



US008627684B2

(12) **United States Patent**
Shultz et al.

(10) **Patent No.:** **US 8,627,684 B2**
(45) **Date of Patent:** **Jan. 14, 2014**

(54) **PULL ROLL APPARATUS AND METHOD FOR CONTROLLING GLASS SHEET TENSION**

(75) Inventors: **Michael George Shultz**, Big Flats, NY (US); **George Clinton Shay**, Moneta, VA (US); **David John Ulrich**, Burdett, NY (US); **James Gary Anderson**, Dundee, NY (US); **Liam Ruan de Paor**, Lexington, KY (US); **Lewis Kirk Klingensmith**, Corning, NY (US); **Patrick Aaron Parks**, Elmira, NY (US)

(73) Assignee: **Corning Incorporated**, Corning, NY (US)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 536 days.

(21) Appl. No.: **11/978,333**

(22) Filed: **Oct. 29, 2007**

(65) **Prior Publication Data**

US 2009/0107182 A1 Apr. 30, 2009

(51) **Int. Cl.**
C03B 15/02 (2006.01)

(52) **U.S. Cl.**
USPC 65/91; 65/90

(58) **Field of Classification Search**
USPC 65/91–92
See application file for complete search history.

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

1,586,618 A * 6/1926 Ferngren 65/85
3,338,696 A 8/1967 Dockerty 65/145
3,353,943 A * 11/1967 Loutte 65/182.4
3,440,030 A * 4/1969 Boaz et al. 65/99.6
3,520,672 A * 7/1970 Greenler et al. 65/91

3,682,609 A 8/1972 Dockerty 65/83
3,695,859 A * 10/1972 Dickinson 65/99.5
3,771,985 A * 11/1973 Dickinson 65/99.3
3,773,486 A 11/1973 Toussaint et al. 65/29
3,926,605 A * 12/1975 Kunkle 65/91
4,354,866 A * 10/1982 Mouly 65/99.5
4,375,370 A * 3/1983 Mouly 65/99.5
4,612,030 A * 9/1986 Smids 65/91
6,616,025 B1 9/2003 Andrewlavage, Jr. 225/96.5
6,758,064 B1 7/2004 Kariya 65/91
7,122,242 B2 * 10/2006 DiGiampaolo et al. 428/156
2005/0268655 A1 12/2005 Butts et al. 65/29.12
2006/0042314 A1 3/2006 Abbott, III et al. 65/25.3

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

JP 05124826 5/1993 C03B 17/06
JP 05124827 5/1993 C03B 17/06
JP 10-291826 11/1998
JP 2007-051028 3/2007
TW 200604116 2/2006

* cited by examiner

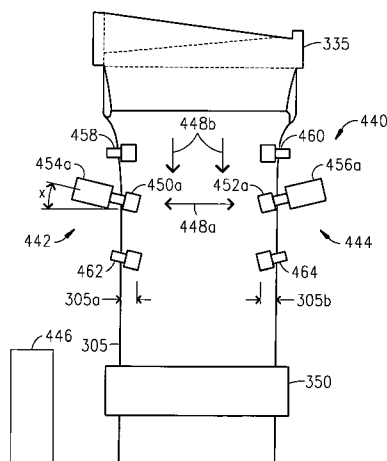
Primary Examiner — Jodi C Franklin

(74) *Attorney, Agent, or Firm* — Kevin M. Able; Bruce Watson

(57) **ABSTRACT**

A pull roll apparatus and method are described herein that can control a cross-draw tension and a down-draw tension of a glass sheet while manufacturing the glass sheet. In one embodiment, the pull roll apparatus includes a first driven stub roll pair, a second driven stub roll pair and a control device (e.g., PLC) that controls the first and second driven stub roll pairs while a first edge portion of the glass sheet is drawn between two vertically downtilted rolls associated with the first driven stub roll pair and while an opposing second edge portion of the glass sheet is drawn between two vertically downtilted rolls associated with the second driven stub roll pair. If desired, the pull roll apparatus may include a pulling roll assembly (located below the first and second driven stub rolls) or another set of driven stub roll pairs (located below the first and second driven stub roll pairs).

14 Claims, 15 Drawing Sheets



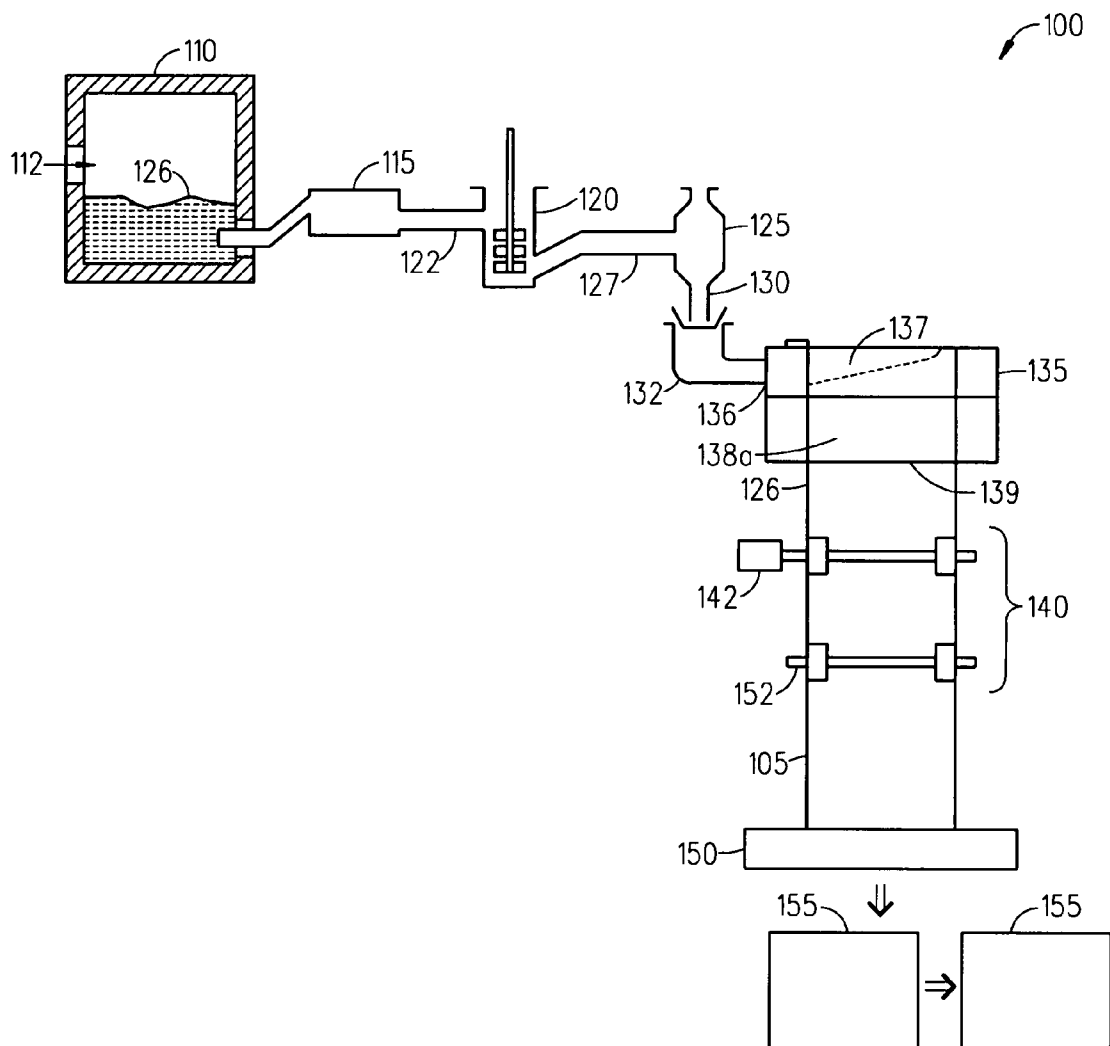


FIG. 1 (PRIOR ART)

