥繊維層のスタックを、複合構造体の形状に対応する所望の形状に成形することを更に含む。

20

【0039】

好ましくは、上記の方法において、スタックの成形は、乾燥繊維層を互いに縫合する前に行う。

【0040】

好ましくは、上記の方法において、スタックの成形は、乾燥繊維層を互いに縫合した後に行う。

【0041】

好ましくは、上記方法において、乾燥繊維層のスタックを形成することは、乾燥繊維層の縫合スタックをツール上で形成することを含む。

30

【0042】

好ましくは、上記方法において、乾燥繊維層のスタックをツール上で形成することは、スタックをモールド内に載置することを含み、乾燥繊維層のスタックに対する注入は、真空下でモールド内にポリマー樹脂を投入することを含む。

【0043】

本発明の更なる態様によると、乾燥繊維プリフォームを製造する方法が提供され、当該方法は、乾燥繊維層のスタックを組み立てることを含み、各層は、一方向強化繊維を含み、上記方法は、スタックが組み合わされた後に、乾燥繊維層をまとめて縫合することを更に含み、この縫合は、スタックを貫通し、所定の温度で加熱されると融解するステッチを用いて行われる。

40

【0044】

好ましくは、上記方法は、各乾燥繊維層に粘着剤を塗布することを更に含み、乾燥繊維層のスタックを組み立てることは、粘着剤を用いてこれらの層を互いに位置合わせされた状態で維持することを含む。

【0045】

特徴、機能、および利点は、本開示の様々な実施形態において個別に達成可能であり、また、他の実施形態との組み合わせも可能である。詳細については、以下の記載と図面から分かるであろう。

【0046】

例示的な実施形態を特徴付けると考えられる新規な特徴は、添付特許請求の範囲に記載

50

されている。しかしながら、例示的な実施形態、ならびに、好ましい使用形態、更にその目的および利点は、以下に示す添付の図面と共に本開示の例示的な実施形態の詳細な説明を参照することにより最もよく理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0047】

【図1】縫合プリフォームの上面斜視図である。

【図2】図1に示す縫合プリフォームの底面斜視図である。

【図3】縫合プリフォームを用いて製造可能な湾曲フレーム部の斜視図である。

【図4】図1に示す縫合プリフォームの分解斜視図であり、プリフォームの個々の層及びこれらの層の繊維配向を示す。

【図5】図1において「図5」として指定されている領域の平面図である。

【図6】図5の6-6線に沿った断面図である。

【図7】硬化の初期段階における、2つのトウの間のステッチの一部を示す断面図である。

【図8】図7と類似した図であるが、硬化の後期段階において、周囲のマトリックス樹脂に溶け込んだステッチを示している。

【図9】縫合プリプレグプリフォームを用いて複合構造体を製造する方法を示すフロー図である。

【図10】縫合プリプレグプリフォームを製造する方法を示すフロー図である。

【図11】縫合された乾燥繊維プリフォームを用いて複合構造体を製造する別の方法を示すフロー図である。

【図12】航空機製造及び保守方法を示すフロー図である。

【図13】航空機を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0048】

図1及び2を参照すると、複合プリフォーム20は、プリプレグ層24a、24b、24cで構成される縫合スタック22を含んでおり、各プリプレグ層は、繊維トウ28により一方向に補強されている。スタック22におけるプリプレグ層24a、24b、24cは、本明細書では「層」と呼ばれることもあり、これらの層は、スタック22をその厚み方向に貫通するステッチ26によりまとめて結合されている。図1及び2においては、ステッチ26の上部及び下部がそれぞれ示されている。プリフォーム20は、様々な複合構造体、特に、単純輪郭又は複雑輪郭を有する複合構造体の製造に用いることができる。例えば、図3を参照すると、プリフォーム20を用いて、一体の複合フレーム部30を製造してもよく、このプリフォームは、プリプレグ層24a、24b、24cを縫合する前又はその後に、適切なツール(tooling)(図示略)を用いてプリプレグ層24a、24b、24cのスタック22を成形することにより得られる。この例では、フレーム部30は、その長さに沿って湾曲しており、湾曲内側翼弦フランジ34と、湾曲外側翼弦フランジ36、及びウェブ32を備える。フランジ34、36は、複合曲率を有するアール状角部38、40に沿って、その形状がウェブ32へと変化している。フレーム部30は、開示するプリフォーム20を用いて製造できる様々な複合積層構造体の一例にすぎない。図3に示すフレーム部30は、Z形状の断面を有しているが、これ以外の断面を有していてもよい。

