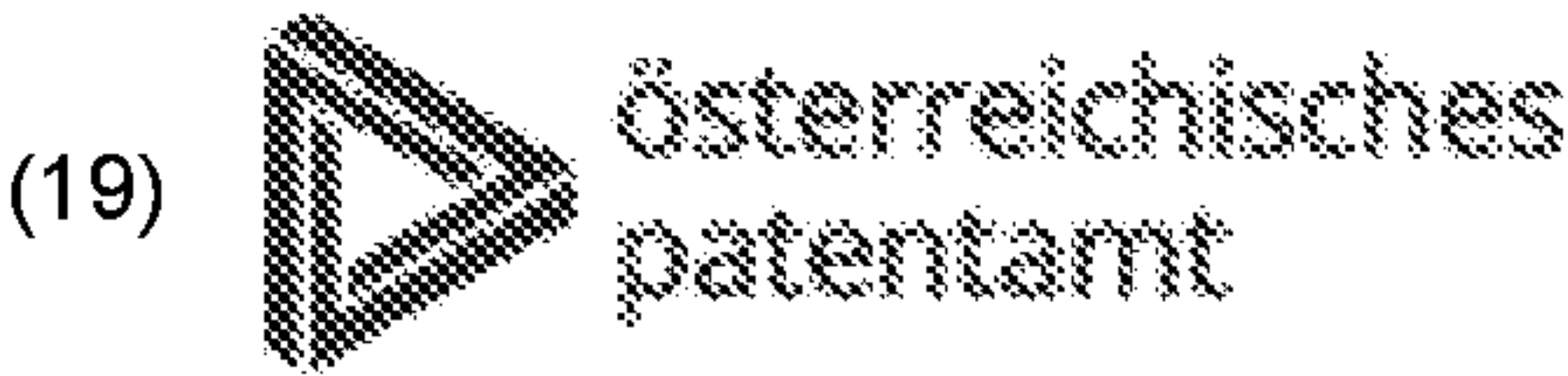




(10) **AT 522086 A4 2020-08-15**

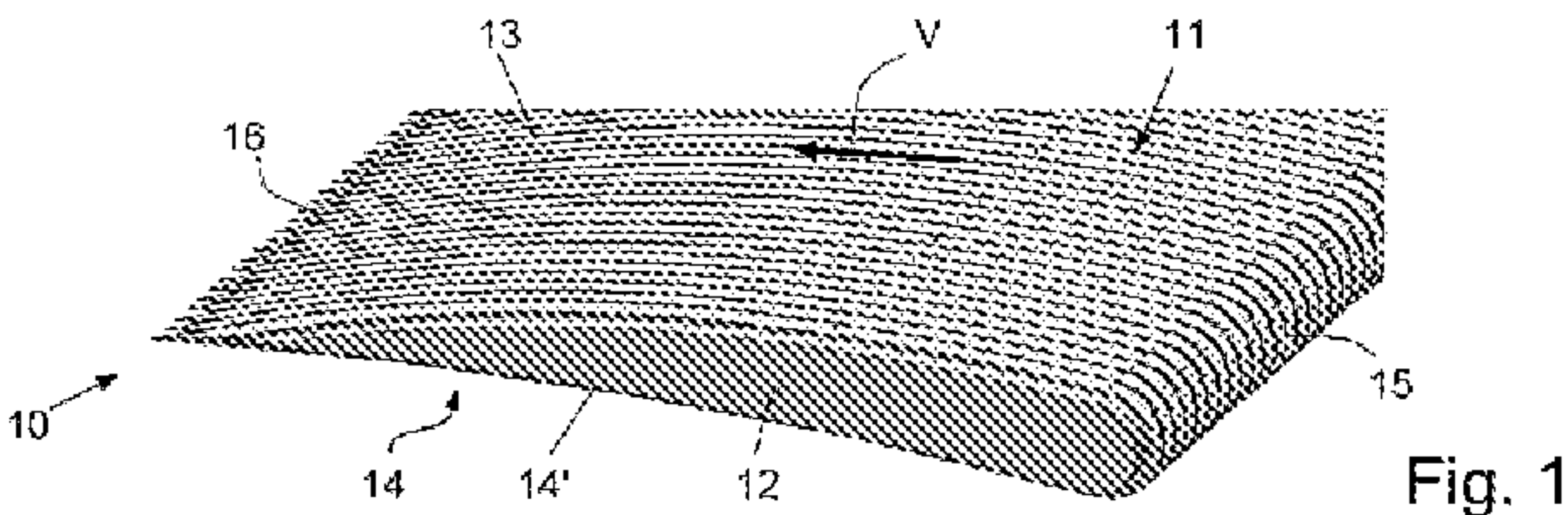
(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50233/2019 (51) Int. Cl.: **F03D 1/06** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 19.03.2019
(43) Veröffentlicht am: 15.08.2020

(56) Entgegenhaltungen: US 2012061522 A1	(71) Patentanmelder: Schmidt Michael 8862 Stadl (AT) (72) Erfinder: Schmidt Michael 8862 Stadl (AT)
---	--

(54) **AERODYNAMISCHES BAUTEIL**

(57) Ein aerodynamisches Bauteil (10), z. B. ein Rotorblatt, dessen Blattform eine Überdruckseite (14) und eine Unterdruckseite (13) zwischen einer Vorderkante (15) und einer Hinterkante (16) hat. Die Überdruckseite und die Unterdruckseite weisen eine Oberfläche mit einer Wellenstruktur (11) auf, welche von einer Vielzahl von Rippen gebildet ist, die zueinander parallel in einer einem Strömungsverlauf entlang der Blattform entsprechenden Verlaufsrichtung (V) von der Vorderkante zu der Hinterkante verlaufen und in Richtung senkrecht zu der Verlaufsrichtung ein Profil mit abwechselnd konvexen Wellenbergen und konkaven Wellentälern aufweisen.



ZUSAMMENFASSUNG

Ein aerodynamisches Bauteil (10), z. B. ein Rotorblatt, dessen Blattform eine Überdruckseite (14) und eine Unterdruckseite (13) zwischen einer Vorderkante (15) und einer Hinterkante (16) hat. Die Überdruckseite und die Unterdruckseite weisen eine Oberfläche mit einer Wellenstruktur (11) auf, welche von einer Vielzahl von Rippen gebildet ist, die zueinander parallel in einem Strömungsverlauf entlang der Blattform entsprechenden Verlaufsrichtung (V) von der Vorderkante zu der Hinterkante verlaufen und in Richtung senkrecht zu der Verlaufsrichtung ein Profil mit abwechselnd konvexen Wellenbergen und konkaven Wellentälern aufweisen.

Fig. 1

AERODYNAMISCHES BAUTEIL

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein aerodynamisches Bauteil. Insbesondere betrifft die Erfindung ein aerodynamisches Bauteil mit einer eine Überdruckseite und eine Unterdruckseite aufweisenden Blattform, worin die Überdruckseite und die Unterdruckseite zwischen einer Vorderkante und einer Hinterkante der Blattform verlaufen; die Überdruckseite und/oder die Unterdruckseite weist/weisen eine Oberfläche mit einer Wellenstruktur auf, welche von einer Vielzahl von Rippen gebildet ist, die zueinander parallel in einer einem Strömungsverlauf des umgebenden aerodynamischen Mediums entlang der Blattform entsprechenden Verlaufsrichtung verlaufen. Ein aerodynamisches Bauteil der erfindungsgemäßen Art kann z.B. in einer Windenergieanlage eingesetzt werden, als Rotorblatt eines aus mehreren Rotorblätter bestehenden Rotors; dieser Rotor kann mit horizontaler Drehachse (z. B. mit drei in einer zentralen Nabe verankerten Rotorblättern) oder vertikaler Drehachse (z. B. Darrieus-Rotor) ausgelegt sein. Andere mögliche Anwendungen sind die einer Tragfläche, eines Antriebsrotors (in Luft oder Wasser) usw.

Stand der Technik

In der Offenlegungsschrift DE 102006043462 A1 wird ein Bauteil mit turbulent überströmter Hinterkante gezeigt, die den Zweck verfolgt, Hinterkantengeräusche abzumindern. In EP 0724691 B1 wird eine Oberfläche vorgestellt, deren Aufgabe es ist, eine Oberfläche eines Fluid-umströmten Körpers mit aus der Grundfläche (und über diese hinaus) vorstehenden Erhebungen strömungsgünstiger zu machen. Die EP 1805412 zeigt eine Turbine mit mindestens einem aerodynamischen Bauteil mit geformter Profilnase, die sich über die Länge des aerodynamischen Bauteiles erstreckt, um eine Reihe von beabstandeten, sich nach vorne erstreckenden Höckern zu definieren (auch als sogenanntes „Whale-Blade“ bekannt).

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein aerodynamisches Bauteil zu schaffen, dessen Luftwiderstand (allgemein: Strömungswiderstand) geringer ist als bei einem Blatt mit glatter

Oberfläche, insbesondere durch Verhindern des Abfließens der (Quer-)Strömung zur Tragflächenspitze (bzw. Rotorblattspitze) hin. Dies soll auch den Wirkungsgrad des Bauteils und gleichzeitig die Effizienz durch Veränderung der Blattgeometrie verbessern, wobei zumindest der Umschlagpunkt, in dem die laminare in eine turbulente Strömung umschlägt, durch zumindest teilweise Kanalisation des Fluidstromes in Hauptströmungsrichtung, möglichst weit zur Hinterkante hin verschoben werden soll.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird erfindungsgemäß ein aerodynamisches Bauteil vorgeschlagen, bei welchem die Rippen der Wellenstruktur zueinander parallel von der Vorderkante zu der Hinterkante verlaufen und in Richtung senkrecht zu der Verlaufsrichtung ein Profil mit abwechselnd konvexen Wellenberg und konkaven Wellentälern aufweisen. Das aerodynamische Bauteil weist somit auf der Unterdruckseite bzw. der Überdruckseite, vorzugsweise auf beiden Seiten, eine von der Vorderkante bis zur Hinterkante reichende im Wesentlichen wellige (gerillte) Oberfläche auf. Die Strömung entlang des aerodynamischen Bauteils wird hier als grundsätzlich laminar betrachtet, wobei ein Auftreten turbulenter Strömung an den Oberflächen der Über- und Unterdruckseite möglichst vermieden wird und/oder auf Oberflächenstrukturen in der laminaren Grenzschicht (siehe weiter unten) begrenzt wird.

Die Oberfläche weist somit eine Struktur mit Wellen auf, mit einem Wellenprofil, dessen Wellenberge und -täler entlang einer Verlaufsrichtung quer zur Längserstreckungsrichtung des Bauteils verläuft, wobei die Wellenberge und Wellentäler im Wesentlichen parallel zueinander verlaufen. Die Wellenstruktur kann gerade verlaufen oder (in einer Draufsicht auf den jeweiligen Bereich der Oberfläche gesehen) eine Krümmung aufweisen; im Falle eines gekrümmten Verlaufs der Wellenstruktur bedeutet „parallel“, dass die Wellenberge und -täler in gleichbleibenden Abstand zueinander verlaufen. Beispielsweise können die Wellen auf der Überdruck- und Unterdruckseite eine Krümmung zur Blattspitze hin (d.h. zur Blattspitze vorgewölbt, der Krümmungsmittelpunkt ist von der Blattspitze abgewandt) aufweisen; es ist aber auch möglich, dass die Krümmung auf einer Seite kleiner als jene auf der anderen Seite ist, und/oder die Krümmungen gegensätzlich zueinander verlaufen – z.B. kann der Verlauf auf der Überdruckseite zur Nabe hin gekrümmt sein, während auf der Unterdruckseite die Krümmung zur Blattspitze besteht). Vorzugsweise zeigt der Bauch der Krümmung an der Überdruckseite ebenfalls zur Blattspitze. Zudem

können die Wellen in bestimmten Abschnitten auch gerade verlaufen. In einer weiteren Variante kann auch eine Gegenläufigkeit der Krümmungen vorgesehen sein.

Es wurde erkannt, dass die erfindungsgemäße Wellenstruktur, in der die Wellenberge (und -täler) von der Vorderkante bis zur Hinterkante der Blattoberfläche(n) reichen, die Luftströmung kanalisiert. Ein über das Rotorblatt strömendes Medium (z.B. Luft) kann auf diese Weise effizient derart geführt werden, dass eine unerwünschte seitliche Driftströmung entlang der Längsachse vermindert ist. Dies wirkt sich außerdem vorteilhaft auf eine Geräuschemission im Betrieb aus. Günstig ist es hierzu, wenn die Luftführungsrillen im Wesentlichen parallel zueinander ausgerichtet sind. Die Strömungsgeschwindigkeit im Kanal ist signifikant erhöht.

Die Wellenstruktur kann bevorzugt über die Vorderkante und Hinterkante hinausreichen (überstehen), sodass die Wellenberge vor der Blattvorderkante (d.h. Profilnase) beginnen und nach der Blatthinterkante enden. In diesem Fall ist die Sehnenlänge des Blattes im Bereich der Wellenberge um den Überstand an Blattvorderkante und Blatthinterkante länger als die Sehnenlänge der Wellentäler; mit anderen Worten, die Wellenberge stehen sowohl an der Blattvorderkante als auch an der Blatthinterkante vor und bilden somit an der Vorder- bzw. Hinterkante eine mehr oder weniger gewellte Linie oder sogar kamm-artige Struktur. Diese Struktur führt zu einer weiter verbesserten Führung der Strömung, wobei ein über die Profilnase vorstehender, über die ganze Länge bis zum Überstand an der Blatthinterkante reichender Wellenberg die Strömung kanalisiert.