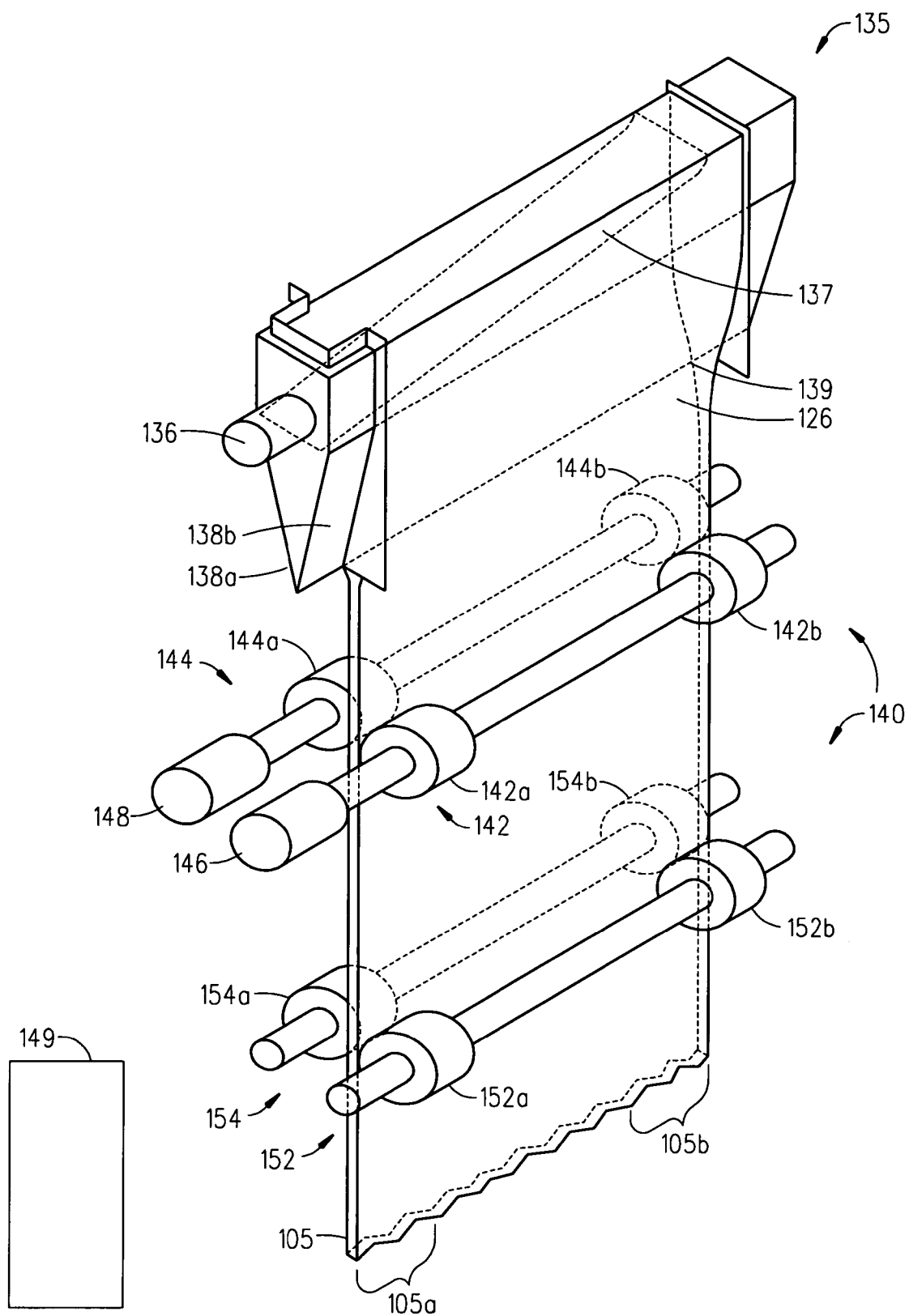


FIG. 2 (PRIOR ART)