【0049】

特に図1、2及び4を参照すると、例示的な実施形態において3つの層24a、24b、24cが示されているが、スタック22は、用途に応じて、2つ、又は3つよりも多い層24を含んでもよい。図1、2、及び4に示す実施形態では、層24a、24b、24cは、それぞれ複数の一方向プリプレグトウ28を含んでおり、これらのトウは、自動ファイバ配置装置(図示略)又は他の技術により、複数の並列する帯状(bandwidths)(図示略)に配置されている。しかしながら、後述するように、縫合スタック22は、一方向乾燥繊維からなる乾燥繊維層24a、24b、24cの縫合スタックを含んでもよく、こ

10

20

30

40

50

の乾燥繊維は、トウ、一方向テープ、一方向強化材の切断パターン、又はそれ以外の形状を有していてもよい。

【0050】

プリプレグトウ28は、それぞれ、適切な樹脂を事前に含浸させた個々の強化繊維束（図示略）を含むが、詳細については後述する。層24a、24b、24cは、それぞれ、所望の繊維配向を有してもよいが、図4に示す例では、それぞれ、0°、90°、0°の繊維配向を有する。一実施形態では、プリプレグトウ28の断面は、略円形（図6を参照）であるが、他の実施形態では、プリプレグトウ28の断面は、略フラットな形状（図示略）であり、「フラットトウ」又は「スプレッドトウ(spread tow)」とも呼ばれる。

【0051】

トウ28の含浸に用いる樹脂は、用途に適しており、且つ、所望の硬化温度を有する熱硬化性樹脂を含んでもよい。例えば、強化繊維は炭素を含み、マトリックスとして用いられる樹脂は、エポキシ樹脂などの、熱により硬化する熱硬化性樹脂を含んでもよいが、これらに限定されない。他の種類の強化繊維としては、金属、セラミック、及び/又はガラス繊維が考えられるが、これらに限定されない。用途に応じて、他の種類の樹脂をマトリックスとして用いることもでき、そのような樹脂としては、ポリエステル樹脂、ビニール・エステル樹脂、フェノール樹脂、ポリイミド樹脂、PBI（ポリベンゾイミダゾール）樹脂、及びBMI（ビスマレイミド）樹脂が挙げられるが、これらに限定されない。

【0052】

トウ28に含浸された樹脂により、トウ28、ひいては層24a、24b、24cが樹脂粘着性を有し、また、この樹脂粘着性により、層24a、24b、24cが、レイアップされた時に、互いに付着し合う。樹脂粘着性により生じる付着力により、以降の処理において、層24a、24b、24cが、互いに位置合わせされた状態で、且つ、所望の層配向で保持される。この詳細については、後述する。マトリックス樹脂もまた、スタック22の厚み「t」方向に、層24のトウ28が互いに離間した状態で、これらのトウを保持する。いくつかの用途では、層24a、24b、24c間の付着力を高めるために、層24a、24b、24cに対して粘着剤を用いることが必要であるか、又は、好ましい。同様に、トウ28が乾燥している（樹脂が含浸されていない）場合には、結合剤とも呼ばれる粘着剤を用いて、層24a、24b、24cを互いに接着し、縫合スタック22を所望の形状に成形するまで、各層の繊維配向を保持してもよい。

【0053】

ステッチ26は、複数のトウ28の間を通り、層24a、24b、24cを、所望の層配向で保持する。使用されるステッチ26の数、密度、サイズ、間隔、及び種類は、用途に応じて異なる。同様に、ステッチ26の締め具合についても、スタック22における層24の数、及び、複合構造体の製造の複雑性に応じて異なる。例えば、複合構造体の曲がりが多い場合には、比較的、ステッチ26を緩くすることが好ましい。これは、ツール上で層24a、24b、24cを形成する際に、これらの層を、面内で互いに若干滑らせるためである。層24a、24b、24cが、面内で若干滑るため、スタック22が、湾曲したツールの表面によりフィットして、層にシワやひだが寄ることを防止する。