In einer anderen Ausgestaltung sind die Wellenberge und Wellentäler alternierend auf der Über- und Unterdruckseite angeordnet; in diesem Fall sind die Breiten der Wellenberge und jene der Wellentäler bevorzugt gleich. Wenn hierbei die Wellenberge und -täler bis an die Hinterkante (gegebenenfalls auch Vorderkante) reichen, kann dies zu einer Wellenform der Kante aufgrund der dort auslaufenden alternierenden Wellenstruktur einhergehen.

Die erfindungsgemäßen Wellen sind somit entlang einer Verlaufsrichtung quer zur Längserstreckungsrichtung des Bauteils, und bevorzugt über die gesamte Längserstreckung von der Blattwurzel bis zur Blattspitze, angeordnet. Die Wellenberge und Wellentäler verlaufen bevorzugt bis unmittelbar an den durch die Hinter- bzw. Vorderkante gebildeten Rand oder reichen sogar über diesen hinaus, wie weiter oben bereits erwähnt.

In einer weiteren Ausführung sind die Wellenberge nicht über ihre gesamte Länge gleich hoch. Hierbei können die Wellenberge in ihrer Längserstreckungsrichtung variieren, und/oder es können nebeneinanderliegende Wellenberge unterschiedliche Höhe besitzen.

Der Querschnitt eines Wellenberges kann beispielsweise annähernd eine Parabel sein, wohingegen der des Wellentales bevorzugt einen korbbogenähnlichen Querschnitt aufweist. Unter Korbbogen wird hierbei die (z.B. aus der Architektur bekannte) Form eines aus Kreisbogensektoren zusammengesetzten Bogens verstanden, wobei die Krümmung eines weiter außen liegenden Bogensektors geringer ist als die eines weiter innen liegenden. Des Weiteren ist es günstig, wenn ein Wellental einhalbmal bis 5mal so breit ist wie die Höhe eines Wellenberges. Hierbei kann die Höhe eines Wellenberges – insbesondere bei der Verwendung in Luft oder einem anderen gasförmigen Strömungsmedium – jeglichen geeigneten Wert annehmen, beispielsweise zwischen 5 nm und 250 mm betragen; ein bevorzugter Bereich der Höhe ist zwischen 50 mm und 150 mm.

Die Höhe des Wellenberges kann entlang der Längserstreckungsrichtung des aerodynamischen Bauteils variieren. Beispielsweise kann die Höhe ausgehend von der Blattwurzel ein erstes Maximum und ein darauffolgendes relatives Minimum durchlaufen, jedoch nimmt die Höhe bevorzugt an der Blattspitze ein Maximum an. Beispielsweise nimmt beginnend von einem kleinen Anfangswert an der Blattwurzel die Höhe der Wellenberge bis etwa 15–20% der Längserstreckung zu, um dann im Bereich bis etwa 55% der Längserstreckung abzunehmen, und nimmt ab 75% der Längserstreckung wieder zu und endet bei 100% (d.h. an der Blattspitze) mit einem Maximum. Im Bereich 20–45% der Längserstreckung können zudem die Wellenberge so ausgebildet sein, dass zumindest ein Wellenberg von der Vorderkante zur Hinterkante verlaufend in der Höhe zunimmt. Vorzugsweise orientiert sich die Höhe der Wellenberge an der Dicke der Grenzschicht der das Blatt anströmenden Luft.

Die Länge des aerodynamischen Bauteiles bezeichnet dabei den Abstand zwischen einer Wurzel und einer Spitze des aerodynamischen Bauteils bzw. (bei ca. mittiger Aufhängung) zwischen zwei Spitzen des aerodynamischen Bauteils.

Bei einer längenkonstanten Ausführung des Bauteils sind zumindest zwei verschiedene Blattprofile (Wellenbergmodul und Wellentalmodul) in der Breite aneinandergesekoppelt, an der Verbindungsstelle fest verbunden.

Im Folgenden wird die Erfindung samt weiteren Ausgestaltungen und Vorzügen anhand einiger beispielhafter Ausführungsformen erläutert, die in den beigefügten Figuren dargestellt sind. Die Figuren zeigen:

- Fig. 1 eine Teilansicht eines aerodynamischen Bauteils gemäß einer ersten Ausführungsform in einer perspektivischen Ansicht;
- Fig. 2 illustriert einen geraden Verlauf der Wellenstruktur entlang der Verlaufsrichtung;
- Fig. 3 illustriert einen gekrümmten Verlauf der Wellenstruktur, wobei hier eine Krümmung zur Blattspitze hin (d.h. im Bild nach rechts) erkennbar ist;
- Fig. 4 zeigt ein erstes Beispiel einer Formgebung der Wellenberge und Wellentäler der Wellenstruktur;
- Fig. 5 zeigt ein zweites Beispiel einer Formgebung der Wellenberge und Wellentäler der Wellenstruktur;
- Fig. 6 zeigt ein drittes Beispiel einer Formgebung mit alternierenden Wellenprofilen;
- Fig. 7 zeigt ein viertes Beispiel einer Formgebung mit alternierenden Wellenprofilen;
- Fig. 8 zeigt mehrere beispielhafte Formen von Wellenbergen;
- Fig. 9 illustriert zwei mögliche Arten, wie die Wellenstruktur an der Hinterkante abschließt, nämlich zum einen endet sie die an der Hinterkante unmittelbar, zum anderen läuft sie über die Hinterkante hinaus, sodass eine kammartige Struktur gebildet ist;
- Fig. 10 illustriert eine weitere Art des Abschlusses der Wellenstruktur an der Hinterkante, nämlich ein „Auslaufen“, bei dem die Gesamthöhe zur Hinterkante hin auf Null abnimmt,
- Fig. 11 zeigt ein erstes Beispiel einer Oberflächengestaltung der Wellenstruktur mit einer Rillenstruktur als Überstruktur,
- Fig. 12 zeigt ein weiteres Beispiel einer Oberflächengestaltung der Wellenstruktur mit gitterartig angeordneten Grübchen als Überstruktur,
- Fig. 13 zeigt noch ein Beispiel einer Oberflächengestaltung, nämlich mit halbkugelförmigen Noppen als Überstruktur in einem Wellental,

Fig. 14–16 zeigen, jeweils in perspektivischen Detailansichten z.B. der Oberseite, verschiedene Beispiele eines entlang der Verlaufsrichtung oszillierenden Verlaufs der Höhe der Wellenstruktur, nämlich Fig. 14 einen sinusartigen Verlauf, Fig. 15 einen asymmetrisch wellenartigen Verlauf, und Fig. 16 einen Sägezahn-artigen Verlauf.

Es versteht sich, dass die hier behandelten Ausführungsformen beispielhafter Art und nicht einschränkend für die vorliegende Erfindung sind. Ebenso versteht sich, dass sämtliche Ausführungsformen miteinander kombiniert werden können, wo immer dies sinnvoll sein kann, wobei insbesondere die besonderen Merkmale der einen Ausführungsform mit den besonderen Merkmalen einer anderer Ausführungsformen vereinigt werden können.

Fig. 1 zeigt ein aerodynamisches Bauteil 10 gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung, das ein Rotorblatt eines Windrades ist. Von dem Bauteil 10 ist in der Figur nur ein Teil gezeigt, nämlich das nabenseitige Ende („Wurzel“) des Rotorblatts mit einer Endfläche 12, die zugleich auch eine Querschnittsfläche gemäß einem Tragflächenprofil an sich bekannter Art verwirklicht. In Fig. 1 ist die Unterdruckseite 13 des Bauteils 10 nach oben orientiert dargestellt, und die Überdruckseite 14 (von der in Fig. 1 lediglich die nabenseitige Kante 14' sichtbar ist) nach unten orientiert dargestellt.

Die Strömungsrichtung des aerodynamischen Mediums – hier Luft – ist in Fig. 1 entlang der Verlaufsrichtung V von rechts kommend an der Vorderkante 15 (Profilnase) vorbei über die Flächen der Über- und Unterdruckseite zur Hinterkante 16 und über diese hinaus.

Die Oberflächen der Über- und Unterdruckseite 13, 14 weisen erfindungsgemäß eine Wellenstruktur 11 auf, wobei die Wellenberge und Wellentäler im Wesentlichen parallel zueinander und vorzugsweise entlang der Verlaufsrichtung V verlaufen. Bei der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform verläuft die Wellenstruktur kontinuierlich von der Überdruckseite 14 über die Rundung der Vorderkante 15 zur Unterdruckseite 13; an der Hinterkante 16 treffen die Wellen der Wellenstruktur aufeinander und bilden dort eine kammartig auslaufende Form.

Die Wellenstruktur 11 verläuft in dieser Ausführungsform gerade entlang der Verlaufsrichtung V. In einer Draufsicht auf die betreffende Oberfläche – siehe Fig. 2 – bilden die Wellenberge (bzw. Wellentäler) somit gerade Linien.

Alternativ kann, wie in Fig. 3 illustriert, die Wellenstruktur 18 eine Krümmung aufweisen; im Falle eines gekrümmten Verlaufs der Wellenstruktur bedeutet „parallel“, dass die Wellenberge und -täler in gleichbleibenden Abstand zueinander verlaufen. Beispielsweise können die Wellen auf der Über- und Unterdruckseite eine einheitliche Krümmung zur Blattspitze hin (d.h. zur Blattspitze vorgewölbt, der Krümmungsmittelpunkt ist von der Blattspitze abgewandt) aufweisen; in Fig. 3 befindet sich die Blattspitze rechts außerhalb des dargestellten Bereichs. Dies ist beispielsweise im Falle eines Rotorblattes günstig. Des Weiteren ist es in (nicht gezeigten) Varianten möglich, dass die Krümmung auf einer Seite kleiner als jene auf der anderen Seite ist, und/oder die Krümmungen gegensätzlich zueinander verlaufen – z.B. kann der Verlauf auf der Überdruckseite zur Nabe hin gekrümmt sein, während auf der Unterdruckseite die Krümmung zur Blattspitze besteht. Vorzugsweise zeigt der „Bauch“ der Krümmung an der Überdruckseite ebenfalls zur Blattspitze. In weiteren (nicht gezeigten) Variante können zudem die Wellen in bestimmten Abschnitten auch gerade verlaufen. Außerdem kann auch eine Gegenläufigkeit der Krümmungen der beiden Seiten ausgebildet sein, wobei die Hinterkante einen S-förmigen Verlauf aufweisen kann.

Im Allgemeinen ist die erfindungsgemäße Wellenstruktur quer zur Längserstreckungsrichtung des Bauteils angeordnet. Die Wellenstruktur ist vorzugsweise über die gesamte Länge des Bauteils vorhanden, und kann hierbei gleichbleibende oder variierende Ausprägung haben.

Die Formgebung der Wellenberge und Wellentäler in der erfindungsgemäßen Wellenstruktur sowie deren Höhe und Breite kann je nach der gewünschten Anwendung gewählt werden. Im Rahmen dieser Offenbarung sind die Begriffe Höhe und Breite so zu verstehen, dass die Höhe und Breite der Wellenberge in Bezug auf jenes Niveau gemessen wird, dass dem Rand der konkaven Krümmung der Wellentäler entspricht. Ebenso werden Höhe und Breite der Wellentäler in Bezug auf das genannte Niveau gemessen, somit in Bezug auf den konkav gekrümmten Bereich jeweils eines Wellentales. Die Höhe der Wellenstruktur (Gesamthöhe) ist die Höhe des „Gipfels“ eines Wellenberges über der „Sohle“ eines angrenzenden Wellentales, d.h. die Summe der Höhe des Wellenberges und Wellentales.

Fig. 4 zeigt ein Beispiel einer Formgebung anhand einer perspektivischen Schnittansicht der Hinterkante H, wobei die Schnittebene entlang der Hinterkante H quer zur Mittelebene des Bauteils verläuft (d.h. in Fig. 4 „vertikal“). Es ist erkennbar, dass die Wellenberge 21 ebenso wie die Wellentäler 22 mit einem Querschnitt in Form einer Parabel ausgebildet sind. Hierbei sind bevorzugt die Wellentäler deutlich flacher als die Wellenberge, d.h. ihre Breite ist größer und ihre Höhe ist geringer als die der Wellenberge.

Die Wellenstrukturen der Unter- und Überdruckseiten sind hier beispielsweise zueinander symmetrisch, jedoch können die Wellenstrukturen der beiden Seiten gegebenenfalls auch unterschiedlich gestaltet sein.

In einer anderen günstigen Formgebung, die in Fig. 5 dargestellt ist, sind die Wellenberge 25 auf der Oberseite (Unterdruckseite) mit einem trapezförmigen Querschnitt aufgebaut, bevorzugt gemäß einem gleichschenkeligen Trapez. Die Wellenberge können in abgewandelten Varianten so gestaltet sein, dass sie ein allgemein nicht-symmetrisches Trapez darstellen.

Die Parabelform einer Rillenstruktur ermöglicht eine vergleichsweise größere Höhe der Wellenstruktur, dadurch kann auch eine dicke Grenzschicht zuverlässig geleitet werden. Die Trapezform ist eine Form, die dünnere Grenzschichtstärken effektiv in Kanälen leiten kann, zudem ist der Querschnitt einer trapezförmigen Rille auch größer, und die effektive Querschnittfläche des Blattes des aerodynamischen Bauteils erhöht sich um die Höhe der Wellenberge.

Wie zudem in Fig. 4 ersichtlich ist, kann die Höhe der Wellenberge quer zur Verlaufsrichtung variieren, d.h. verschiedene Wellenberge können verschiedene Höhenwerte aufweisen. Beispielsweise können verschiedene Bereiche entlang der Längserstreckung des Bauteils unterschiedlich hohe Wellenberge (bzw. Wellenstrukturen) aufweisen. Dies ist in Fig. 4 anhand des kleineren Wellenberges 23 verdeutlicht. Beispielsweise kann die Höhe der Wellenstruktur bereichsweise je nach der erwarteten Strömungsgeschwindigkeit über den jeweiligen Bereich des aerodynamischen Bauteils (z.B. im Falle eines Rotorblattes) variieren.

