



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 054 428 B3** 2008.05.15

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 054 428.5**
 (22) Anmeldetag: **16.11.2006**
 (43) Offenlegungstag: –
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **15.05.2008**

(51) Int Cl.⁸: **B64C 21/00** (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. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Krier, Johann Valentin, 90431 Nürnberg, DE

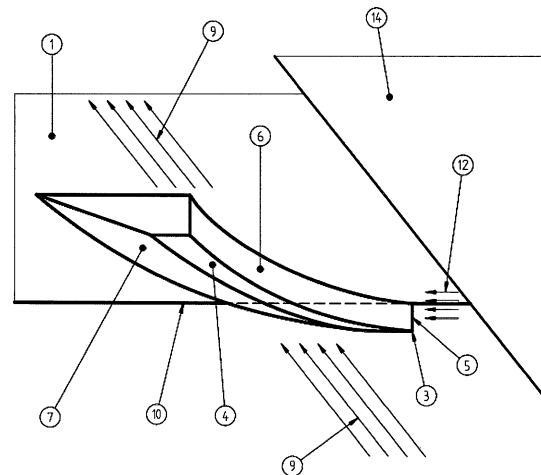
(72) Erfinder:
gleich Patentinhaber

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 7 00 625 A
US 26 49 265
Hartmut Siegmann: "Der Grenzschichtzaun
(Potentialzaun)" aus:
[www.aerodesign.de/aero/grenzschicht](http://www.aerodesign.de/aero/grenzschichtzaun.htm)
[zaun.htm](http://www.aerodesign.de/aero/grenzschichtzaun.htm);

(54) Bezeichnung: **Umlenkvorrichtung zur Vermeidung der Kontamination der Grenzschicht auf Tragflächen eines Flugkörpers in Überschallströmung durch den Rumpf oder ähnliche Körper**

(57) Zusammenfassung: Im Flugzeugbau, Militärflugkörperbau, Raketenbau und in der Raumfahrt werden Flugkörper verwendet, die im Überschall fliegen und die aus mehreren an einem rumpffähnlichen Körper (Rumpf) befestigte gepfeilte Tragflächen (Flügel) bestehen. Durch die Reibung am Rumpf entsteht eine Grenzschicht, die bis zur Flügelwurzel hochgradig turbulent wird. Diese Grenzschicht kontaminiert über die Flügelwurzel und die Vorderkante des Flügels auch die Grenzschicht auf der Gesamtlänge des Flügels und führt dadurch zu hohen Reibungsverlusten, da turbulente Grenzschichten wesentlich höhere Reibungsverluste als laminare Grenzschichten aufweisen. Die Art der Grenzschichtströmung auf dem Flügel wird unter anderem durch die Geometrie der Vorderkante und die Flugparameter mittels einer spezifischen Reynoldszahl bestimmt. Durch den Einsatz dieser Vorrichtung kann die Grenzschicht auf der Tragfläche über einen wesentlich größeren Bereich der zuständigen Reynoldszahl laminar gehalten werden als es ohne Vorrichtung möglich wäre. Dadurch kann man den Treibstoffverbrauch, den Schadstoffausstoß und die Lärmemission senken, bzw. die Reichweite erhöhen.

Die Umlenkvorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass sie aus einem einzigen Körper besteht, der die kontaminierte Grenzschicht entlang der Flügelvorderkante teilt und sie verlustarm über die Ober- und Unterseite der Tragfläche umlenkt. Gleichzeitig erzeugt sie eine neue, nicht kontaminierte Grenzschicht, die ebenfalls verlustarm auf die Vorderkante ...



Beschreibung

Einführung, Stand der Technik

[0001] Die Grenzschicht, deren Aufbau und Verteilung über die Oberfläche eines Flugkörpers, hat eine wesentliche Bedeutung im zivilen und militärischen Flugzeug-, Fluglenkkörper und Raketenbau.

[0002] An Flugkörpern mit einem Rumpf und mehreren Tragflächen (Flügel oder Leitwerke) wird die Grenzschichtströmung an den gefeilten Tragflächen von der Grenzschichtströmung am Rumpf beeinflusst. Die Grenzschichtströmung am Rumpf erreicht bis zur Tragflächenwurzel gewöhnlich einen stark turbulenten Charakter, deshalb spricht man von einer „Kontamination“ der Strömung an der Tragfläche durch den Rumpf.

[0003] Im Flugzeug- und Raketenbau sind alle Hersteller interessiert und bemüht, eine Lösung für die Vermeidung oder Beseitigung der Kontamination der Tragflügel-Grenzschicht durch die turbulente Rumpfgrenzschicht zu finden. Solche Lösungen können „aktiv“ oder „passiv“ sein. Die aktiven Lösungen benutzen zusätzliche Energiequellen, z.B. für die Absaugung der kontaminierten Grenzschicht oder ziehen von den vorhandenen Energiequellen des Flugkörpers für diese Lösungen Energie ab. Einige passive Lösungen versuchen die Grenzschichtströmung über Transitionssteuerung mittels Kleinwirbelerzeugung durch künstliche Rauigkeit für bestimmte Druckgradienten zu laminarisieren.