【0054】

次に、特に図5及び6を参照すると、ステッチ26が、各層24a、24b、24cにおいて隣り合うトウ28の間で、スタック22の厚み「t」（図1）全体を実質的に貫通できる限り、層24a、24b、24cを縫合するために様々な種類のステッチ26を用いることができる。図示する実施形態では、ステッチ26は、トウ28に効果的に巻き付いて、スタック22を斜めに横切って延伸している。しかしながら、他の実施形態においては、ステッチ26は、全てのトウ28には巻き付く必要はなく、スタック22を横切ってどの方向に延伸していてもよい。ステッチ26の形成及び離間は、如何なる方法で行われてもよい。ただし、スタック22を複合構造体の所望の形状に成形するために用いられるツール（図示略）上でスタック22を形成する際に、これらのステッチが、層24a、24b、24cをまとめて適切に保持していることを条件とする。しかしながら、いくつ

10

20

30

40

50

かの実施形態では、スタック 2 2 を所望の形状に成形した後に、層 2 4 a、2 4 b、2 4 c を互いに縫合してもよい。

【0055】

ステッチ 2 6 を形成する材料（以降「ステッチ材料」）は、様々なポリマー樹脂のうち、トウ 2 8 のマトリックス樹脂と適合し、且つ、マトリックス樹脂の熱硬化中にステッチ 2 6 が融解するような融解温度を有する樹脂を含んでもよい。例えば、ステッチ材料は、マトリックス樹脂を硬化するために求められる温度の範囲内で比較的低い融解温度を有する熱可塑性樹脂を含んでいる。このような樹脂としては、例えば、P E I（ポリエーテルイミド）、P P S（ポリフェニレンスルファイド）、P E S（ポリエーテルスルホン）、P E E K（ポリエーテルエーテルケトン）、P E K K（ポリエーテルケトンケトン）、及び P E K K - F C（ポリエーテルケトンケトン - f c グレード）などがあるが、これらに限定されない。例えば、マトリックス樹脂が、約 1 8 0 で硬化するエポキシ樹脂である場合、ステッチ材料は、1 5 0 の範囲の低融解温度を有する熱可塑性樹脂を含む。この例では、熱硬化性樹脂が実質的に硬化し始める前に、熱可塑性樹脂は、融解して、流動性熱硬化性樹脂と結合する。一実施形態では、マトリックス樹脂が融解して、初めに流動可能になる段階では、熱可塑性ステッチ材料は、その形状を維持し、層 2 4 a、2 4 b、2 4 c、に必要なサポートを提供できるものが選択される。硬化の初期段階において、マトリックス樹脂 4 4 が硬化し始めることにより、マトリックス樹脂 4 4 の粘度が高くなって初めて、熱可塑性ステッチ材料は融解し始め、マトリックス樹脂 4 4 中に溶解する。複合積層構造体の一体化は、真空下で行われる。この真空下では、層 2 4 a、2 4 b、2 4 c が収縮するとともに、ステッチ 2 6 が樹脂に溶け込んで複合積層構造体が硬化及び一体化するあいだ、層 2 4 a、2 4 b、2 4 c が動かないように、これらの層がまとめて保持される。