Fig. 6 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Wellenstruktur, worin die Wellenberge an der Ober- und Unterseite (Unter- bzw. Überdruckseite) jeweils alternierende Höhen

aufweisen. Dies kann auch z. B. mit einer unterschiedlichen Formgebung der Wellenberge verschiedener Höhe einhergehen (hier abwechselnd parabel- und trapezförmig). Die Lage der Wellenberge ist hinsichtlich der Ober- und Unterseite symmetrisch, jedoch entspricht in der gezeigten Ausführungsform hinsichtlich seiner Position ein „großer“ Wellenberg 61 der Oberseite einem „kleinen“ Wellenberg 63 der Unterseite und umgekehrt (Wellenberge 62, 64). Dies ergibt eine Gestaltung mit einer – in Blickrichtung entlang der Mittelebene auf die Hinterkante – Figur eines „Zick-Zack“-Bandes, und es ist mit einer Stabilisierung des Blattes in der Strömung zu rechnen, insbesondere das Vibrieren in der Turbulenz wird vermindert. Die Wellentäler 60 haben hierbei vorzugsweise eine gleiche Höhe (auf beiden Seiten), die allerdings geringer ist als die kleinste Höhe der Wellenberge.

Fig. 7 zeigt noch ein Ausführungsbeispiel, worin die Wellenstrukturen der Ober- und Unterseite gegeneinander so versetzt sind, dass ein Wellenberg 71, 72 der Oberseite einem Wellental 70 der Unterseite gegenüber liegt und umgekehrt. Durch eine in dieser Art „gewellte“ Hinterkante erfolgt eine günstige Art des Zusammenführens der Strömungen an der Ober- und Unterseite des Rotorblattes, da die zwischen den Wellenbergen geführten Strömungsfäden der beiden Seiten abwechselnd ineinandergreifen. Der Widerstand und die Gleitzahl bleiben im Wesentlichen gleich, aber die Geräuschemission wird deutlich reduziert.

Fig. 8 zeigt einige weitere Beispiele von zweckmäßigen Wellenbergformen, die mit Buchstaben (a) bis (g) bezeichnet sind; die Formgebung ist jeweils durch ihren Querschnitt charakterisiert: Die Form (a) ist eine Trapez-Form mit abgerundeten Flanken (abgeschnittene Parabel); die Form (b) ist ein symmetrisches Trapez; die Formen (c) und (d) sind asymmetrische Trapeze, wobei in Form (d) eine Kante im rechten Winkel zur Deckfläche steht. Die Formen (e), (f) und (g) zeigen verschiedene Bogenformen, nämlich (e) und (f) Parabel-Formen mit verschiedenen Höhe-Breite-Verhältnissen und (g) einen auf ein Trapez gesetzten Parabelbogen. Die nach außen gerundeten „Füße“ in den Formen (a), (e) und (f) gehören nicht zum Wellenberg, sondern sind bereits ein Teil des anliegenden Wellentals.

Die Wellentäler sind im Querschnitt in Form von Parabeln oder bevorzugt von Korbbögen gestaltet. Allgemeiner sind natürlich auch andere konkave Formen möglich.

Die Höhe der Wellenberge kann längs ihres Verlaufs gleichbleibend sein oder variieren. Die Höhe der Wellenberge kann abschnittsweise variieren, wobei die Höhe und gegebenenfalls auch die Breite der Wellenberge verlaufend variiert. Ebenso kann die Höhe der Wellentäler, sofern gewünscht, abschnittsweise variieren, wobei diese Variation unabhängig von der der Wellenberge sein kann oder z.B. synchron mit einer entsprechenden Variation der Höhe der Wellenberge erfolgen kann (variierende Höhe der Wellenstruktur). Beispielsweise zeigt Fig. 10 eine Wellenstruktur 19, deren Gesamthöhe zur Hinterkante hin auf Null abnimmt.

Die Spitze eines Wellenbergs bildet somit eine in der Verlaufsrichtung verlaufenden „Gipfelinie“, die in Abhängigkeit von dem Ort auf dem aerodynamischen Bauteil in variierender oder gleichbleibender Höhe verläuft, oder gezackt sein kann. Unter gezackt ist eine Ausbildung der Gipfelinie im Allgemeinen mit Minima und Maxima zu verstehen, gegebenenfalls auch mit Stufen. In den Fig. 14 bis 16 sind einige Beispiele für einen gezackten Verlauf der Wellenberge illustriert. Die Höhe der Wellenstruktur oszilliert somit entlang der Verlaufsrichtung (räumliche Oszillation), wobei die Höhe je eines Wellenbergs ab- und zunimmt. In Fig. 14 weist jeder Wellenberg einen sinusartigen Verlauf 94 zwischen einem lokalen Minimalwert und einem lokalen Maximalwert auf. Zugleich wechselt die Formgebung im Profil zwischen trapezförmig und parabelartig; natürlich kann in (nicht gezeigten) Varianten die Formgebung des Profils gleich bleiben (z. B. Parabel mit modulierter Höhe), wobei nur die Größe bzw. Höhe des Wellenberges entlang der Verlaufsrichtung variiert wird. In Fig. 15 sind im Verlauf 95 die ansteigenden und abfallenden Flanken der Oszillation der Wellenberghöhe asymmetrisch gestaltet. In Fig. 16 hat die oszillierende Höhe einen Sägezahn-artigen Verlauf 96.

Die Wellenstruktur kann bevorzugt über die Vorderkante und Hinterkante hinausreichen (überstehen), sodass die Wellenberge vor der Blattvorderkante beginnen und nach der Blatthinterkante enden. In diesem Fall ist die Sehnenlänge des Blattes im Bereich der Wellenberge um den Überstand an Blattvorderkante und Blatthinterkante länger als die Sehnenlänge der Wellentäler; mit anderen Worten, die Wellenberge stehen sowohl an der Blattvorderkante als auch an der Blatthinterkante vor und bilden somit an der Vorder- bzw. Hinterkante eine mehr oder weniger gewellte Linie oder sogar kamm-artige Struktur.

Zwei verschiedene Arten des Abschlusses der Wellenstruktur an der Hinterkante H sind in Fig. 9 illustriert. In dem Bereich 91 endet die Wellenstruktur unmittelbar an der Hinterkante.

Durch wird das Profil der Wellenstruktur an der Hinterkante deutlich sichtbar. Alternativ (nicht gezeigt) könnten die Wellenberge abgerundet sein, quasi um die Hinterkante H herum von der Ober- zur Unterseite herumlaufend. In dem Bereich 92 laufen die Wellenberge über die Hinterkante H hinaus und bilden somit eine kammartige Struktur 93.

Diese Struktur 93 an der Hinterkante führt zu einer weiter verbesserten Führung der Strömung, wobei ein über die Profilhase vorstehender, über die ganze Länge bis zum Überstand an der Blatthinterkante reichender Wellenberg die Strömung kanalisiert.

Die Wellenstruktur kann zusätzlich mit einer Oberflächengestaltung ausgestattet sein, bei der die Oberfläche der Wellenberge und/oder -täler eine zusätzliche Strukturierung nach Art einer Überstruktur aufweisen, deren Größenskala freilich kleiner ist als die der Wellenstruktur selbst, nämlich um zumindest eine Größenordnung (d.h. einen Faktor von mindestens e oder 10), vorzugsweise um zumindest zwei Größenordnungen. Vorzugsweise besteht die Oberfläche aus einem Gewebe, deren Grundsubstanz mit Nanofilamenten beschichtet ist, beispielsweise aus Silikon oder Teflonfasern.

Die aerodynamischen Eigenschaften eines Rotorblattes werden wesentlich durch die Ausbildung einer Grenzschichtströmung an seiner Oberfläche bestimmt, und durch die Oberflächengestaltung kann die Grenzschichtströmung und insbesondere der durch sie (mit)bestimmte Strömungswiderstand maßgeblich verbessert werden.

Bezugnehmend auf die in Fig. 11 gezeigten ersten Variante der Oberflächengestaltung hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn die Wellenberge und Wellentäler insbesondere der Oberfläche an der Überdruckseite des aerodynamischen Bauteils mehrere, im Wesentlichen parallele Luftführungsrillen aufweist. Vorzugsweise bedecken diese Rillen die gesamte Fläche der Wellenstruktur, wie in Fig. 11 gezeigt ist.

Bezugnehmend auf Fig.12 sind in einer zweiten Variante der Oberflächengestaltung die Wellenberge und -täler mit polygonen Grübchen ausgebildet.

In einer dritten (nicht gezeigten) Variante kann die Oberfläche der Wellenberge und Wellentäler mit einem netzartigen oder gitterartigen Strukturmuster ausgebildet sein.

In einer vierten Variante kann die Oberfläche insbesondere der Wellentäler mit konvexen Strukturen, die z. B. nadelförmig und/oder stiftförmig und/oder noppenartig gestaltet sind, ausgestattet sein. In Fig. 13 ist beispielhaft eine Oberflächengestaltung eines Wellentales mit kleinen auf die Oberfläche aufgesetzten halbkugelförmigen Noppen gezeigt. Hierbei können die Stifte mithilfe von Naturborsten, Glasfasern oder auch Haare ausgeführt sein, deren Länge vorzugsweise 5 nm bis 5 mm beträgt.

PATENTANSPRÜCHE

1. Aerodynamisches Bauteil (10) mit einer eine Überdruckseite (14) und eine Unterdruckseite (13) aufweisenden Blattform, worin die Überdruckseite und die Unterdruckseite zwischen einer Vorderkante (15) und einer Hinterkante (16, H) der Blattform verlaufen,
wobei die Überdruckseite und/oder die Unterdruckseite eine Oberfläche mit einer Wellenstruktur (11) aufweisen, welche von einer Vielzahl von Rippen gebildet ist, die zueinander parallel in einer einem Strömungsverlauf entlang der Blattform entsprechenden Verlaufsrichtung (V) verlaufen,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Rippen der Wellenstruktur (11) zueinander parallel von der Vorderkante zu der Hinterkante verlaufen und in Richtung senkrecht zu der Verlaufsrichtung ein Profil mit abwechselnd konvexen Wellenbergen (21, 25, 61, 62, 63, 64, 71, 72) und konkaven Wellentälern (22, 60, 70) aufweisen.
2. Aerodynamisches Bauteil nach Anspruch 1, bei welchem in dem Profil der Wellenstruktur (11) die Wellentäler breiter sind als die Wellenberge.
3. Aerodynamisches Bauteil nach Anspruch 2, bei welchem die Wellenberge (21, 61, 71, 72) eine parabelförmige Querschnittsform haben.
4. Aerodynamisches Bauteil nach Anspruch 2, bei welchem die Wellenberge (25, 62) eine trapezartige Querschnittsform haben, vorzugsweise eine symmetrisch-trapezartige Querschnittsform.
5. Aerodynamisches Bauteil nach einem der Ansprüche 2 bis 4, bei welchem die Wellentäler (22, 60, 70) eine korbboogenartige Querschnittsform aufweisen, während die Wellenberge (21, 61-64, 71, 72) vorzugsweise eine gegenüber ihre Höhe geringere Breite aufweisen.
6. Aerodynamisches Bauteil nach einem der Ansprüche 2 bis 5, bei welchem die Wellentäler eine Breite aufweisen, die zwischen dem 0,5- und 5-fachen der Höhe der Wellenberge beträgt.

7. Aerodynamisches Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ausgelegt für den Betrieb in einem gasförmigen Medium, insbesondere Luft, wobei in dem Profil der Wellenstruktur die Höhe eines Wellenberges zwischen 5 nm und 150 mm beträgt.
8. Aerodynamisches Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem in dem Profil der Wellenstruktur die Wellenberge (61–64, 71, 72) variierende Höhen aufweisen, während die Höhe der Wellentäler (60, 70) im Wesentlichen gleich bleibt.
9. Aerodynamisches Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem sowohl auf der Überdruckseite als auch der Unterdruckseite die Rippen der Wellenstruktur an der Vorderkante (15) beginnen und an der Hinterkante (16) enden, wobei die Wellenberge der Wellenstruktur über die Vorderkante und/oder die Hinterkante vorstehen.
10. Aerodynamisches Bauteil nach Anspruch 9, wobei die vorstehenden Wellenberge der Wellenstruktur an der Vorderkante und/oder der Hinterkante eine kammartige Struktur bilden.
12. Aerodynamisches Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Rippen der Wellenstruktur auf zumindest einer der Überdruckseite und der Unterdruckseite einen gekrümmten Verlauf (18) haben, wobei der gekrümmte Verlauf vorzugsweise eine zu einer Spitze des Blattes hin orientierte Krümmung aufweist.
13. Aerodynamisches Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 12, bei welchem die Wellenstruktur auf der Überdruckseite und der Unterdruckseite gleichartig gestaltet ist, vorzugsweise zueinander symmetrisch.
14. Aerodynamisches Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 12, bei welchem die Wellenstruktur auf der Überdruckseite und der Unterdruckseite gleichartig gestaltet ist, wobei die Wellenstrukturen der beiden Seiten zueinander versetzt sind, sodass ein Wellenberg (71, 72) der einen Seite einem Wellental (70) der anderen Seite gegenüberliegend angeordnet ist.