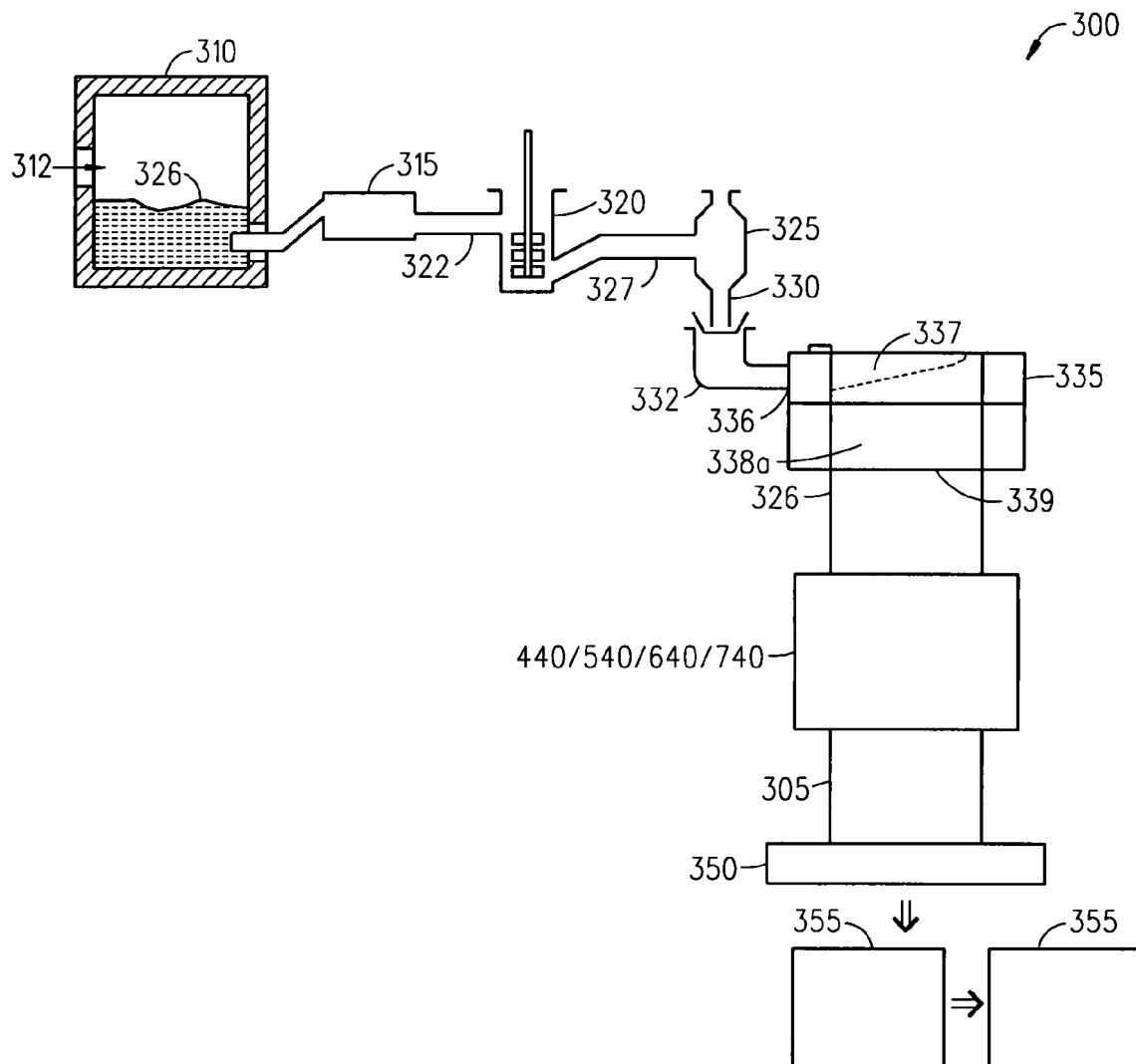


FIG. 3

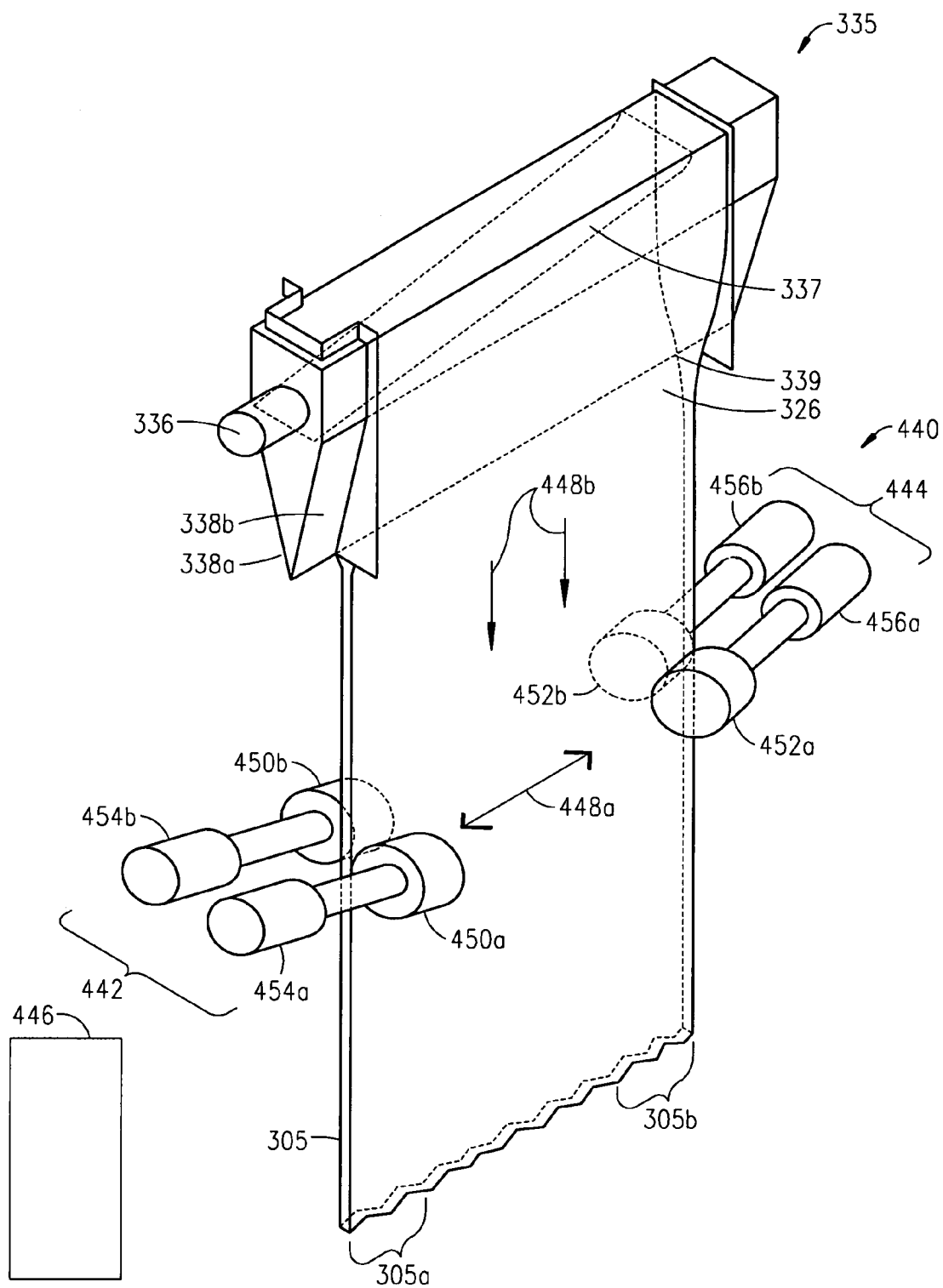


FIG. 4A

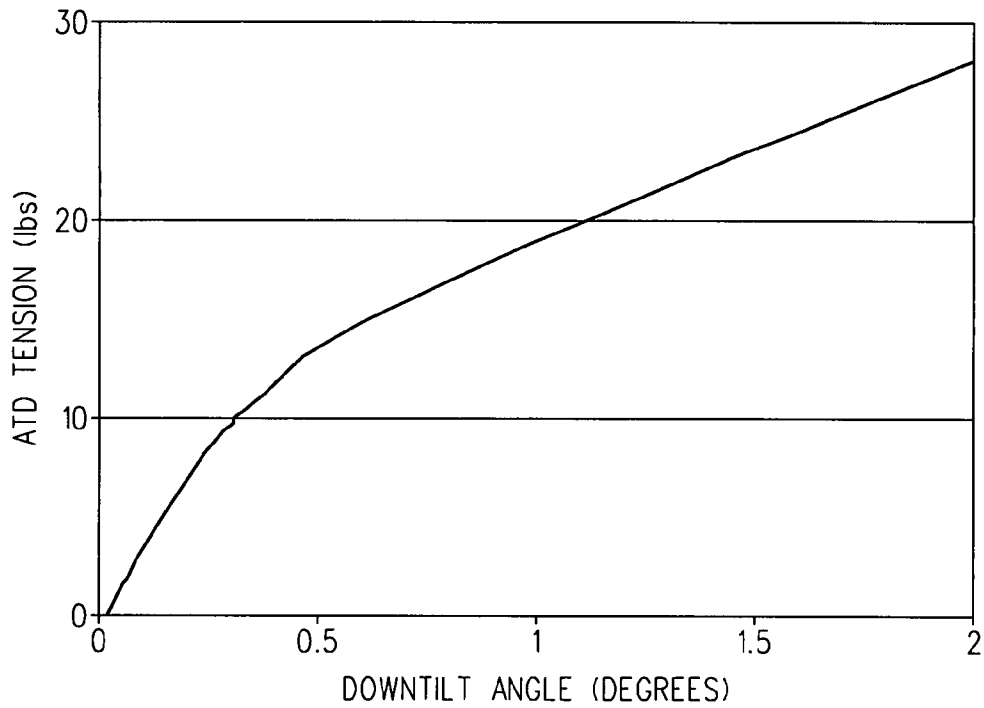