【0056】

図 7 は、硬化サイクルの初期段階における複数のステッチ 2 6 のうちの 1 つを示す断面側面図であり、この硬化サイクルでは、形成した複合積層構造体を、真空バッグ及び／又はオートクレーブにより加熱及び加圧することにより、当該構造体を硬化及び一体化する。加熱及び加圧の組み合わせにより、マトリックス樹脂 4 4 が流動し始め、層 2 4 a、2 4 b、2 4 c を一体化する。樹脂の流動は、トウ 2 8 に含浸されたマトリックス樹脂 4 4 から生じる。硬化サイクルにおけるこの時点では、ステッチ 2 6 は、まだ融解温度に達するまで加熱されていないため、その形状を維持している。しかしながら、硬化サイクルにおいて温度が更に上昇すると、ステッチ材料が融解し始めて、周囲に存在する、依然として流動可能なマトリックス樹脂 4 4 に合流 4 2 する。やがて、図 8 に示すように、ステッチ材料は、マトリックス樹脂 4 4 の領域 4 6 内に完全に溶解する。圧力を加えることにより、ステッチ材料及びマトリックス樹脂 4 4 が共に流動し、互いに混じり合い易くなる。ステッチ 2 6 として用いるために選択された特定のポリマー樹脂によっては、溶解したステッチ材料は、マトリックス樹脂 4 4 の硬化を補助することができ、また、硬化した複合構造体の、耐衝撃性などの機械特性を向上させることができる。

【0057】

次に図 9 に注目すると、同図は、縫合プリプレグを用いて複合積層構造体を製造する方法の全体的なステップを概略的に示している。まず、ステップ 4 8 において、異なる繊維配向を有する一方向プリプレグ層で構成されるスタック 2 2 を組み立てる。次に、ステップ 5 0 において、プリプレグ層が組み立てられてスタック 2 2 が形成された後に、ツール又は他の成形技術を用いて、スタック 2 2 を所望の形に成形する。なお、いくつかの実施形態においては、特定のスタック形状になるようにプリフォーム 2 0 のレイアップを行い、その後、プリフォーム 2 0 の各層をまとめて縫合してもよい。言い換えれば、ステップ 5 0 における縫合は、ステップ 5 2 の成形の後に行ってもよい。ステップ 5 4 において、縫合及び成形されたスタック 2 2 を、例えば、オープン又はオートクレーブ内に載置することにより、スタック 2 2 を熱硬化する。ステップ 5 5 において、縫合スタック 2 2 の熱硬化中に、ステッチ材料を溶かすことにより、硬化が起こっている周囲のマトリックス樹脂

脂 4 4 に、ステッチを溶解させる。

【 0 0 5 8 】

図 1 0 は、複数のプリプレグ層を用いてプリプレグプリフォーム 2 0 を作製する方法の全体的なステップを概略的に示しており、これらのプリプレグ層は、次に行われるプリプレグの硬化工程中に融解する縫合材料によりまとめて縫合される。ステップ 5 6 において、プリプレグ層のスタック 2 2 を組み立てる。各層は、熱硬化性マトリックス樹脂 4 4 に保持される強化繊維を含んでいる。ステップ 5 8 において、スタックが組み立てられた後に、プリプレグ層をまとめて縫合する。この縫合は、プリプレグ層の熱硬化中に融解及び溶解するステッチ材料を用いて行う。

【 0 0 5 9 】

10

図 1 及び 2 を再び参照すると、上述したように、別の実施形態では、プリフォーム 2 0 は、様々な樹脂注入処理での使用に適した乾燥繊維プリフォームであり、これらの樹脂注入処理においては、当該プリフォームは、樹脂が注入される強化材としての機能を果たす。この実施形態では、プリフォーム 2 0 は、層 2 4 a、2 4 b、2 4 c で構成される縫合スタック 2 2 を含んでおり、これらの層は、それぞれ繊維トウ 2 8 (図 5 及び 6) 又は一方向乾燥繊維テープなどの、一方向乾燥繊維強化材からなる。

【 0 0 6 0 】

層 2 4 a、2 4 b、2 4 c は、それぞれが互いに異なる繊維配向を有している。乾燥繊維プリフォーム 2 0 に用いられる繊維トウ 2 8 は、上述した材料と同様の 1 つ又はそれ以上の材料を含み、これらの材料は、プリフォーム 2 0 のプリプレグに関する実施形態で説明した繊維トウ 2 8 の作製に用いてもよい。乾燥繊維層 2 4 a、2 4 b、2 4 c は、厚み「t」(図 6) を貫通するステッチ 2 6 (図 5 及び 6) により一時的に縫合されている。ステッチ 2 6 は、層 2 4 a、2 4 b、2 4 c を、プリフォームとしてまとめて縫合する。しかしながら、樹脂注入処理で用いられるツール(図示略)の曲面上にプリフォームを押し付けて成形する際に、層 2 4 a、2 4 b、2 4 c が互いに若干滑ることができるように、これらの層を緩めに縫合してもよい。上述したように、いくつかの実施形態では、乾燥繊維層 2 4 a、2 4 b、2 4 c を、プリフォーム 2 0 としてまとめて縫合する前に、乾燥繊維層 2 4 a、2 4 b、2 4 c を所望の形状に成形してもよい。