[0004] Bekannt ist auch die Verwendung von Grenzschichtzäunen an den Tragflächen (z.B. Fiat G91 oder Suchoi SU22).

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine passive Vorrichtung zu konzipieren, die in der Lage ist, die Grenzschicht an den Tragflächen so zu gestalten, als wäre die kontaminierte Grenzschicht des Rumpfes nicht vorhanden.

[0006] Die Lösung dieser Aufgabe wird mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 erfüllt.

[0007] Die Vorderkante der Tragfläche, bzw. des Tragflügels ist für die Generierung und für den Transport der Grenzschichtströmung maßgebend, da sich die kontaminierte Grenzschicht des Rumpfes entlang dieser Vorderkante fortpflanzt. Wird die kontaminierte turbulente Grenzschicht entlang der Vorderkante unterbrochen, so entsteht eine neue laminare Grenzschicht, die durch die Fortpflanzung entlang der Vorderkante die gesamte Grenzschicht über die Tragfläche steuert. Die Lösung gemäß Patentanspruch 1 besteht in einer Vorrichtung an der Vorderkante der Tragfläche.

[0008] Die Lösung besteht darin die kontaminierte Grenzschicht in Strömungsrichtung über die Tragfläche umzuleiten und einen in Spannweitenrichtung weiteren außerhalb liegenden Startpunkt für eine neue, nicht kontaminierte Grenzschicht zu generieren. Diese Umleitung hat so zu erfolgen, dass stromauf und stromab von der Vorrichtung eine möglichst geringe Störung auftreten soll.

[0009] Die Vorrichtung besteht aus einem speziell geformten Körper, der mittels verschiedener Flächen zwei Funktionen gleichzeitig erfüllt:

- die verlustarme Teilung und Umlenkung der vom Rumpf kontaminierten Grenzschicht über die Ober- und Unterseite der Tragfläche,
 - die Erzeugung einer neuen, nicht kontaminierten Grenzschicht und die verlustarme Weiterleitung der neuen, nicht kontaminierten Grenzschicht auf die Vorderkante, bzw. Staulinie der Tragfläche
- b) die Funktionsweise ist passiv, sprich sie arbeitet ohne Energiezufuhr
- c) sie ist klein und leicht und erfordert einen minimalen Aufwand für die Montage im Bereich der Vorderkante der Tragfläche
- d) sie ist praktisch für alle Tragflächen (Flügel, Leitwerke) eines Flugkörpers in Überschallströmung, die vom Rumpf kontaminiert sind anwendbar
- e) sie führt zu geringerem spezifischen Kraftstoffverbrauch, geringerer Lärmentwicklung und geringerer Schadstoffemission.

[0010] Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiel näher beschrieben. Es zeigen

[0011] [Fig. 1](#) Prinzip der Grenzschichtumleitung – Draufsicht

[0012] [Fig. 2](#) Ausführungsbeispiel der Erfindung – Zeichnung

[0013] [Fig. 3](#) Querschnitt durch die Umlenkvorrichtung in der Symmetrieebene des Flügels

[0014] [Fig. 4](#) 3D Figur einer Umlenkvorrichtung für Überschallströmung

[0015] [Fig. 5](#) Umlenkvorrichtung für Überschallströmung, Draufsicht; die Höhe der Vorrichtung senkrecht zur Vorderkante ist in wahrer Größe ersichtlich

[0016] [Fig. 6](#) Umlenkvorrichtung für Überschallströmung, Ansicht entlang des Rumpfes; die Breite des Plateaus **4** und der Übergangsbereich **8** sind gut ersichtlich

[0017] [Fig. 7](#) Umlenkvorrichtung für Überschallströmung, Ansicht entlang der Vorderkante; die Höhe

und der Verlauf des Übergangs sind in wahrer Größe ersichtlich

[0018] [Fig. 8](#) Beispiel von Reibungslinien (ähnlich wie Stromlinien) an der Vorderkante eines Tragflügels in Überschallströmung aus einer bei IBK durchgeführten RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) Simulation; Ansicht entlang der Freiströmrichtung. Die Form der Reibungslinien (Stromlinien) erinnert stark an die Form der Schaufeln bei Pelton Turbinen.

[0019] Gemäß der Bezugszeichenliste am Ende dieser Beschreibung sind mit verschiedenen Zahlen die wichtigsten Bereiche der Vorrichtung in den [Fig. 1](#) und [Fig. 3](#) bis [Fig. 7](#) gezeigt.