FIG. 4B

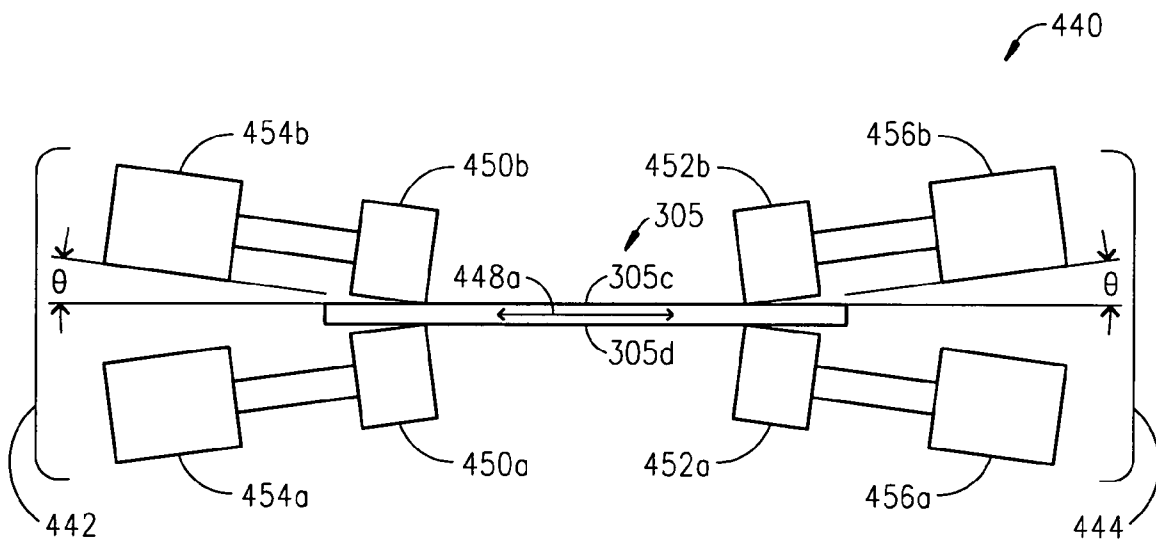


FIG. 4C

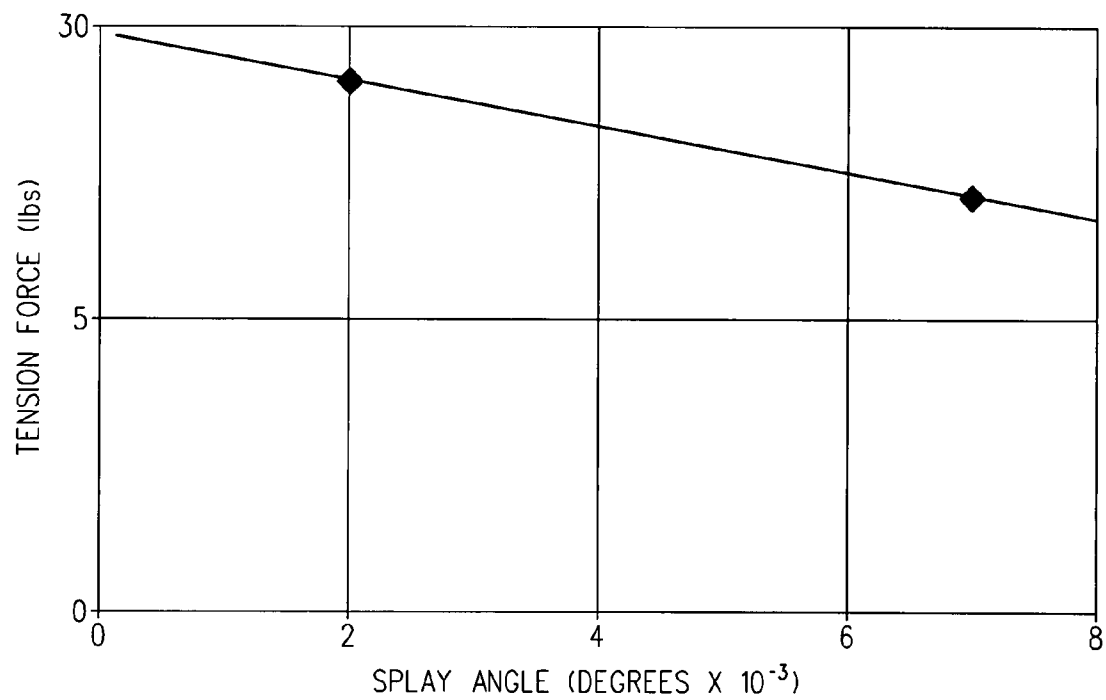
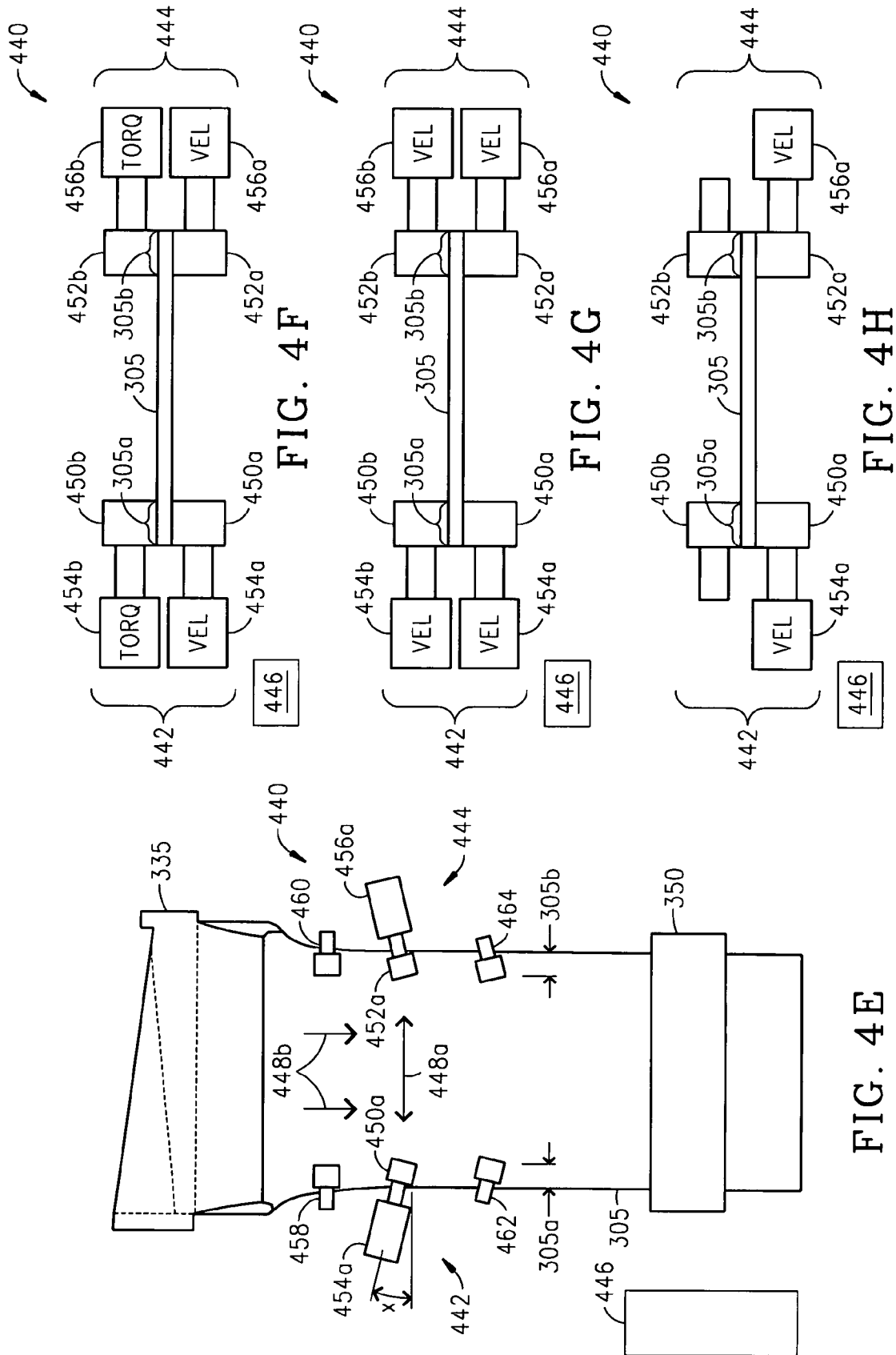