20

【 0 0 6 1 】

ステッチ 2 6 は、プリフォーム 2 0 に対して収縮、一体化、樹脂注入が行われている間、層 2 4 a、2 4 b、2 4 c を所望の層配向で、且つ、互いに離間した状態で保持することを補助する。硬化処理を開始してからマトリックス樹脂が実際に硬化し始めるまで、乾燥繊維層 2 4 a、2 4 b、2 4 c を、所望の層配向及び空間関係になるように維持することにより、硬化した複合構造体における強化材がより均一に分布し、複合構造体の機械性能を向上させることができる。

30

【 0 0 6 2 】

上述したプリプレグプリフォーム 2 0 の例と同様に、ステッチ 2 6 を形成する材料は、様々なポリマー樹脂のうち、プリフォーム 2 0 をツール上に載置して、樹脂を注入するために用いられるマトリックス樹脂と適合する樹脂である。ステッチ材料は、乾燥繊維プリフォーム 2 0 に樹脂を注入した後にマトリックス樹脂を熱硬化している間に、ステッチ 2 6 が融解するような融解温度を有している。例えば、層 2 4 a、2 4 b、2 4 c を、乾燥繊維プリフォーム 2 0 としてまとめて縫合するために用いられるステッチ材料は、樹脂注入処理で用いられるマトリックス樹脂を硬化するために求められる温度の範囲内で比較的低い融解温度を有する熱可塑性樹脂を含んでいる。このような樹脂としては、例えば、P E I (ポリエーテルイミド)、P P S (ポリフェニレンスルファイド)、P E S (ポリエーテルスルホン)、P E E K (ポリエーテルエーテルケトン)、P E K K (ポリエーテルケトンケトン)、及び P E K K - F C (ポリエーテルケトンケトン - f c グレード) などがあるが、これらに限定されない。

40

【 0 0 6 3 】

図 1 1 は、乾燥繊維プリフォーム 2 0 に対する樹脂注入を用いて、複合構造体を製造す

50

る方法の各ステップを概略的に示している。まず、ステップ60において、異なる繊維配向を有する乾燥繊維層24a、24b、24cで構成されるスタックを組み立てる。ステップ62において、任意で、層24a、24b、24cの繊維配向を維持するために、粘着剤をこれらの層に塗布してもよい。ステップ64において、縫合スタック22が組み立てられた後に、乾燥繊維層24a、24b、24cをまとめて縫合する。ステッチ26は、スタック22の層24a、24b、24cをまとめて保持する。ステップ66において、乾燥繊維層の縫合スタック22を、所望のプリフォーム形状に成形してもよい。

【0064】

スタック22の成形は、スタック22を縫合する前又は後に、スタック22をツール上で成形することにより行われる。スタック22を所望の形状に成形する前に当該スタックを縫合する場合であって、ツールが1つ又はそれ以上の曲部を有している場合、ステッチ26の縫締まりは、乾燥繊維層24a、24b、24cを互いに若干滑らせ、これらの層がツールの曲面によりフィットする程度にしてもよい。採用する樹脂注入処理の種類により、ステップ68において、乾燥繊維プリフォーム20を、樹脂注入用ツールに移動してもよい。いくつかの実施形態では、乾燥繊維層24a、24b、24cをプリフォーム20の形状に成形するためのツールは、樹脂注入処理中に用いられるツールであってもよい。ステップ70において、乾燥繊維プリフォーム20に樹脂を注入し、ステップ72において、樹脂を熱硬化する。ステッチ26は、プリフォーム20に対して収縮、一体化、樹脂注入が行われている間、層24a、24b、24cを所望の層配向で、且つ、互いに離間した状態で保持することを補助する。ステップ74において、プリフォーム20の層をまとめて保持するために用いられるステッチ26は、融解して、プリフォーム20に注入される樹脂に溶解する。