[0020] Die Prinzipskizze in [Fig. 1](#) zeigt in der Draufsicht den Rumpf mit der gefeilten Tragfläche. Die Freiströmrichtung oder Windrichtung **9** ist identisch bis auf die Pfeilrichtung mit der Flugrichtung des Flugkörpers. Deshalb sind in der Skizze die Pfeile der Freiströmrichtung parallel mit dem Rumpf **14** dargestellt. Die Anwesenheit der Tragfläche endlicher Dicke führt dazu, dass die Anströmung eine Komponente **12** in Richtung der Vorderkante oder Staulinie **10** aufweist. Diese Komponente transportiert die kontaminierte Grenzschichtströmung entlang der Vorderkante oder Staulinie bis zur Umlenkvorrichtung. Die Umlenkvorrichtung ist mit Hilfe von dicken schwarzen Linien dargestellt und hat zwei wichtige Eigenschaften für die störungsfreie Umlenkung:

- A) Sie ist am Anfang nahezu tangent zur Vorderkante **10**, um möglichst stoßfrei die Strömung entlang der Vorderkante abzufangen
- B) Sie ist am Ende nahezu tangent zur Freiströmrichtung, um die umgeleitete Grenzschichtströmung in diese Richtung möglichst stoßfrei freizugeben **7**. Unter Umständen kann man eine leicht stärkere Umlenkung vorsehen, da infolge ihrer Trägheit, die Grenzschichtströmung etwas weniger umgelenkt wird

[0021] Diese Eigenschaften erinnern an eine Schaufel im Turbomaschinenbau, die ähnliche Anforderungen erfüllen muss. Aufgrund der Dicke der Tragfläche ist die Geometrie der Vorrichtung nicht so einfach, wie in der Prinzipskizze nur auf der Oberseite dargestellt. Die optimale Form der Umlenkflanken einer effizienten Vorrichtung ist durch den Verlauf der Stromlinien im Bereich der Vorderkante gegeben (s. [Fig. 8](#)).

- Ein Ausführungsbeispiel der Lösung ist als Zeichnung in [Fig. 2](#) und dreidimensional in [Fig. 4](#) vorgestellt. Maßgebend ist die Geometrie der Vorrichtung, die durch die Gestaltung der Flanken stromauf dafür sorgt, dass die kontaminierte Grenzschicht sanft (ohne Stöße) umgeleitet wird. Als Analogie kann man die Umleitung eines Wasserstrahls im Wasserkraftbau durch die Schaufel einer Pelton Turbine erwähnen, die nahezu stoß-

frei arbeitet.

[0022] Wenn man die Tragfläche und die Vorrichtung durch eine Ebene senkrecht zur Tragfläche, die die Vorderkante oder Staulinie beinhaltet schneidet, erhält man die Skizze in [Fig. 3](#), wo die wichtigsten Parameter des Querschnittes eingezeichnet sind. Nachfolgend werden alle Parameter zur Diskussion gestellt und deren Eigenschaften analysiert.

[0023] Die Schneide- oder Stauflanken mit **5** in [Fig. 4](#) bis [Fig. 7](#) markiert – sind die Flächen die als erste mit der kontaminierten Grenzschicht in Kontakt kommen und, wie die Bezeichnung auch besagt, schneiden bzw. in zwei Hälften teilen. Um diese Aufgabe möglichst optimal zu erledigen, müssen diese Schneideflanken senkrecht zur Tragflügeloberfläche und symmetrisch zur Vorderkante liegen. Theoretisch könnten diese Flanken an der vordersten Seite eine scharfe Kante bilden. Praktisch ist es besser einen kleinen Krümmungsradius (ca. 1-2 mm s. [Fig. 2](#) und [Fig. 4](#)) an dieser Kante zu bilden, da der Anstellwinkel der Flugkörper während des Fluges in einem kleinen Bereich variiert, und sich somit die Position der Staulinie (Vorderkante) entlang der Tragfläche leicht verändert. Außerdem ist eine abgerundete Kante – wie auch beim Tragflügel selbst – auch in der Überschallströmung einer scharfen vorzuziehen, da Festigkeits- und Erosionsaspekte auch eine wichtige Rolle spielen. Dies führt zu einem Stau effekt an diesen Flächen, deshalb auch die Bezeichnung Stauflanken.

[0024] Die Höhe der Vorrichtung bzw. des Querschnitts **5** (s. [Fig. 3](#)), in Richtung der Normalen zur Basis bzw. Tragflächenoberfläche gemessen, ist maßgebend und muss ausreichend groß sein, um den Stau effekt der Grenzschicht an der Vorrichtung – der unvermeidbar ist – zu übertreffen. Sie darf aber nicht viel größer sein, da sonst die Vorrichtung dadurch zusätzliche Verluste generiert. Die Höhe der Vorrichtung wird so gewählt, dass sie für die ungünstigsten Flugbedingungen ausreichend ist. Im vorliegenden Vorschlag ist sie ca. 5 ungestörte Grenzschichtdicken groß.