FIG. 4D



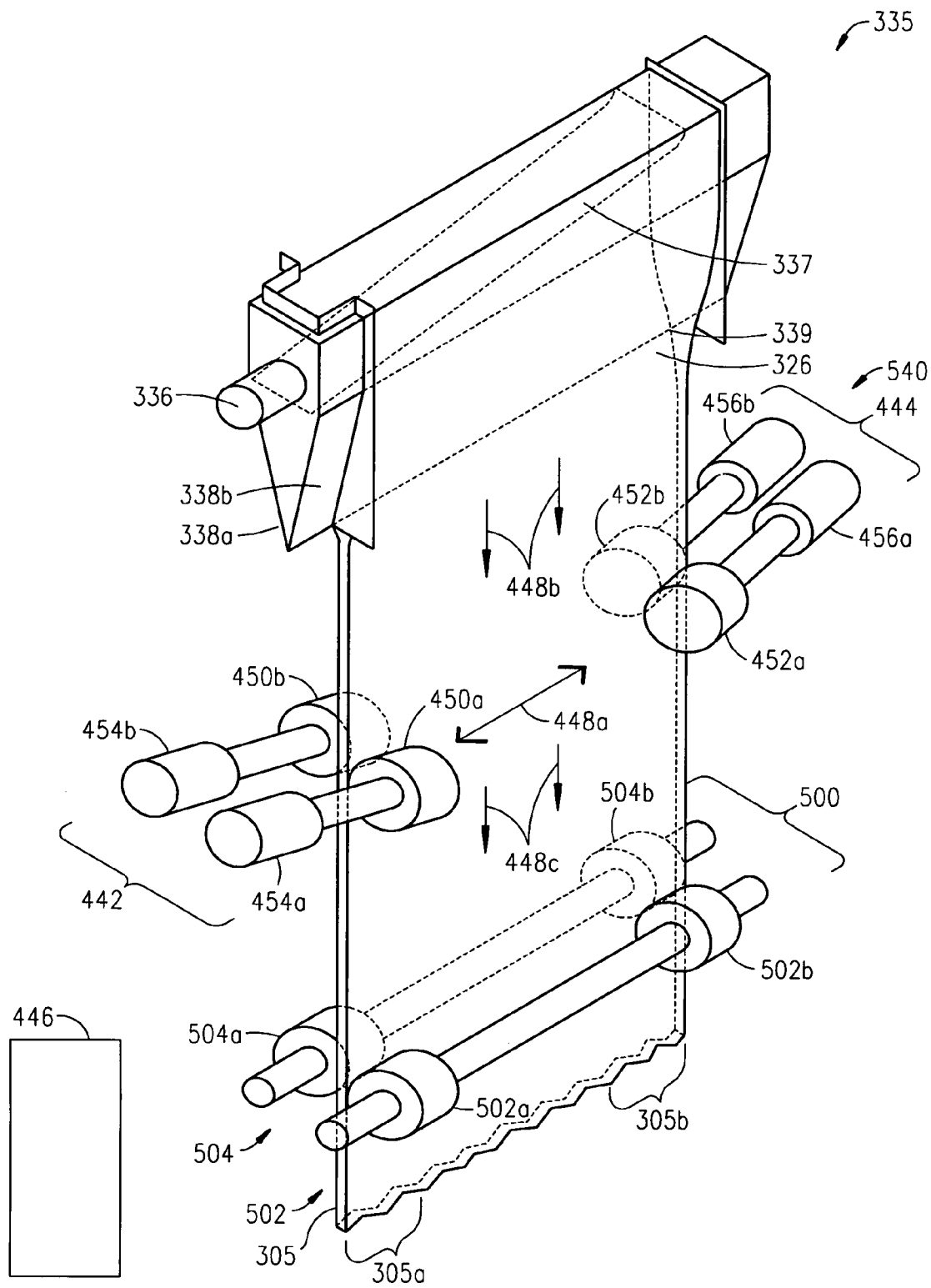


FIG. 5A

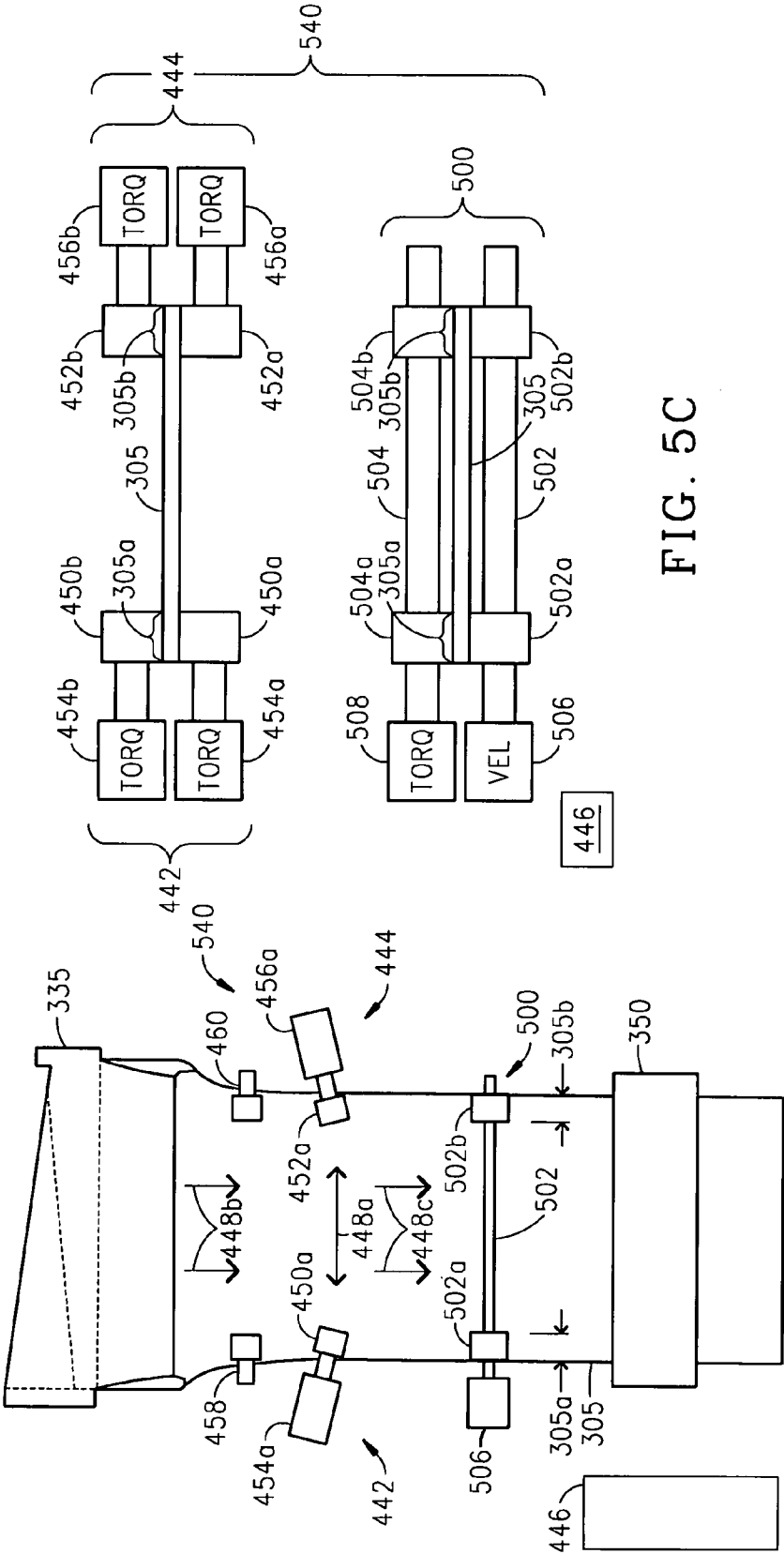


FIG. 5C