【0065】

本開示における実施形態は、様々な用途に使用される可能性を有し、特に、航空宇宙、船舶、自動車、及びその他の用途を含む輸送業であって、複合積層構造体、特に曲線を有しており、比較的大量に生産される複合積層構造体が用いられる分野に用途を見出すことができる。したがって、図12及び13を参照すると、本開示の実施形態は、図12に示す航空機の製造及び保守方法、並びに、図13に示す航空機78に関連して用いることができる。開示する実施形態の航空機用の用途としては、限定するものではないが、いくつか例をあげると、複合積層フレーム部、翼桁、ストリンガー、ビームなどがある。生産開始前の工程として、例示的な方法76は、航空機78の仕様決定及び設計80と、材料調達82とを含む。生産中には、航空機78の部品/小組立品の製造84、及び、システムインテグレーション86が行われる。その後、航空機78は、認可及び納品88の工程を経て、就航90に入る。顧客による使用中は、航空機76は、定例のメンテナンス及び保守92のスケジュールに組み込まれるが、これは改良、再構成、改修なども含む場合もある。

【0066】

方法76の各処理は、システムインテグレーター、第三者、及び/又はオペレータ(例えば顧客)によって実行又は実施することができる。説明のために言及すると、システムインテグレーターは、航空機メーカー及び主要システム下請業者をいくつか含んでもよいが、これに限定されない。第三者は、売主、下請業者、供給業者をいくつか含んでもよいが、これに限定されない。オペレータは、航空会社、リース会社、軍事団体、サービス組織等であってもよい。

【0067】

図13に示すように、例示的な方法76によって製造される航空機78は、複数の高水準システム96及び内装98を具備した機体94を含んでもよい。高水準システム96の例としては、1つ又はそれ以上の推進系100、電気系102、油圧系104、及び環境系106が挙げられる。また、その他のシステムをいくつか含んでもよい。航空宇宙産業に用いた場合を例として説明したが、本開示の原理は、例えば船舶及び自動車産業等の他の産業に適用してもよい。

【 0 0 6 8 】

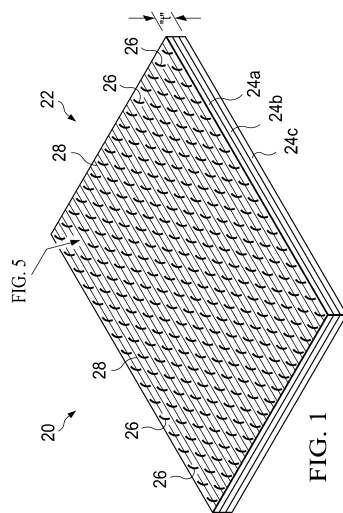
本明細書において具現化されているシステム及び方法は、製造及び保守方法 7 6 における 1 つ又はそれ以上のどの段階において採用してもよい。例えば、製造工程 8 4 に対応する部品又は小組立品は、航空機 7 6 が運航中に製造される部品又は小組立品と同様の方法で製造されてもよい。また、例えば、実質的に、航空機 7 6 の組み立て速度を速めたりコストを削減したりすることによって、1 つ又はそれ以上の装置の実施形態、1 つ又はそれ以上の方法の実施形態、又はそれらの組み合わせを、製造工程 8 4 及び 8 6 において用いてもよい。同様に、1 つ又はそれ以上の装置の実施形態、1 つ又はそれ以上の方法の実施形態、又はそれらの組み合わせを、航空機 7 6 の使用中に、例えば、限定するものではないが、整備及び保守 9 2 に用いてもよい。