[0025] Die Umlenk- oder Umleitflanken **6** (s. [Fig. 4](#) bis [Fig. 7](#)) haben die wichtige Rolle, die kontaminierte und bereits geteilte Grenzschichtströmung möglichst sanft (stoßfrei) auf die Ober- bzw. Unterseite der Tragfläche umzuleiten. Dafür sind sie – wie auch die Schneideflanken – senkrecht zur Oberfläche des Tragflügels orientiert und folgen idealerweise der Stromlinien der Grenzschichtströmung. Diese können entweder während eines Windkanalversuchs oder mittels einer Strömungssimulation sichtbar gemacht werden, um die beste Form dieser Flanken zu erreichen (s. [Fig. 8](#)). In der gleichen Weise kann für verschiedene Anstellwinkel auch die Position der Staulinie an der Vorderkante ermittelt werden. Wie

bereits erwähnt, können diese Flanken einen leicht größeren Umlenkwinkel (um 1-2°) aufweisen, um die Trägheit der Strömung zu kompensieren.

[0026] Die Spitze der Vorrichtung **3** (in [Abb. 2](#) und [Abb. 4](#)) und der erste Teil des Plateaus **4** haben die Aufgabe dem neuen Startpunkt (Staupunkt) für die nicht kontaminierte Grenzschicht den erforderlichen Raum bereitzustellen. Dafür erhält die Spitze einen kleinen Krümmungsradius (ca. 0,5 mm). Ein größerer Krümmungsradius führt zu einer größeren Höhe der Vorrichtung. Die Breite des Plateaus soll mindestens so groß sein wie die Höhe der Vorrichtung, um einen möglichen Saugeffekt der neuen Strömung auf die alte kontaminierte Grenzschicht vor der Vorrichtung zu vermeiden (s. auch [Abb. 2](#), [Abb. 3](#), [Abb. 4](#)). Eine Obergrenze der Breite kann durch die Befestigungsart an der Vorderkante bestimmt werden, wahrscheinlich nicht mehr als zweimal die Höhe.

[0027] Die Hinterflanke der Vorrichtung **7** (in [Fig. 4](#) bis [Fig. 7](#)), die mit einem Krümmungsradius mit dem Plateau stromauf und mit der Tragfläche stromab verbunden sein soll, um möglichst keine oder sehr kleine Stöße zu erzeugen, hat die Aufgabe einer „Leitfläche“ (Rutsche). Sie soll die neue, nicht kontaminierte Grenzschicht stromab auf die Vorderkante und Tragfläche verlustarm leiten. Wichtigster Parameter ist die Neigung dieser Fläche, die in [Fig. 3](#) durch die Hinterkante **7** im Querschnitt ersichtlich ist. Die Neigung muss so gewählt werden, dass die Freistromrichtung mit dieser Hinterkante einen kleinen Winkel $\gamma = \alpha - \beta$ (ca. 2°-3° in [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#)) bildet.

[0028] Der Übergangsbereich der Vorrichtung **8** (in [Fig. 4](#) bis [Fig. 7](#)) hat die Rolle, einen möglichst sanften Übergang von der Höhe der Vorrichtung (Plateau) zur glatten Oberfläche (Ober- und Unterseite) des Tragflügels zu bilden. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist der Übergang von der Anfangshöhe 5 mm auf Null linear und mit einem kleinen Winkel (über eine entsprechend größere Länge) vorgenommen worden, aber man kann sich auch andere Übergangsformen vorstellen.

[0029] Die Tragflächen haben grundsätzlich an der Vorderkante einen Krümmungsradius, der für die Grenzschichtströmung und somit auch für die Gestaltung der Vorrichtung eine wesentliche Rolle spielt. Einerseits legt er, durch seine Anwesenheit in der Formel für die Reynoldszahl, die Art der Grenzschichtströmung mit fest, andererseits muss die Vorrichtung über den Krümmungsradius der Vorderkante hinaus auf die Ober- und Unterseite der Tragfläche hinaus erstreckt werden, um eine sanfte (stoßfreie) Umlenkung der Grenzschicht auf die Tragfläche zu gewährleisten (s. [Fig. 2](#), [Fig. 4](#) und [Fig. 7](#)). Theoretisch kann die Vorrichtung in Tiefenrichtung der Tragfläche bis zur Hinterkante gezogen werden, um eine materielle Grenze zwischen kontaminierter und neuer, nicht

kontaminierter Grenzschicht zu ziehen und dadurch eine Interaktion zwischen diesen Regionen auf der Tragfläche zu unterbinden (Grenzschichtzaun). Allerdings ist dies nicht notwendig, da die zwei Arme der Vorrichtung in Richtung der freien, ungestörten Strömung verlaufen und somit keine Druckgradienten über die Arme in Spannweitenrichtung zu erwarten sind, wenn man vom Staudruck an der Spitze abieht.