FIG. 5B

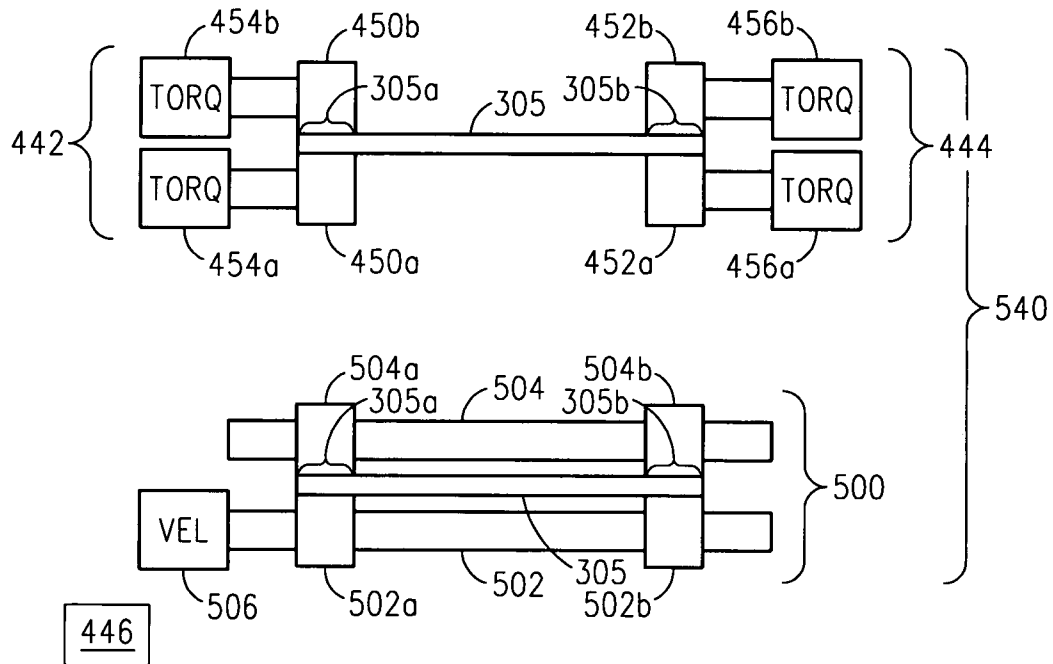


FIG. 5D

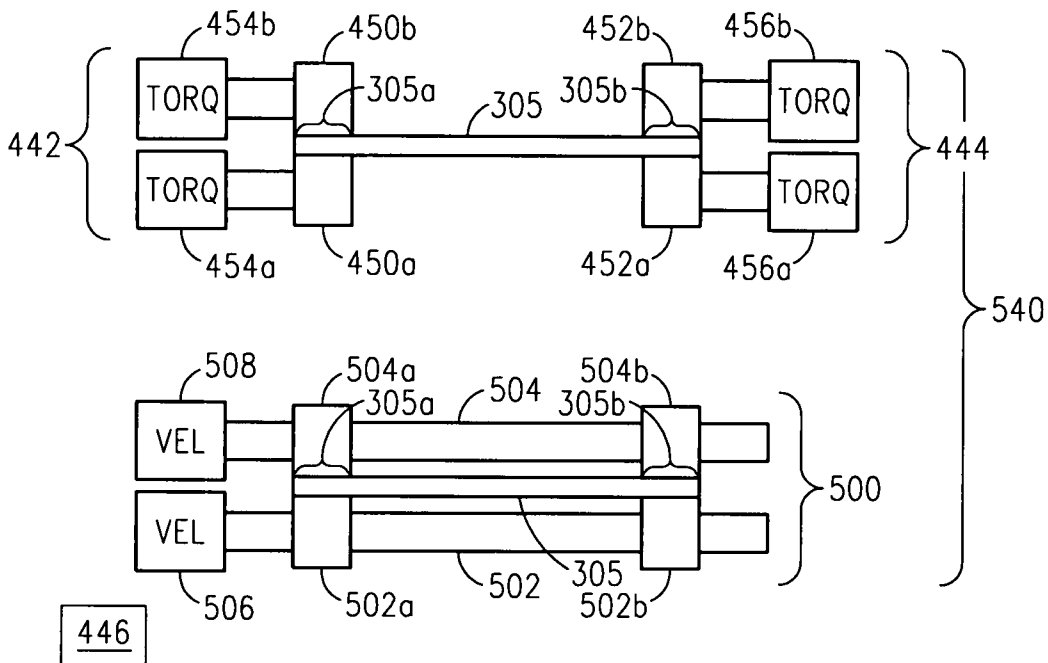