15. Aerodynamisches Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Höhe der Wellenstruktur entlang der Verlaufsrichtung oszilliert, insbesondere hinsichtlich der Höhe eines oder mehrerer Wellenberge (94, 95, 96).
16. Aerodynamisches Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Wellenstruktur zusätzlich mit einer Überstruktur ausgestattet ist, deren Größenskala um zumindest eine Größenordnung kleiner ist als die der Wellenstruktur.
17. Aerodynamisches Bauteil nach Anspruch 16, worin die Überstruktur als netzartiges oder gitterartiges Strukturmuster ausgebildet ist.
18. Aerodynamisches Bauteil nach Anspruch 16, worin die Überstruktur als Vielzahl von auf die Oberfläche aufgesetzten konvexen Noppen und/oder in die Oberfläche vertieften konkaven Grübchen ausgebildet ist, wobei die Noppen bzw. Grübchen vorzugsweise polygonal oder halbkugelförmig sein können.

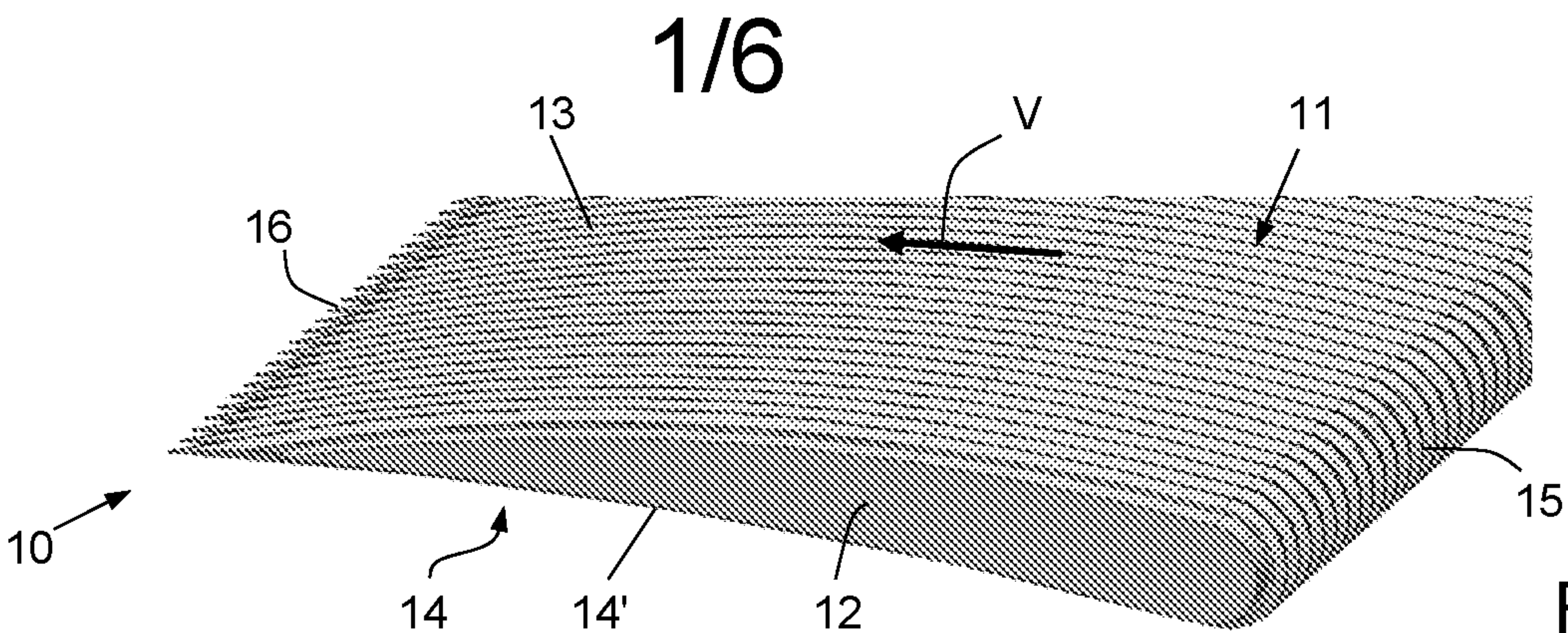


Fig. 1

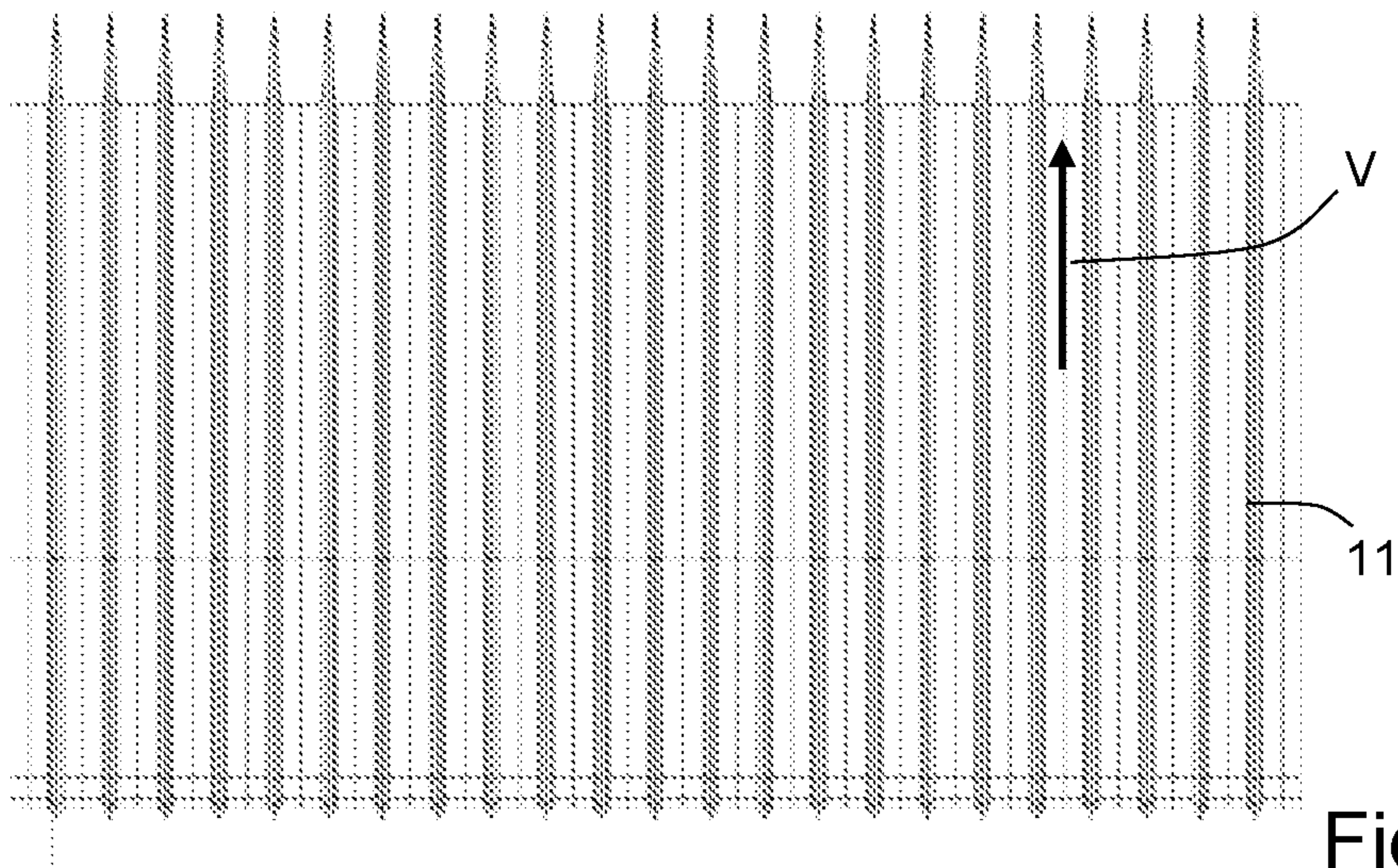


Fig. 2

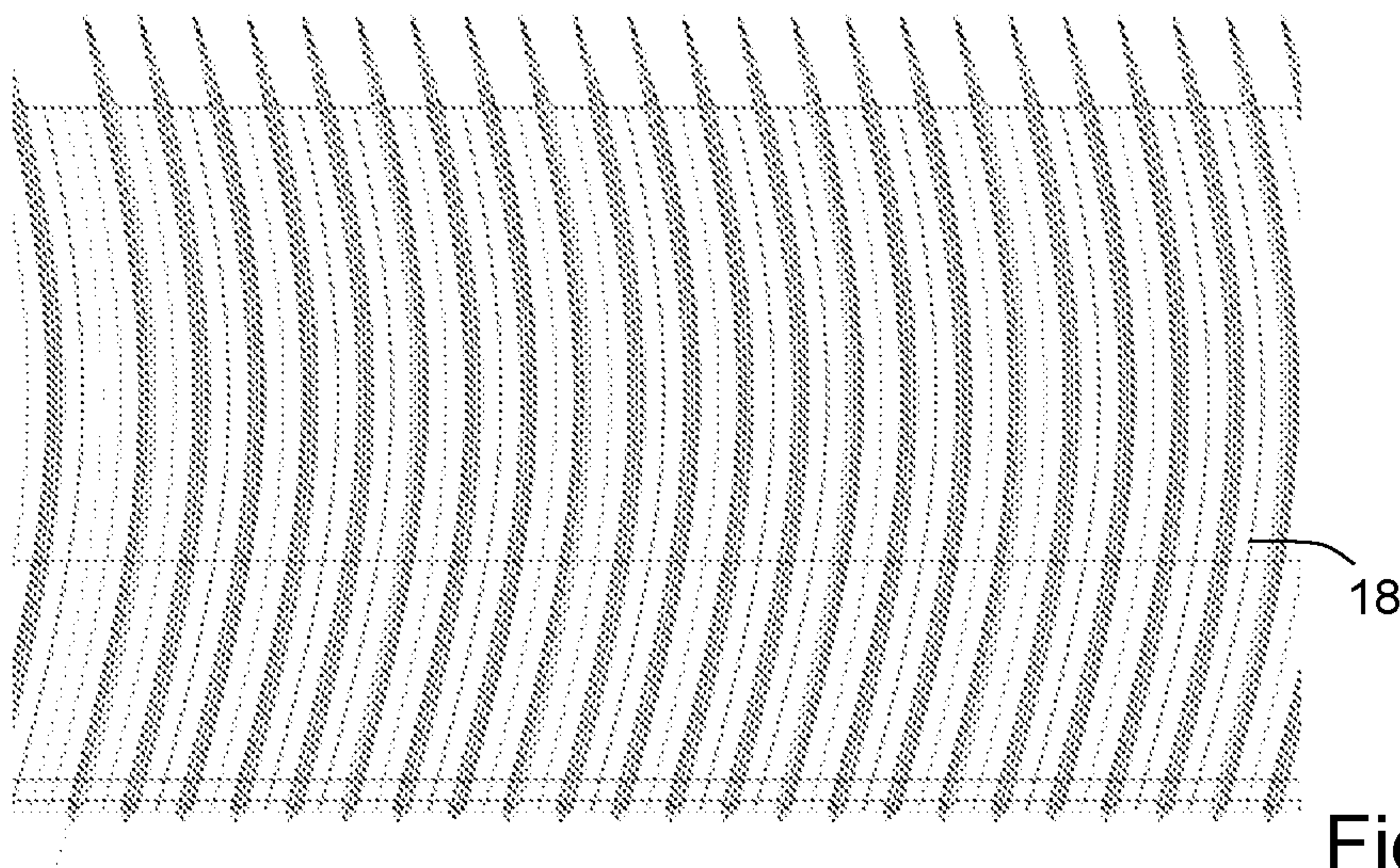
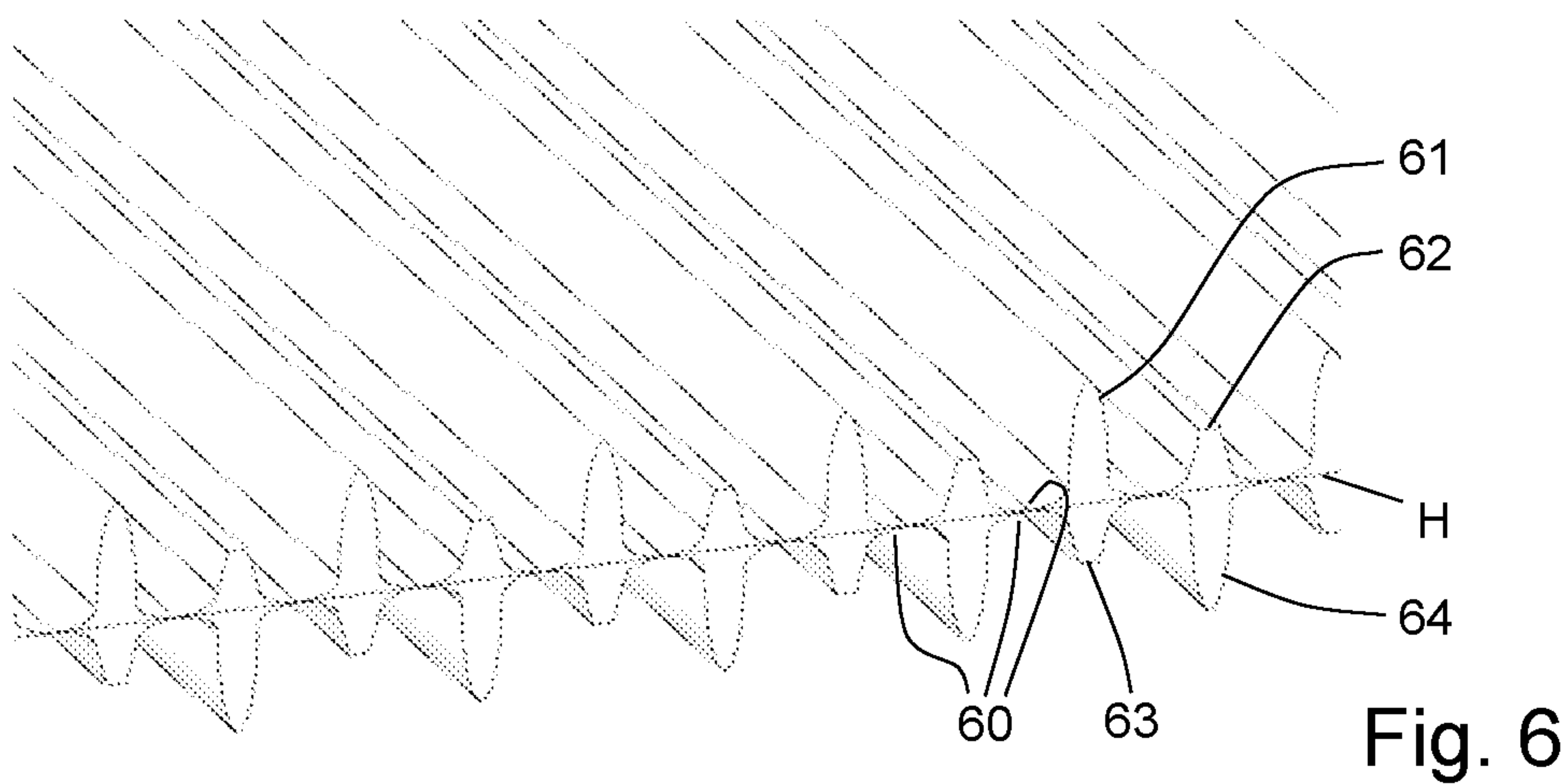
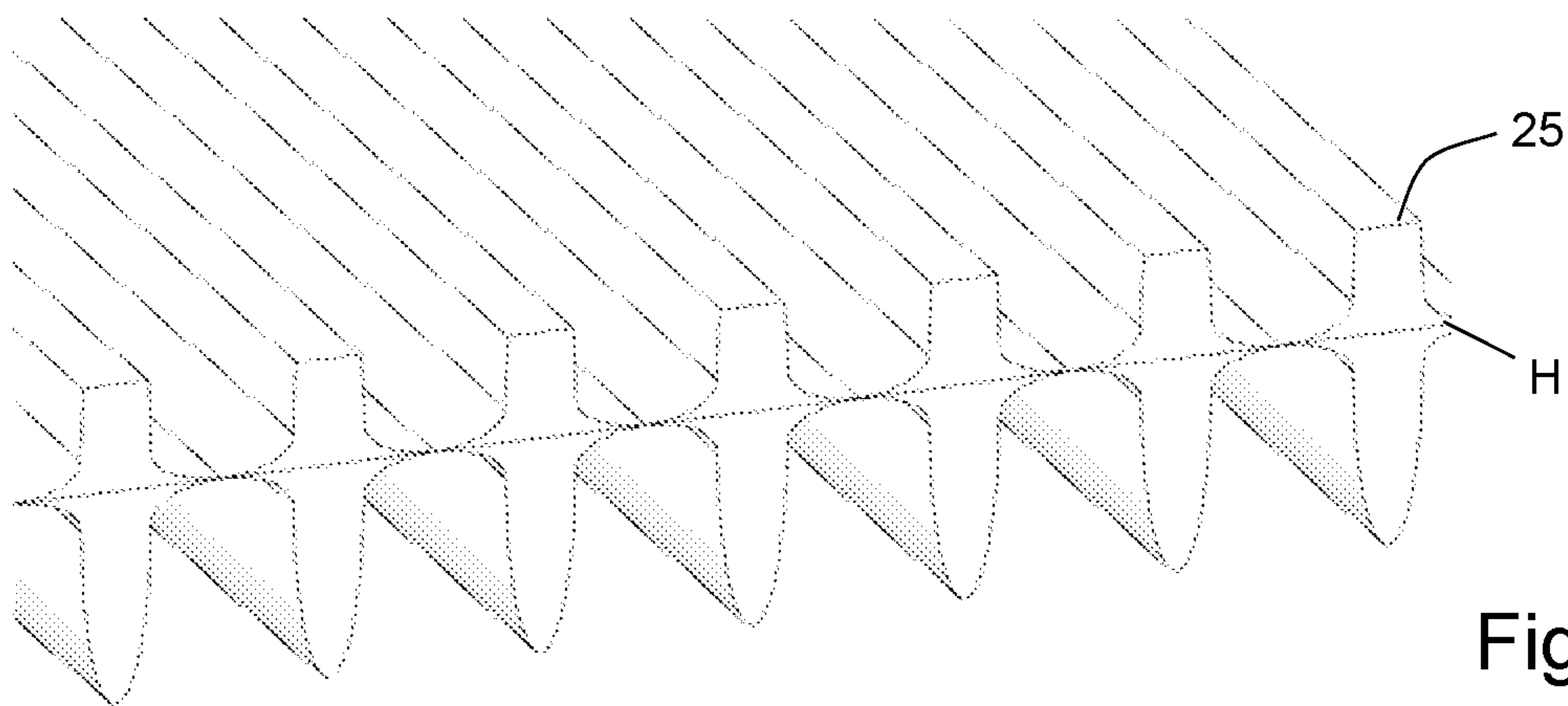
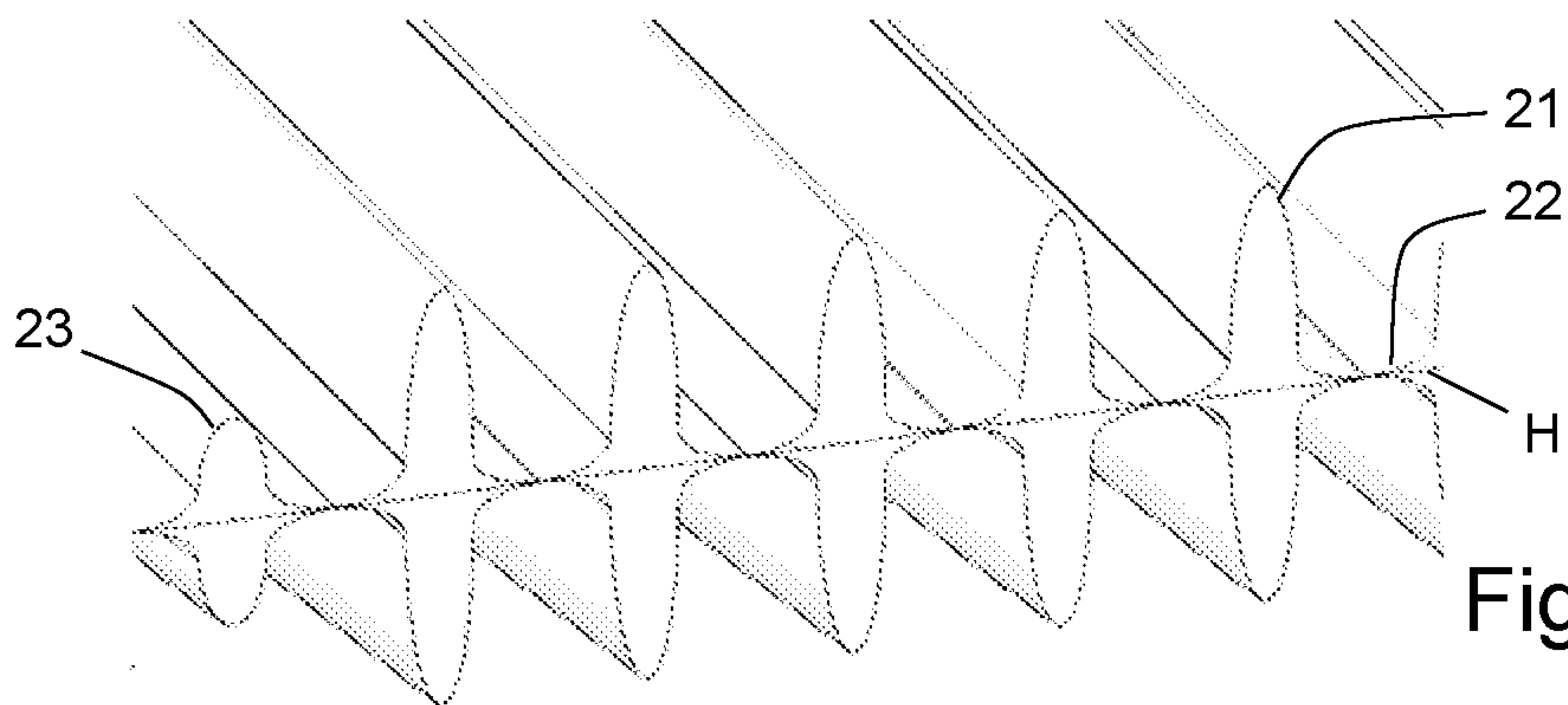