Werkstoffe:

[0030] Die Umlenkvorrichtung kann aus ähnlichen Werkstoffen wie die Tragfläche, Aluminium-, Stahl- oder Titanlegierungen gefertigt werden. Bei geringerer Machzahl kann auch Kunststoff in Frage kommen.

[0031] Die Herstellungsverfahren können Gießen, Schmieden, Fresen oder ähnliche sein. Die einzigen Voraussetzungen für den Werkstoff sind die Formbeständigkeit unter den Flugbedingungen und eine Mindestfestigkeit, die für eine zuverlässige Befestigung und Funktionierung der Umlenkvorrichtung benötigt wird.

Montage:

[0032] Die Umlenkvorrichtung soll möglichst nah an den Rumpf, aber außerhalb dessen Grenzschicht, an der Vorderkante, bzw. Staulinie der Tragfläche fest montiert sein, um die maximalen Vorteile erreichen zu können.

[0033] Die wichtigsten Bereiche der Vorrichtung sind mit verschiedenen Zahlen in den [Fig. 1](#) und [Fig. 3](#) bis [Fig. 7](#) gezeigt:

Bezugszeichenliste

1	Oberseite der Tragfläche
2	Unterseite der Tragfläche
3	Spitze der Vorrichtung
4	Plateau der Vorrichtung
5	Stau- oder Schneideflanken, auch als Höhe in Fig. 3 angezeigt
6	Umlenkflanken
7	Hinter- oder Leitflanken
8	Übergangsbereich zur Tragfläche
9	Flug- oder Windrichtung
10	Vorderkante oder Staulinie
11	Basis des trapezförmigen Querschnitts
12	Strömungskomponente entlang der Vorderkante oder Staulinie
13	Trapezförmiger Querschnitt der Vorrichtung
14	Rumpf oder rumpfähnllicher Körper

Patentansprüche

1. Umlenkvorrichtung an den gepfeilten Tragflächen eines Flugkörpers in Überschallströmung mit ei-

nem Rumpf oder rumpfähnlichen Körper

dadurch gekennzeichnet,

1. dass sie aus einem einzigen, speziell geformten Körper besteht,
2. der die Grundform des Buchstaben V hat,
3. im Vorderkantenbereich des Tragflügels angeordnet ist,
4. mit der Spitze in Richtung Rumpf zeigend,
5. dessen zwei Arme auf der Ober (1)- und Unterseite (2) des Flügels anliegen und in Richtung der ungestörten Strömung verlaufen, und
6. jeder Arm einen trapezförmigen Querschnitt mit zwei abgerundeten Ecken an der kürzeren Grundlinie hat, bei dem die Basis (die längere Grundlinie) auf der Tragfläche anliegt
7. und die dem Rumpf oder rumpfähnlichen Körper zugewandte Seitenfläche (5, 6) senkrecht zur Basis steht,
8. während die dem Rumpf oder rumpfähnlichen Körper abgewandte Seitenfläche (7) mit der Flugrichtung (9) im Querschnitt (13) einen kleinen Winkel $\gamma = \alpha - \beta$ bildet
9. und einen mittels eines Radius zu realisierenden weichen Übergang zur Tragfläche hat.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie insbesondere bei Überschallflugzeugen, Raketen, Fluglenkkörper, Drohnen und Raumfähren Verwendung findet.

3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die dem Rumpf oder rumpfähnlichen Körper zugewandte Fläche einen Winkel von 80° bis 100° mit der Basis bildet.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