FIG. 5E

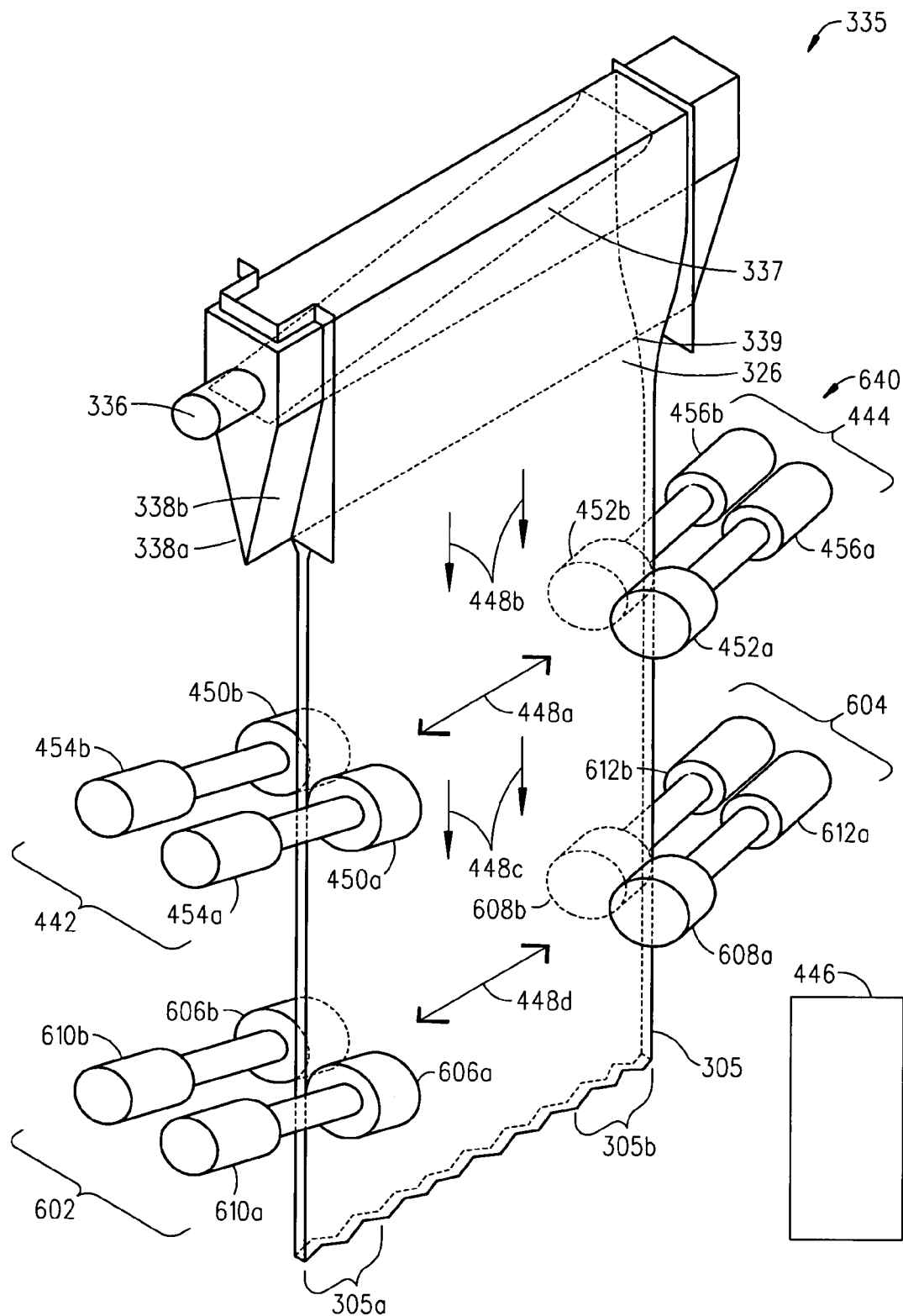


FIG. 6A

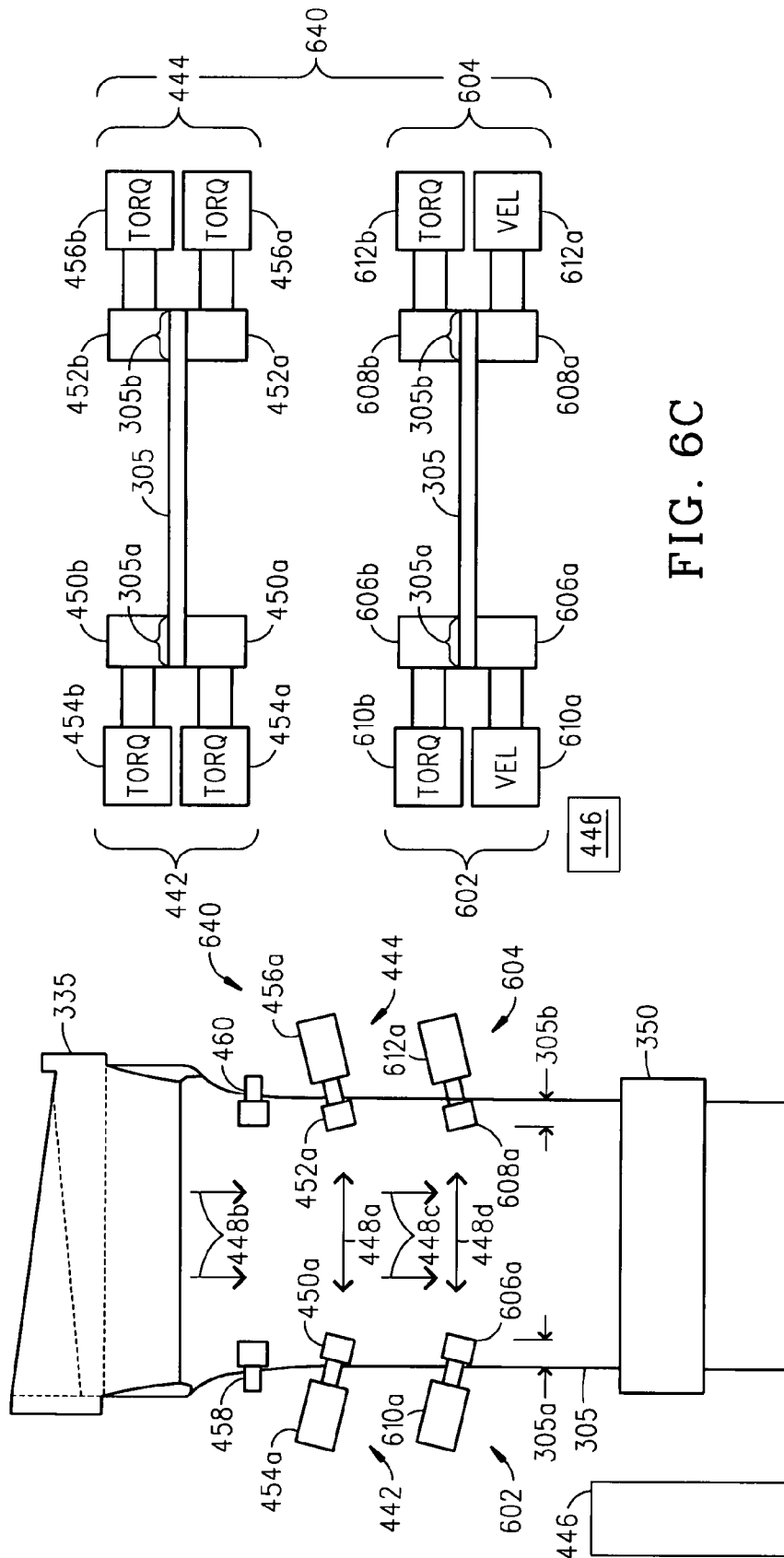


FIG. 6C