10

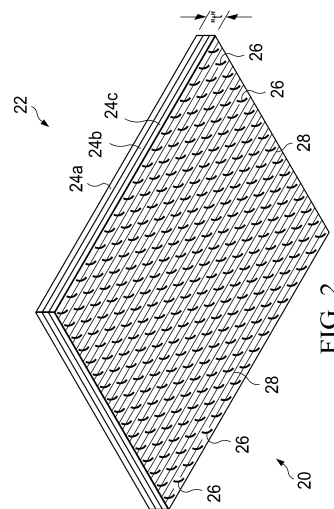
【 0 0 6 9 】

様々な例示的な実施形態の説明は、例示および説明のために提示したものであり、全てを網羅することや、開示した形態での実施に限定することを意図するものではない。多くの改変または変形が当業者には明らかであろう。また、例示的な実施形態は、他の例示的な実施形態とは異なる効果をもたらす場合がある。選択した実施形態は、実施形態の原理及び実際の用途を最も的確に説明するために、且つ、当業者が、想定した特定の用途に適した種々の改変を加えた様々な実施形態のための開示を理解できるようにするために、選択且つ記載したものである。

【 図 1 】



【 図 2 】



【図 3】

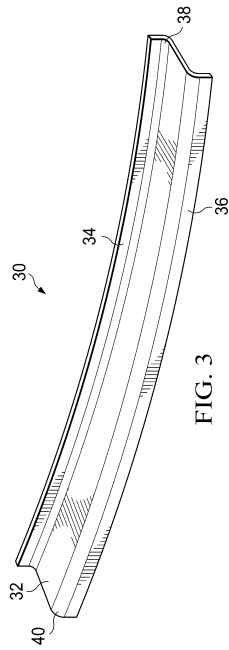


FIG. 3

【図 4】

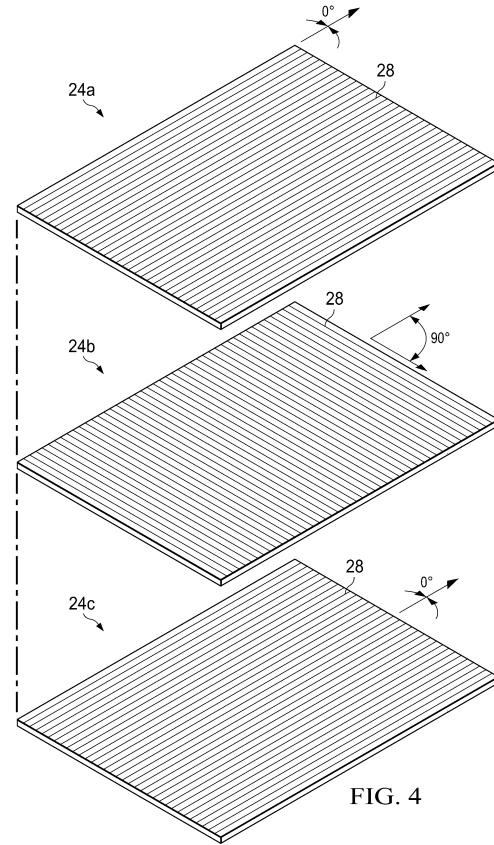


FIG. 4

【図 5】

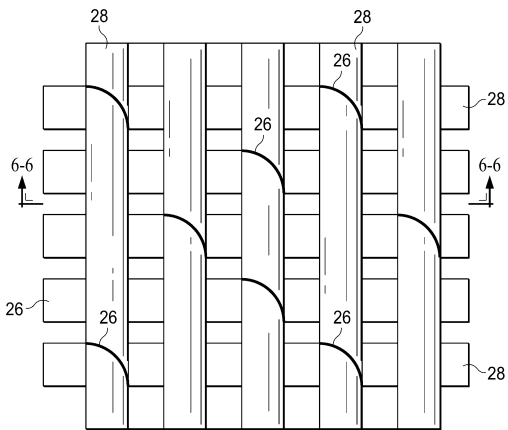


FIG. 5

【図 7】

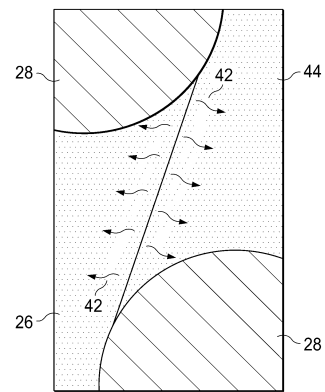


FIG. 7

【図 6】

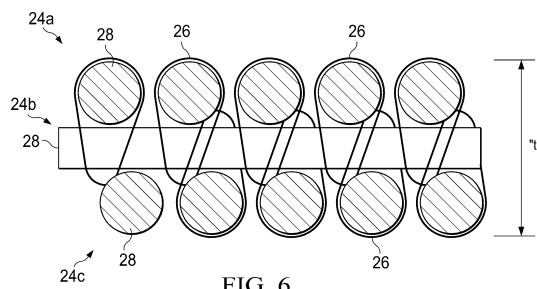


FIG. 6

【図 8】

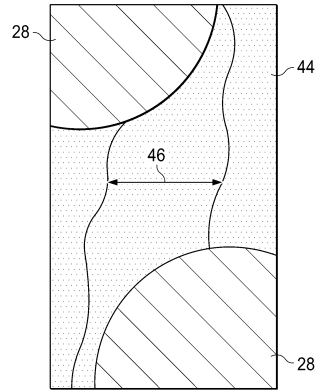


FIG. 8

【図 9】

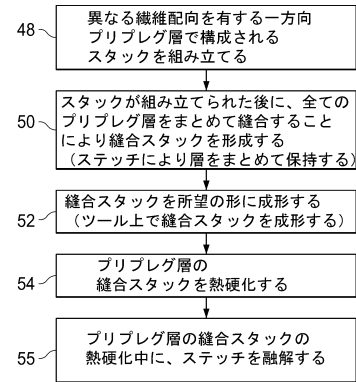