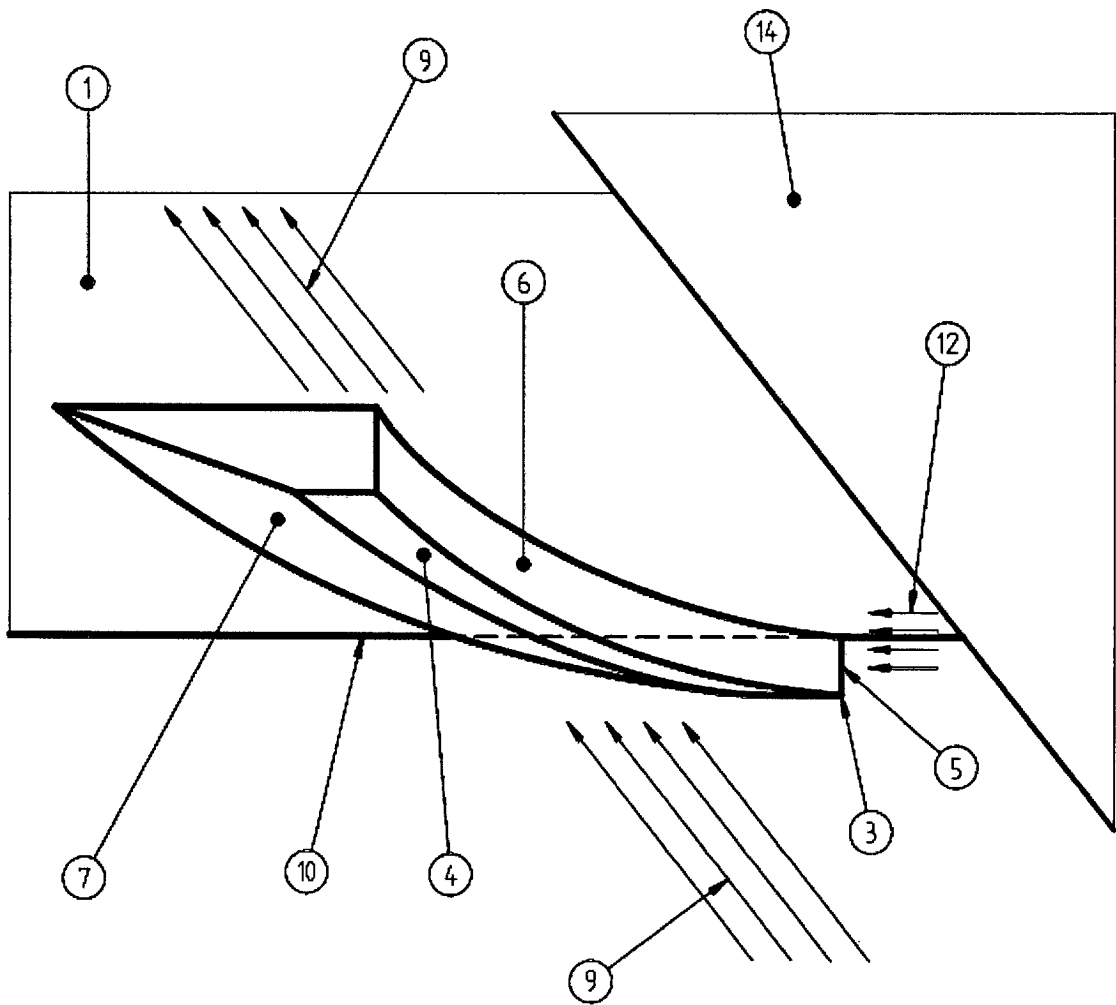


Fig. 1

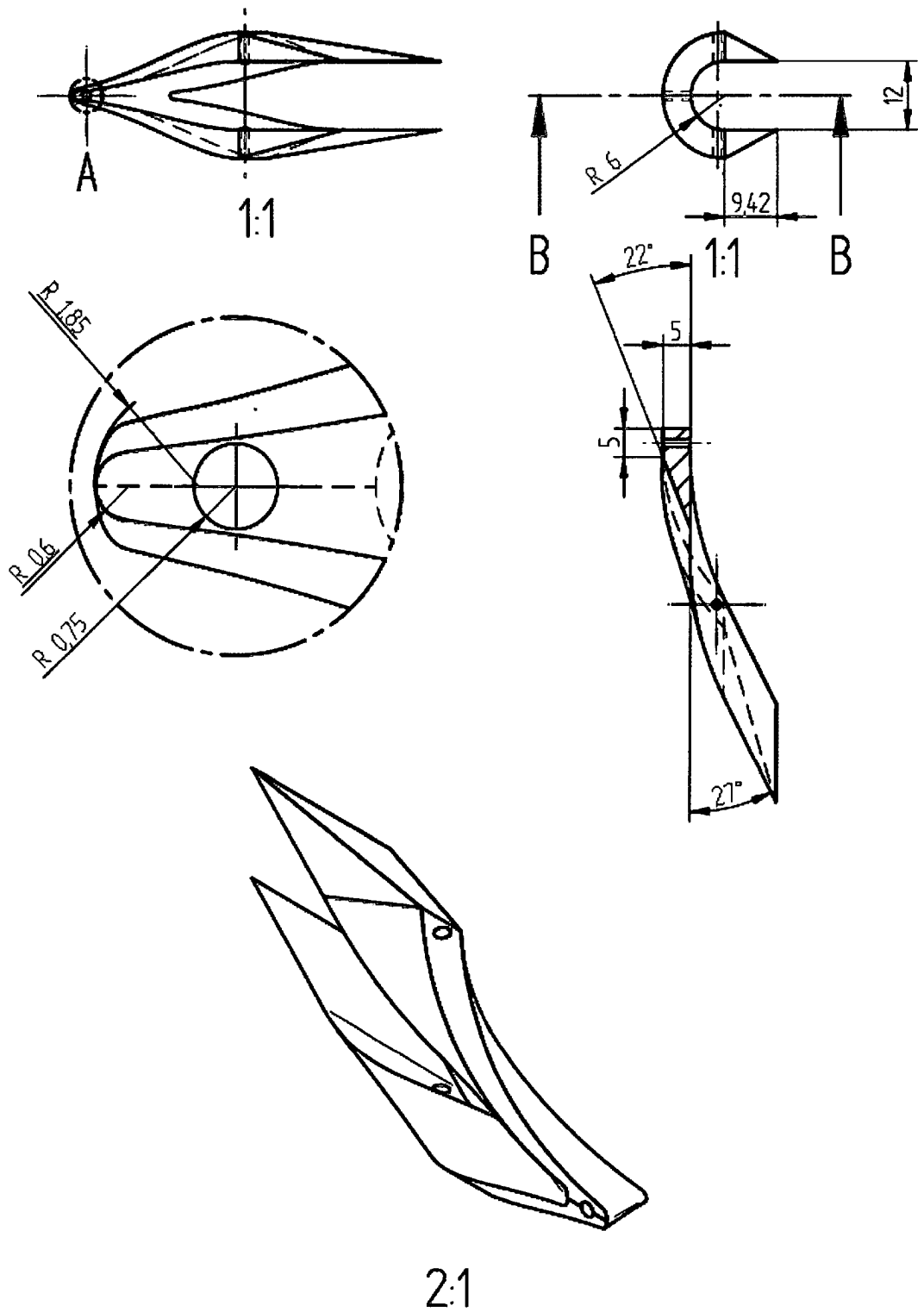


Fig. 2