Fig. 3

2/6



3/6

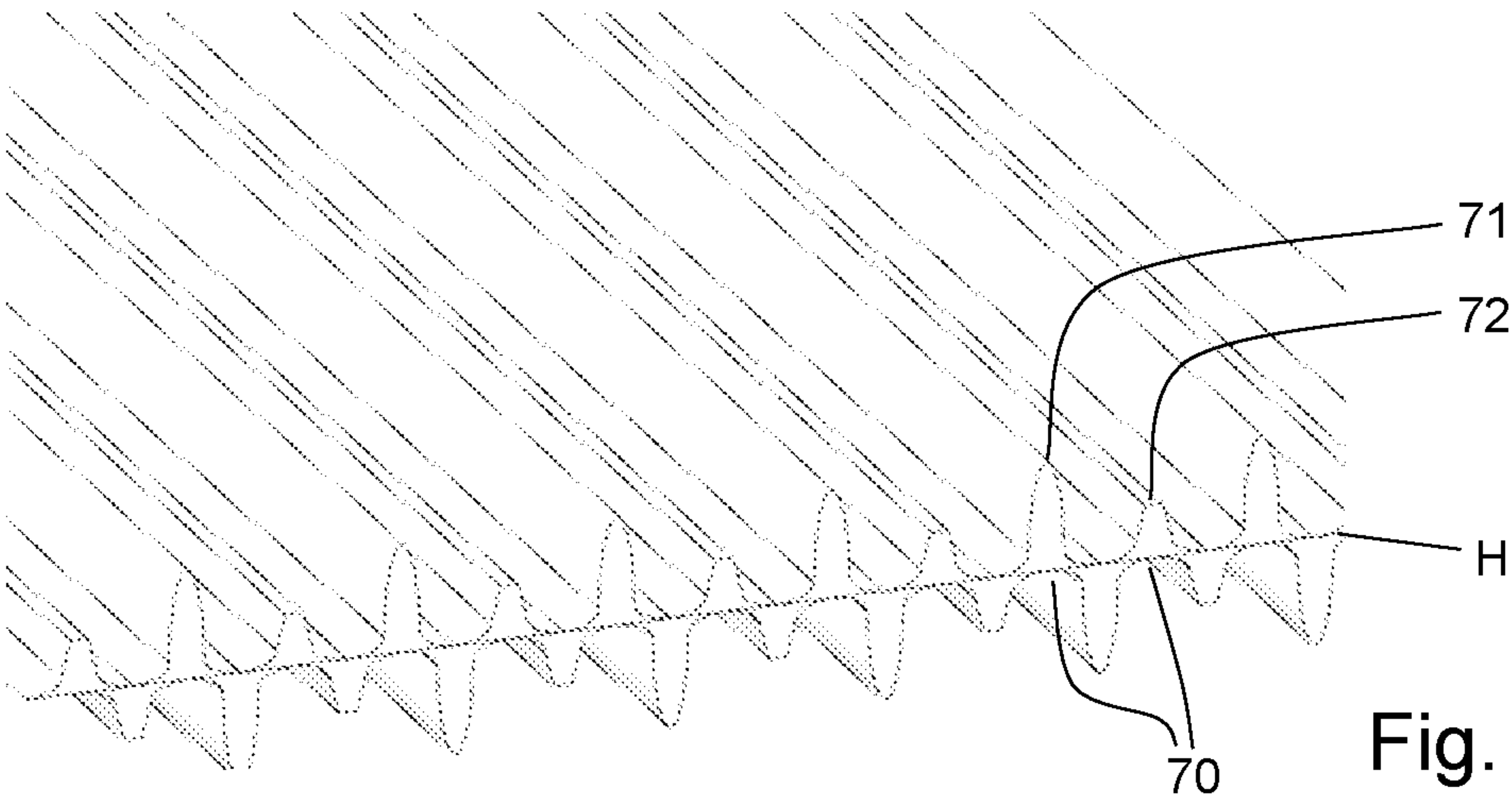


Fig. 7

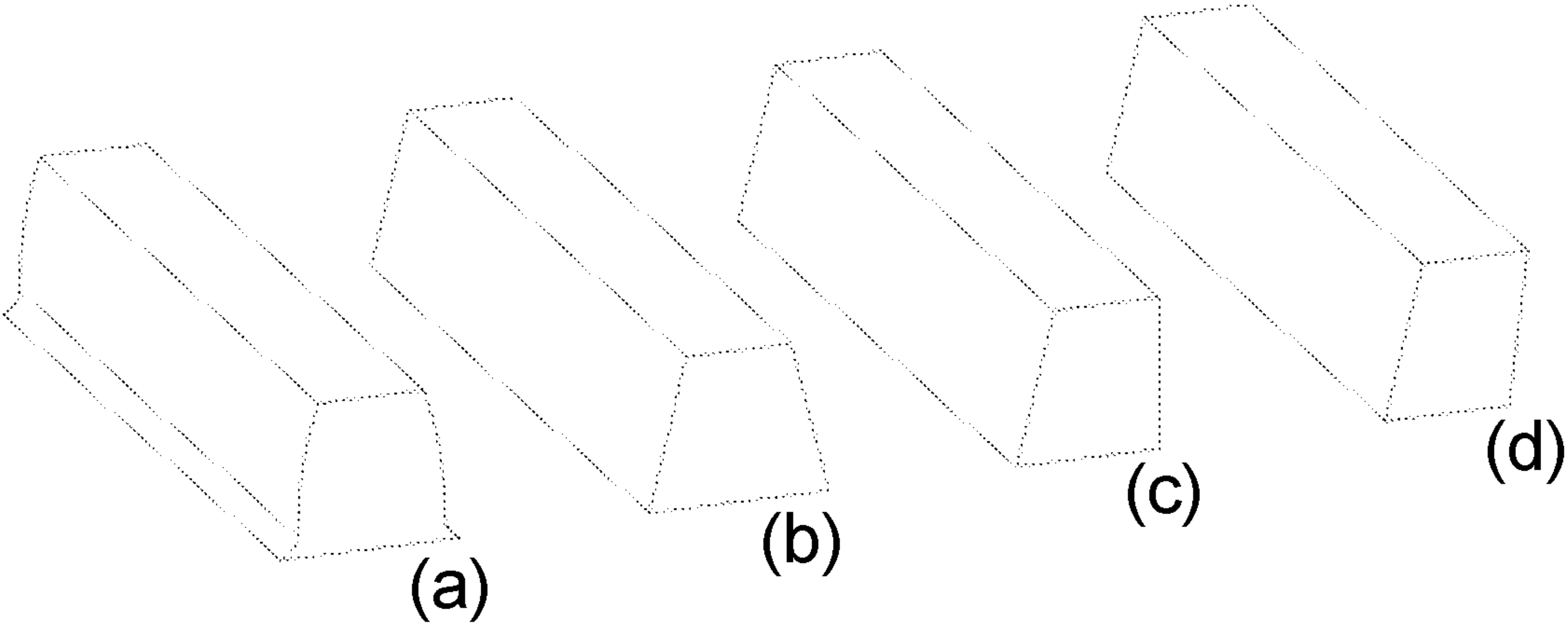
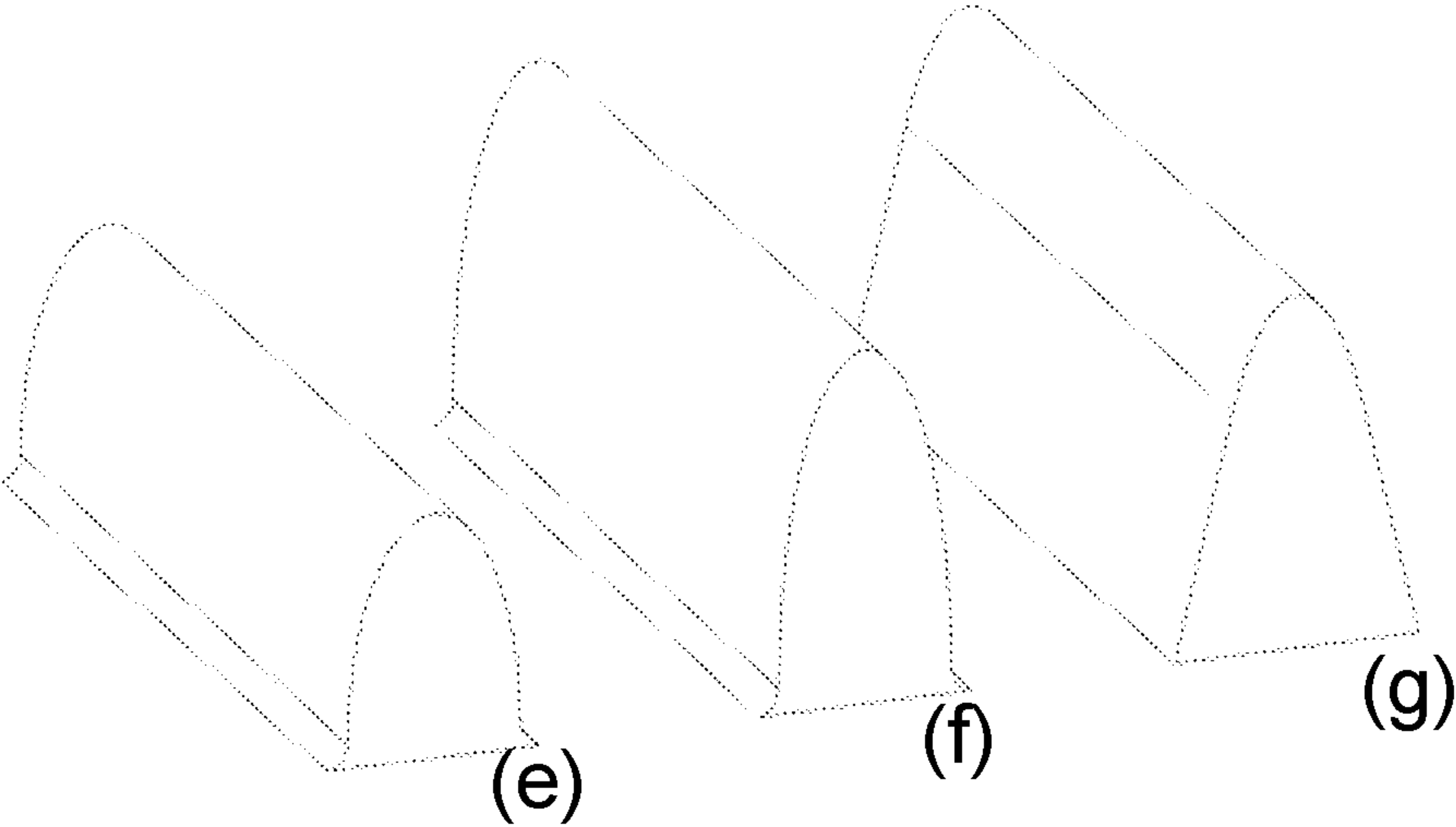