FIG. 9

【図 10】

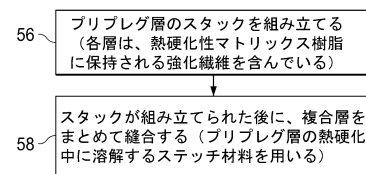


FIG. 10

【図 11】

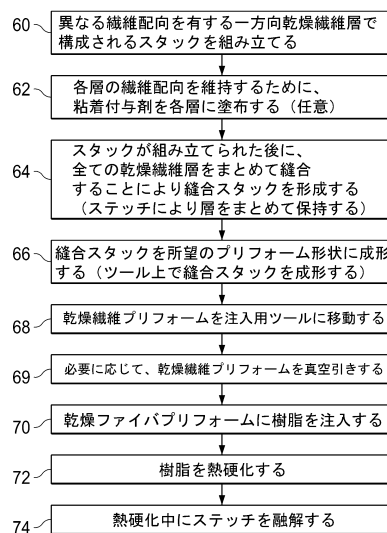
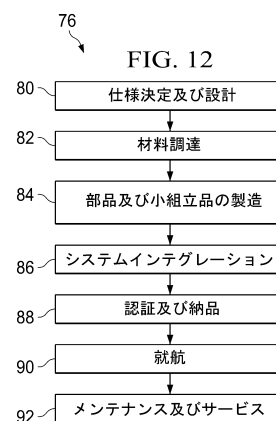
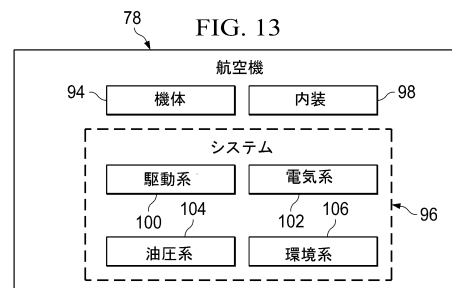


FIG. 11

【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(74)代理人 100161274

弁理士 土居 史明

(74)代理人 100168044

弁理士 小淵 景太

(74)代理人 100168099

弁理士 鈴木 伸太郎

(72)発明者 ブラッド アンドリュー コクソン

アメリカ合衆国、イリノイ州 60606 - 2016、シカゴ、ノース リバーサイド プラザ
100、ザ・ボーイング・カンパニー内

審査官 赤澤 高之

(56)参考文献 国際公開第02/057527(WO, A1)

特開2002-227066(JP, A)

特表2004-506799(JP, A)

特表平08-509921(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C08J 5/00 - 5/24

B29B 11/16

B29B 15/08 - 15/14

B29C 41/00 - 41/36

B29C 41/46 - 41/52

B29C 70/00 - 70/88