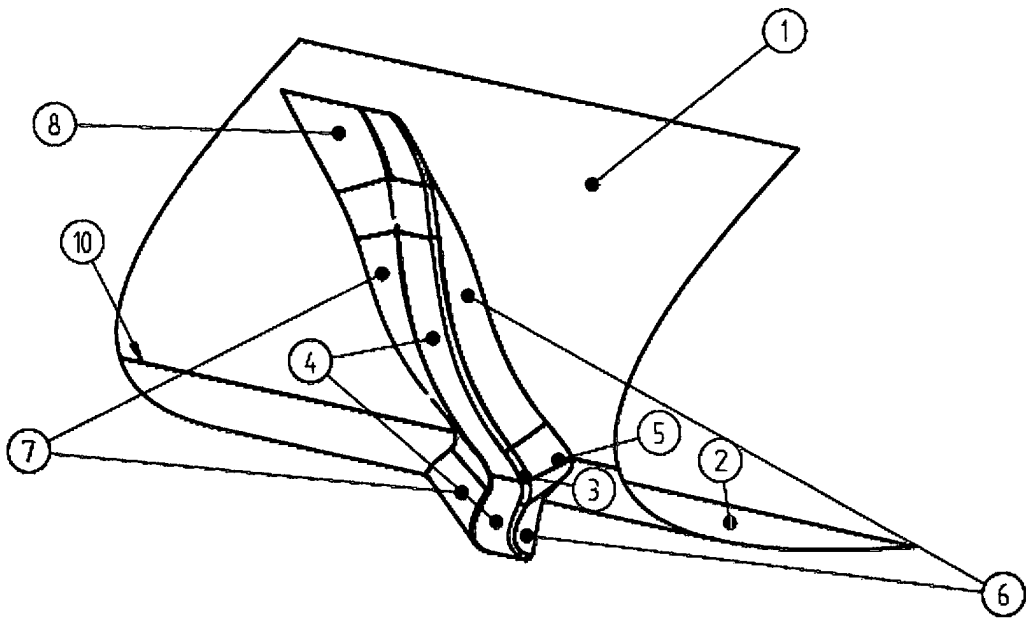


Fig. 4

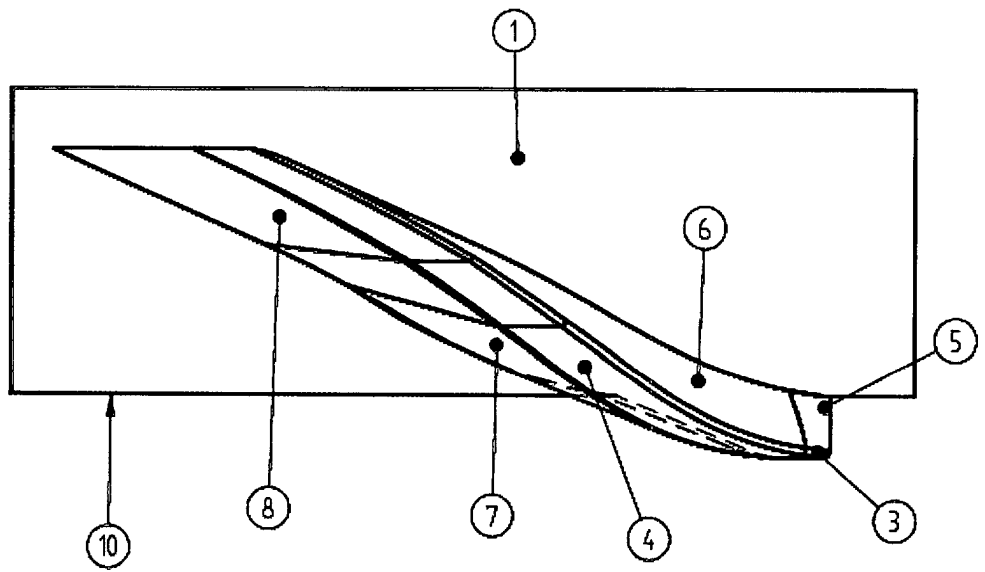


Fig. 5

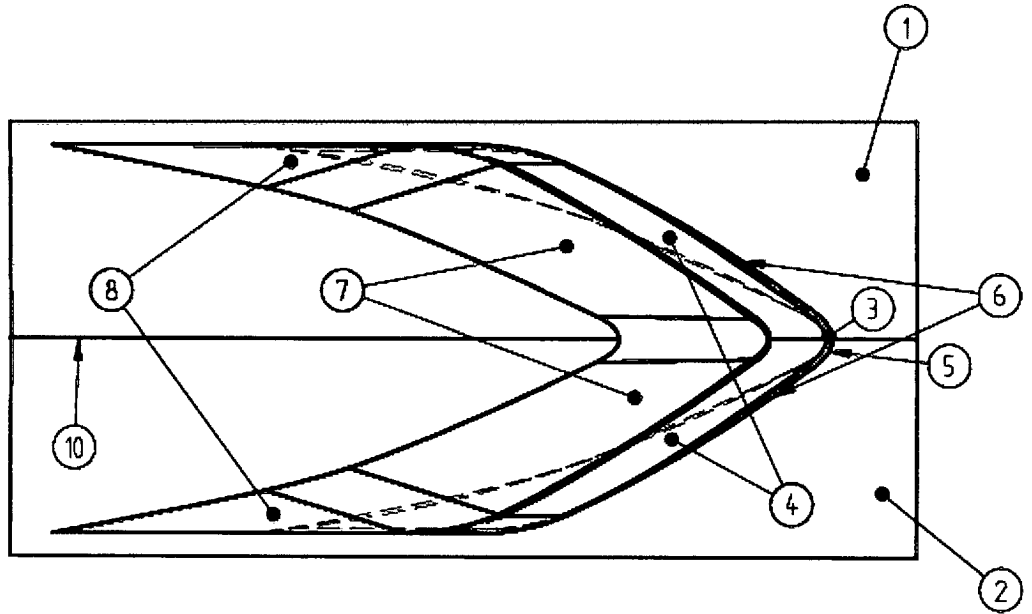