Fig. 8



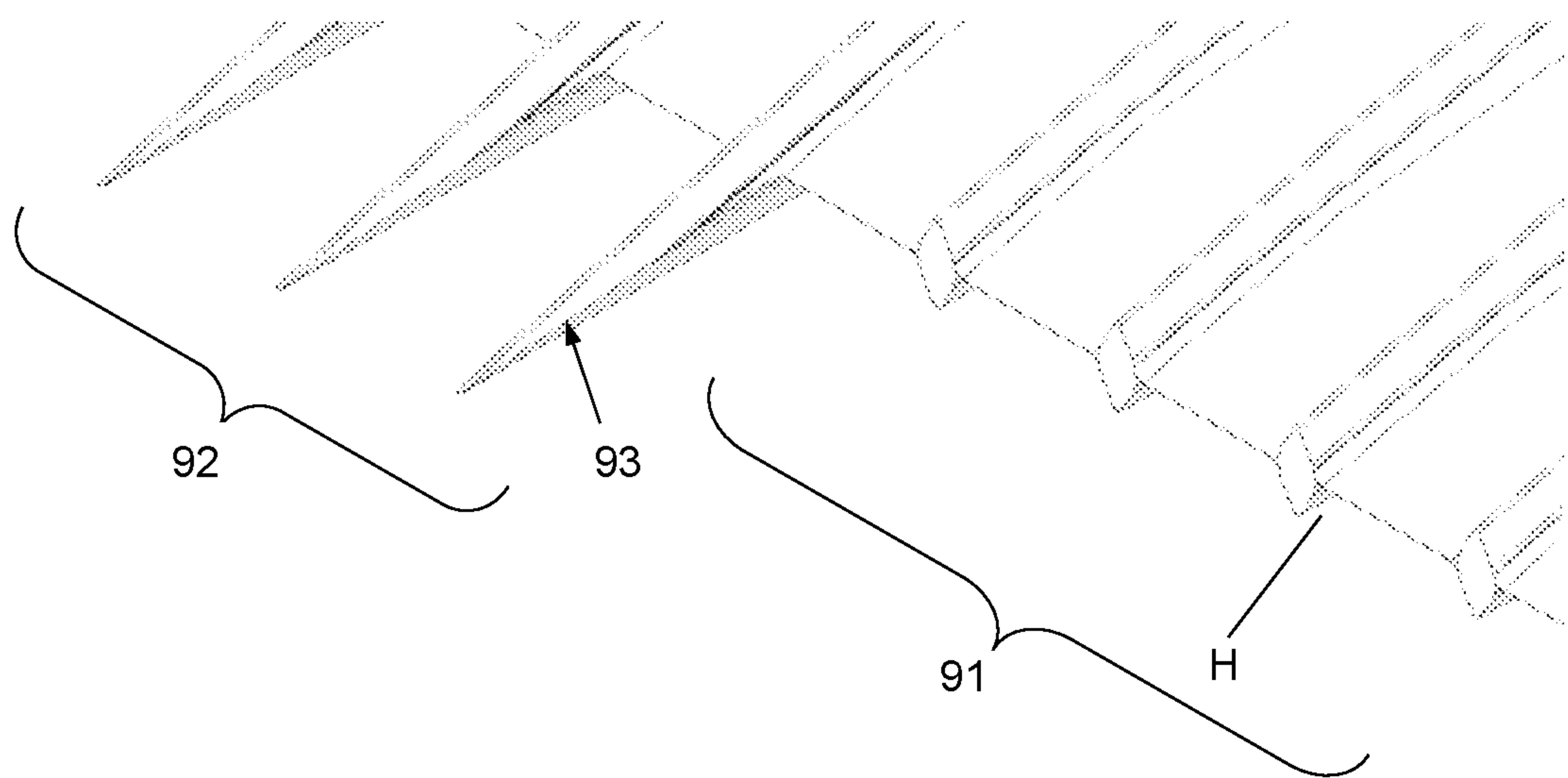


Fig. 9

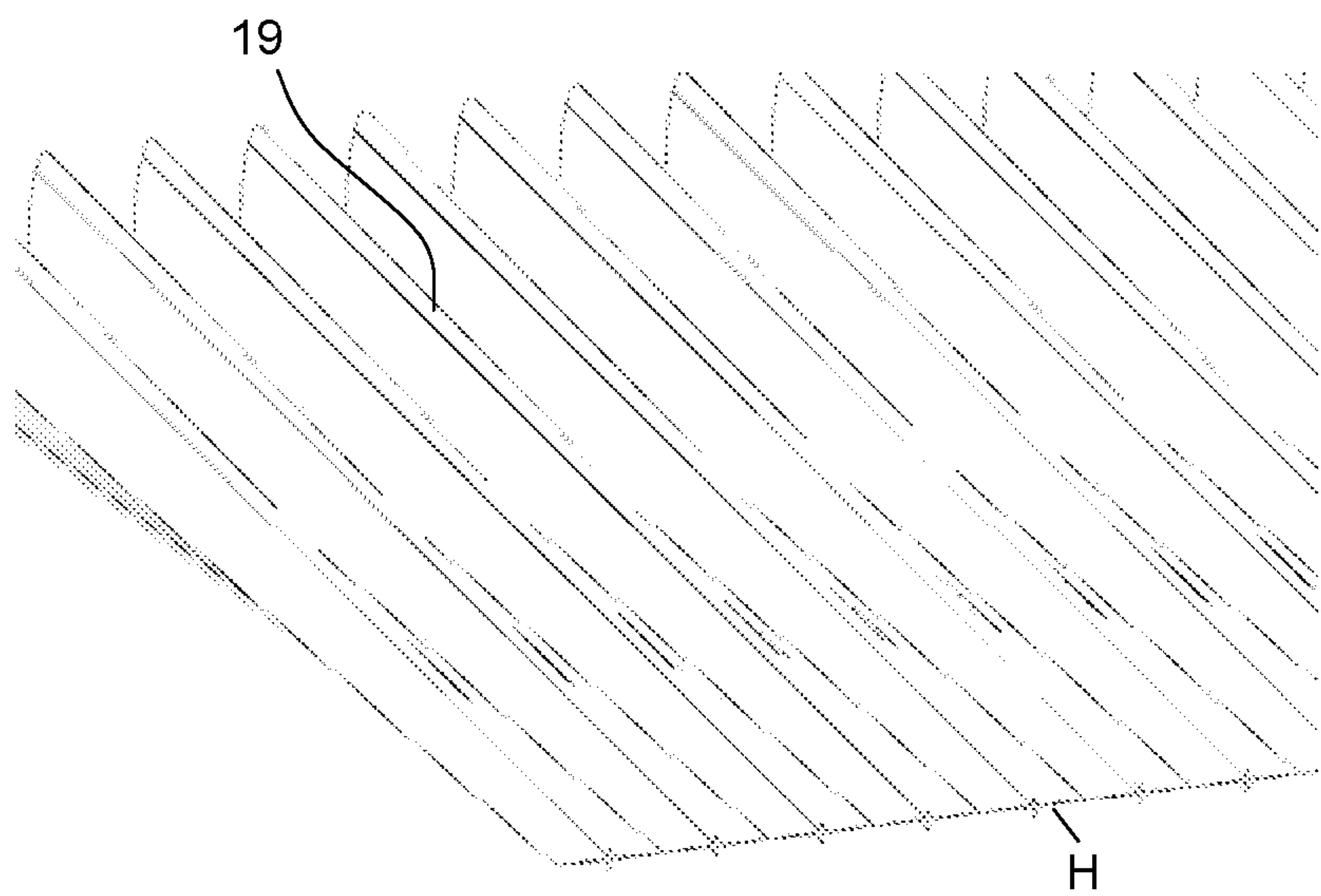


Fig. 10

5/6

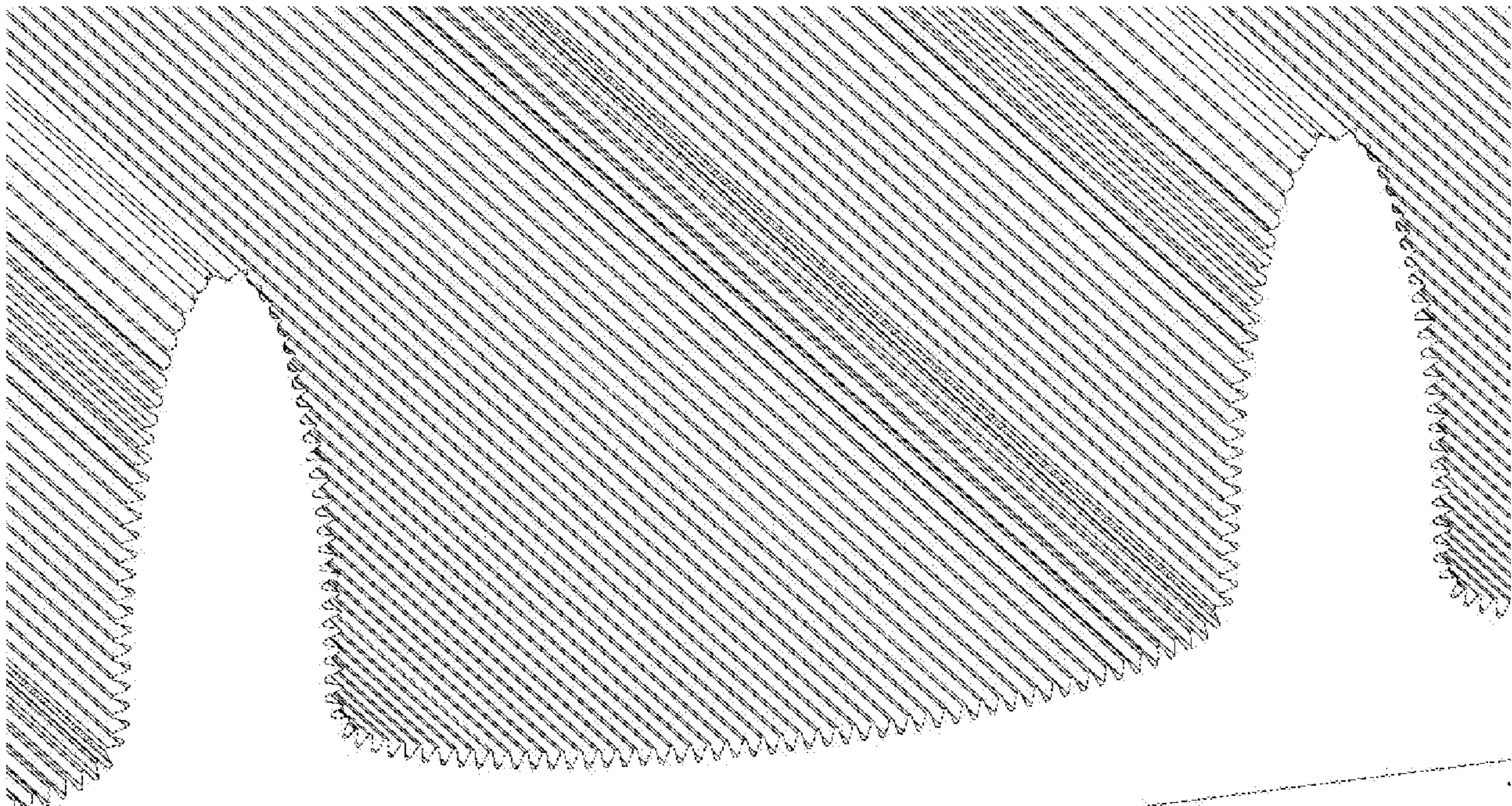


Fig. 11

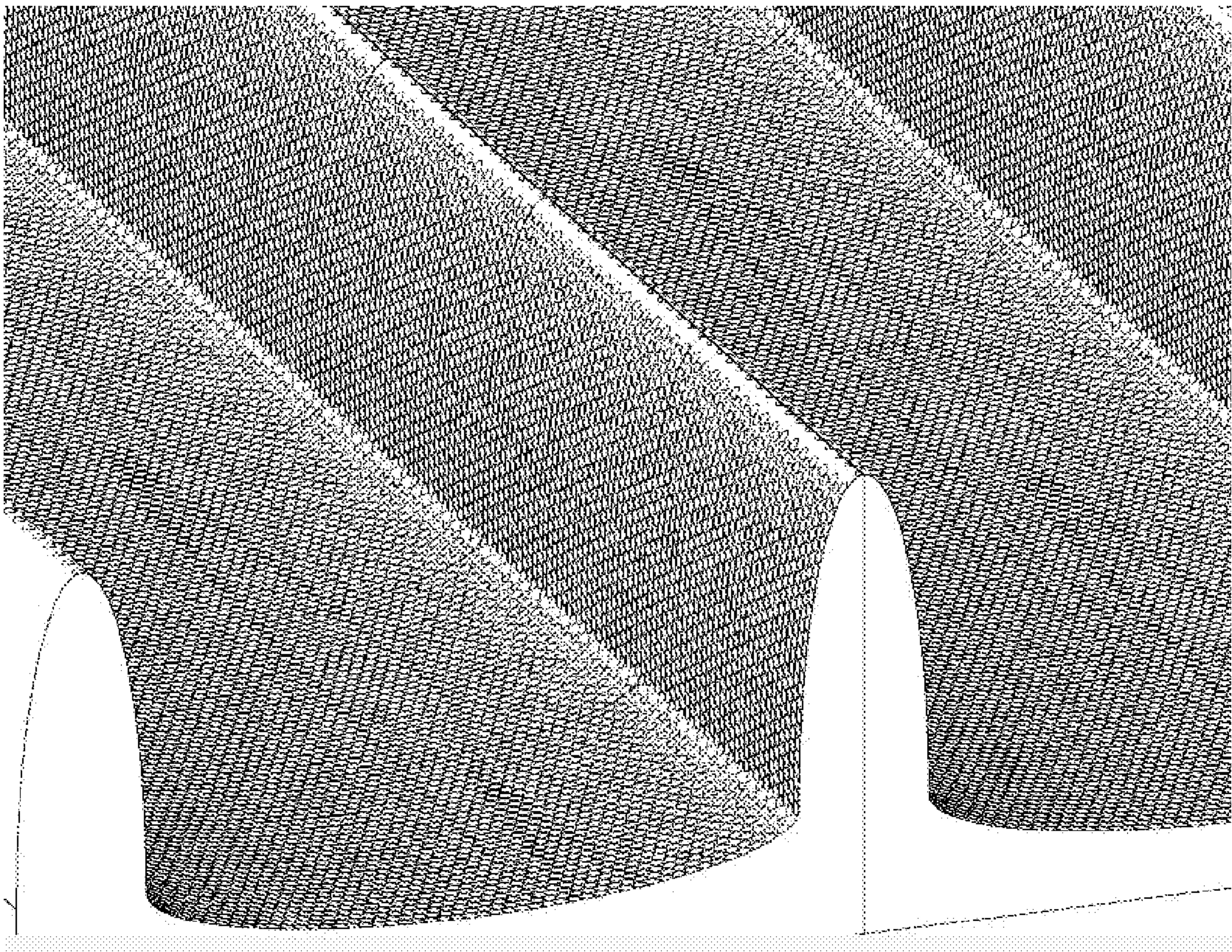


Fig. 12

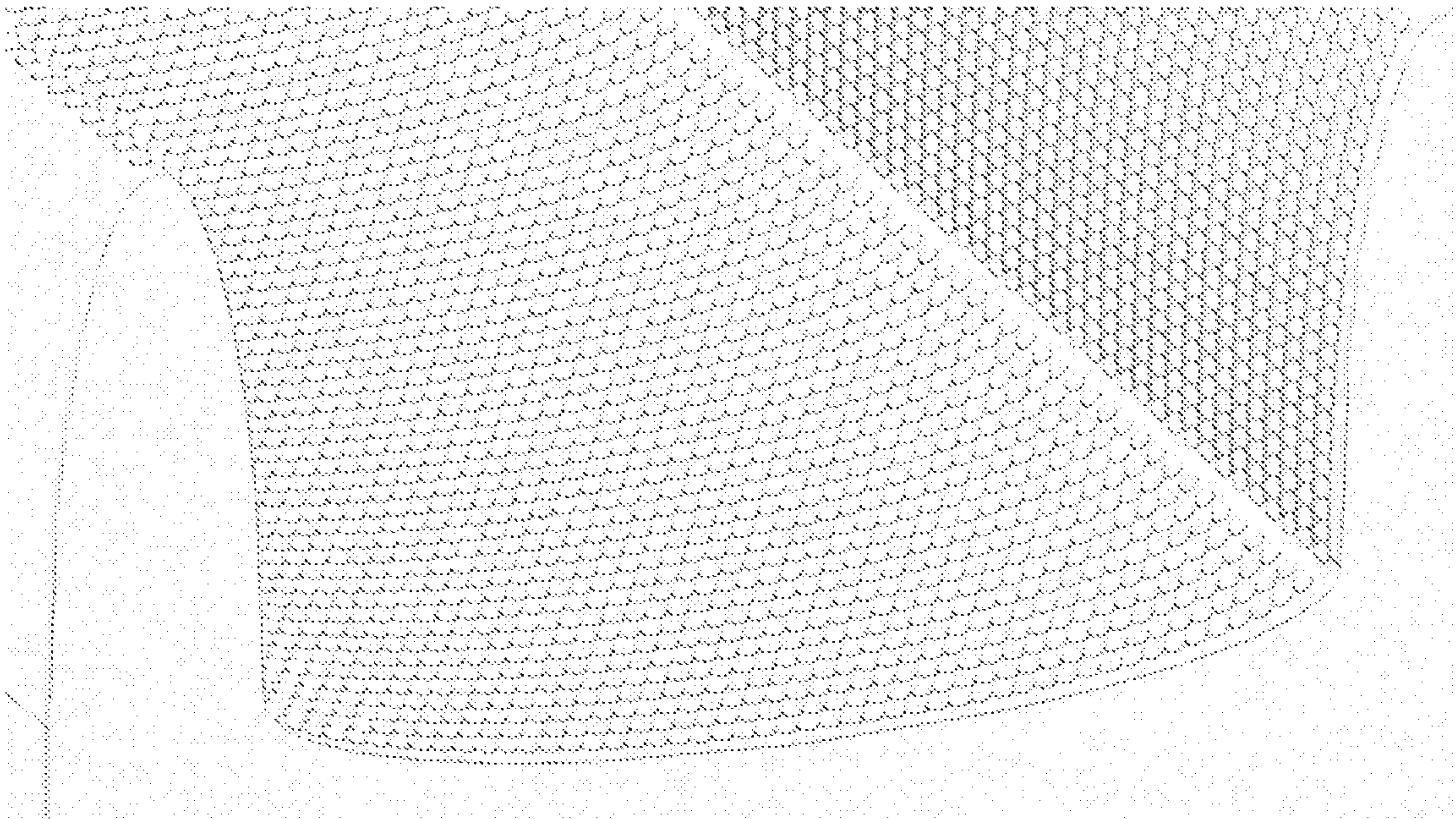


Fig. 13

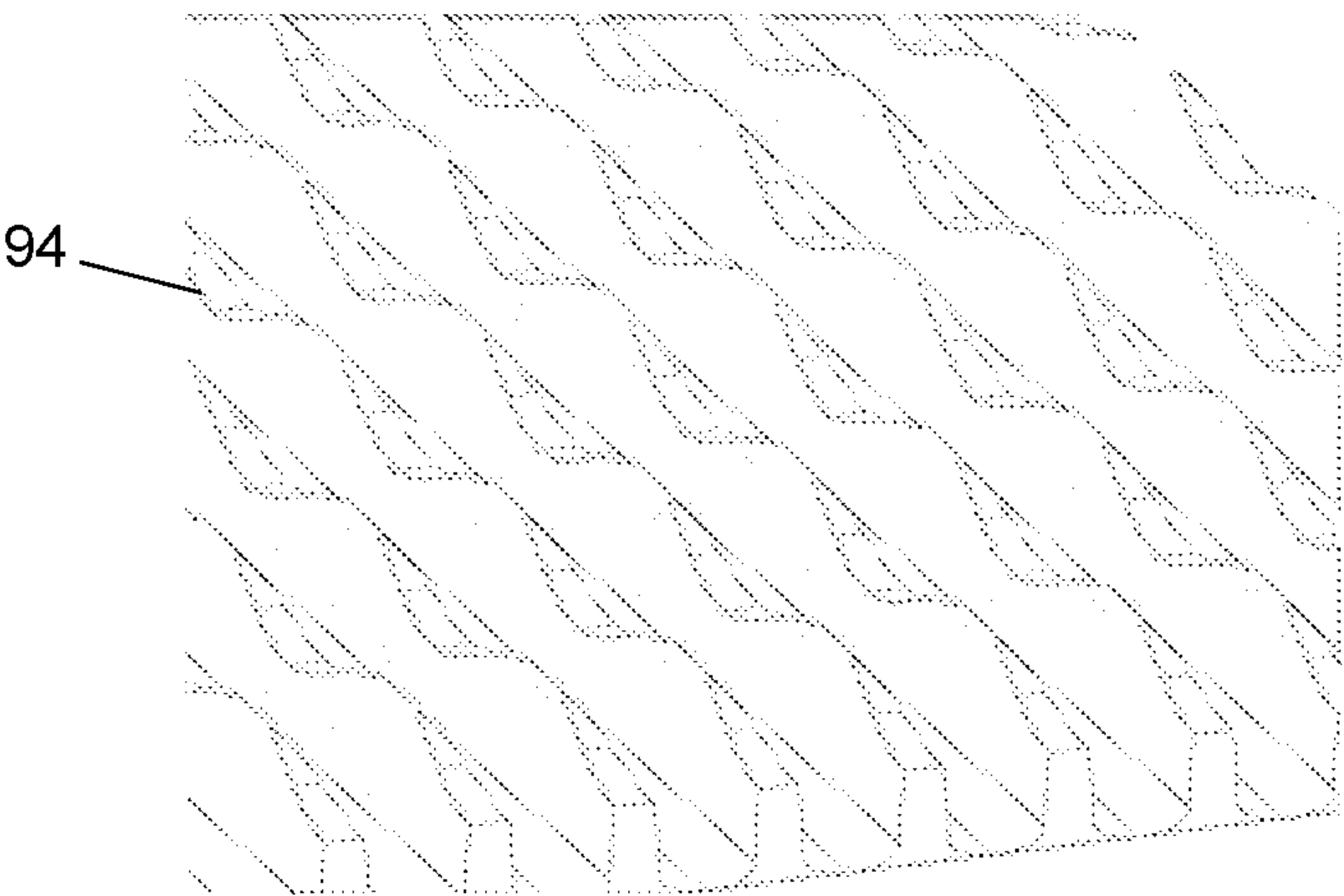


Fig. 14

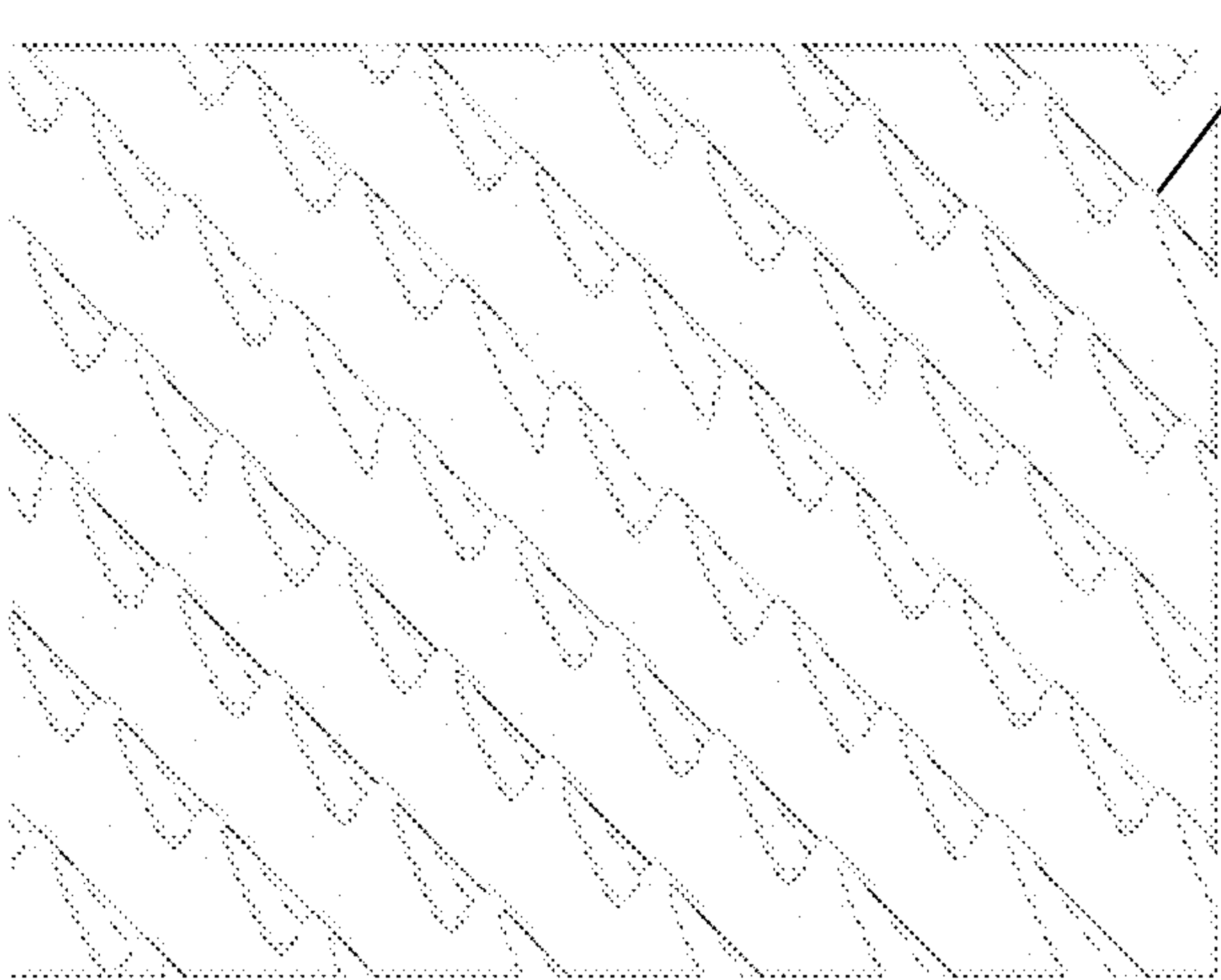


Fig. 15

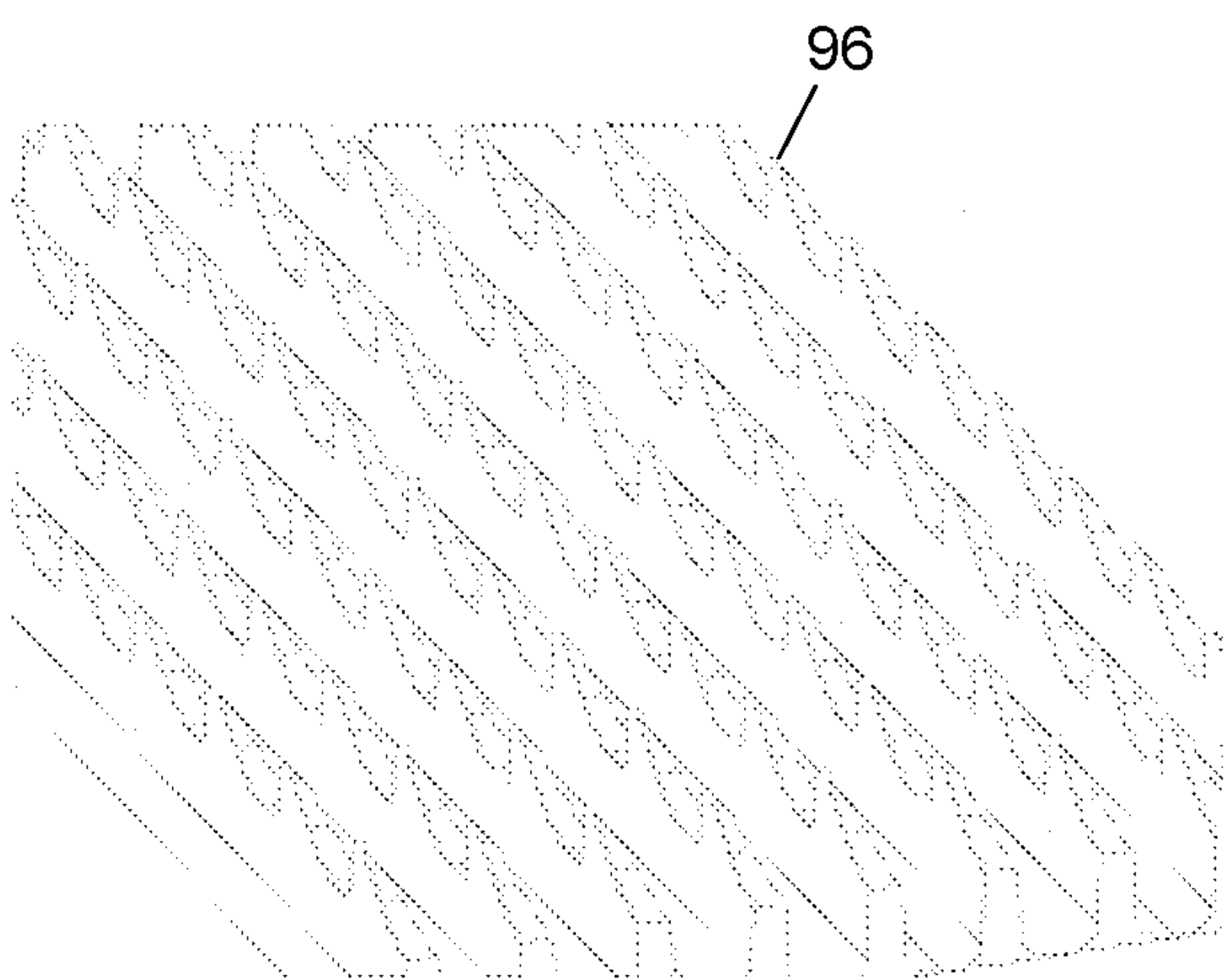


Fig. 16

PATENTANSPRÜCHE

1. Aerodynamisches Bauteil (10) mit einer eine Überdruckseite (14) und eine Unterdruckseite (13) aufweisenden Blattform, worin die Überdruckseite und die Unterdruckseite zwischen einer Vorderkante (15) und einer Hinterkante (16, H) der Blattform verlaufen,
wobei die Überdruckseite und/oder die Unterdruckseite eine Oberfläche mit einer Wellenstruktur (11) aufweisen, welche von einer Vielzahl von Rippen gebildet ist, die zueinander parallel in einer einem Strömungsverlauf entlang der Blattform entsprechenden Verlaufsrichtung (V) verlaufen, wobei die Rippen der Wellenstruktur (11) zueinander parallel von der Vorderkante zu der Hinterkante verlaufen und in Richtung senkrecht zu der Verlaufsrichtung ein Profil mit abwechselnd konvexen Wellenbergen (21, 25, 61, 62, 63, 64, 71, 72) und konkaven Wellentälern (22, 60, 70) aufweisen,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Wellenstruktur zusätzlich mit einer Überstruktur ausgestattet ist, deren Größenskala um zumindest eine Größenordnung kleiner ist als die der Wellenstruktur.
2. Aerodynamisches Bauteil nach Anspruch 1, bei welchem in dem Profil der Wellenstruktur (11) die Wellentäler breiter sind als die Wellenberge.
3. Aerodynamisches Bauteil nach Anspruch 2, bei welchem die Wellenberge (21, 61, 71, 72) eine parabelförmige Querschnittsform haben.
4. Aerodynamisches Bauteil nach Anspruch 2, bei welchem die Wellenberge (25, 62) eine trapezartige Querschnittsform haben, vorzugsweise eine symmetrisch-trapezartige Querschnittsform.
5. Aerodynamisches Bauteil nach einem der Ansprüche 2 bis 4, bei welchem die Wellentäler (22, 60, 70) eine korbboogenartige Querschnittsform aufweisen, während die Wellenberge (21, 61-64, 71, 72) vorzugsweise eine gegenüber ihre Höhe geringere Breite aufweisen.
6. Aerodynamisches Bauteil nach einem der Ansprüche 2 bis 5, bei welchem die Wellentäler eine Breite aufweisen, die zwischen dem 0,5- und 5-fachen der Höhe der Wellenberge beträgt.