Fig. 6

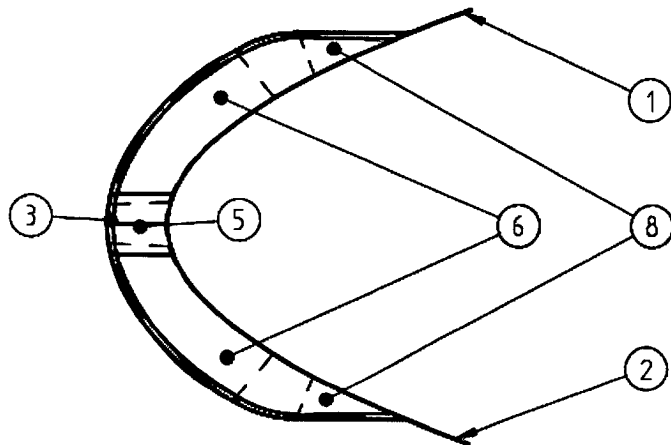


Fig. 7

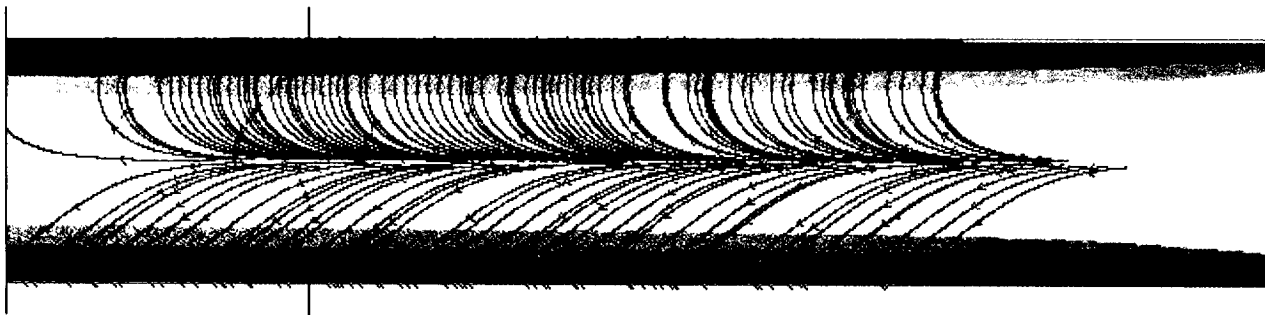


Fig. 8