7. Aerodynamisches Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ausgelegt für den Betrieb in einem gasförmigen Medium, insbesondere Luft, wobei in dem Profil der Wellenstruktur die Höhe eines Wellenberges zwischen 5 nm und 150 mm beträgt.
8. Aerodynamisches Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem in dem Profil der Wellenstruktur die Wellenberge (61–64, 71, 72) variierende Höhen aufweisen, während die Höhe der Wellentäler (60, 70) im Wesentlichen gleich bleibt.
9. Aerodynamisches Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem sowohl auf der Überdruckseite als auch der Unterdruckseite die Rippen der Wellenstruktur an der Vorderkante (15) beginnen und an der Hinterkante (16) enden, wobei die Wellenberge der Wellenstruktur über die Vorderkante und/oder die Hinterkante vorstehen.
10. Aerodynamisches Bauteil nach Anspruch 9, wobei die vorstehenden Wellenberge der Wellenstruktur an der Vorderkante und/oder der Hinterkante eine kammartige Struktur bilden.
11. Aerodynamisches Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Rippen der Wellenstruktur auf zumindest einer der Überdruckseite und der Unterdruckseite einen gekrümmten Verlauf (18) haben, wobei der gekrümmte Verlauf vorzugsweise eine zu einer Spitze des Blattes hin orientierte Krümmung aufweist.
12. Aerodynamisches Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei welchem die Wellenstruktur auf der Überdruckseite und der Unterdruckseite gleichartig gestaltet ist, vorzugsweise zueinander symmetrisch.
13. Aerodynamisches Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei welchem die Wellenstruktur auf der Überdruckseite und der Unterdruckseite gleichartig gestaltet ist, wobei die Wellenstrukturen der beiden Seiten zueinander versetzt sind, sodass ein Wellenberg (71, 72) der einen Seite einem Wellental (70) der anderen Seite gegenüberliegend angeordnet ist.

14. Aerodynamisches Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Höhe der Wellenstruktur entlang der Verlaufsrichtung oszilliert, insbesondere hinsichtlich der Höhe eines oder mehrerer Wellenberge (94, 95, 96).
15. Aerodynamisches Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin die Überstruktur als netzartiges oder gitterartiges Strukturmuster ausgebildet ist.
16. Aerodynamisches Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin die Überstruktur als Vielzahl von auf die Oberfläche aufgesetzten konvexen Noppen und/oder in die Oberfläche vertieften konkaven Grübchen ausgebildet ist, wobei die Noppen bzw. Grübchen vorzugsweise polygonal oder halbkugelförmig sein können.