FIG. 6B

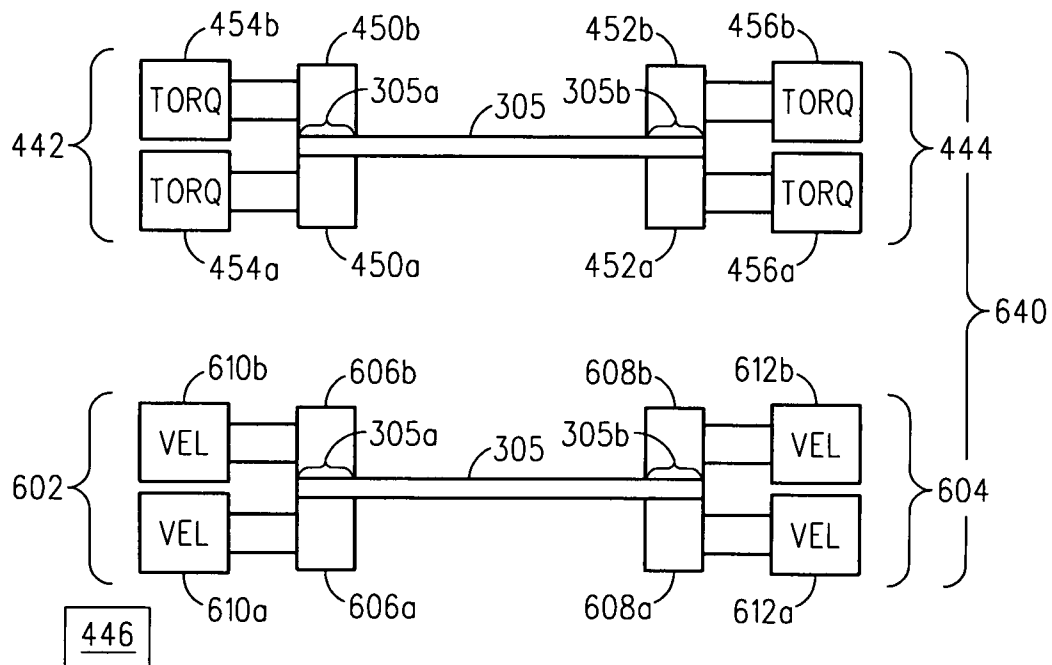


FIG. 6D

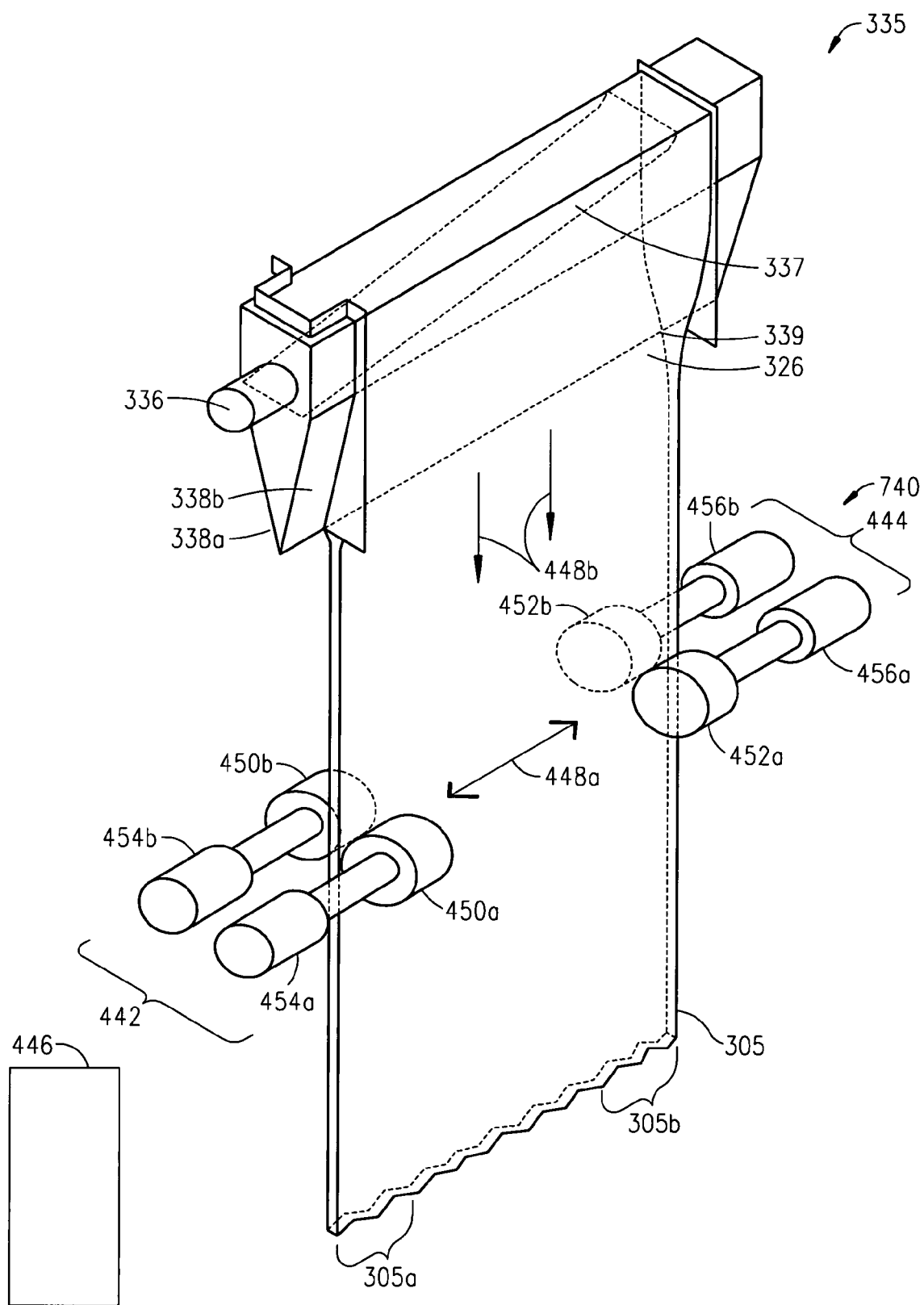


FIG. 7A

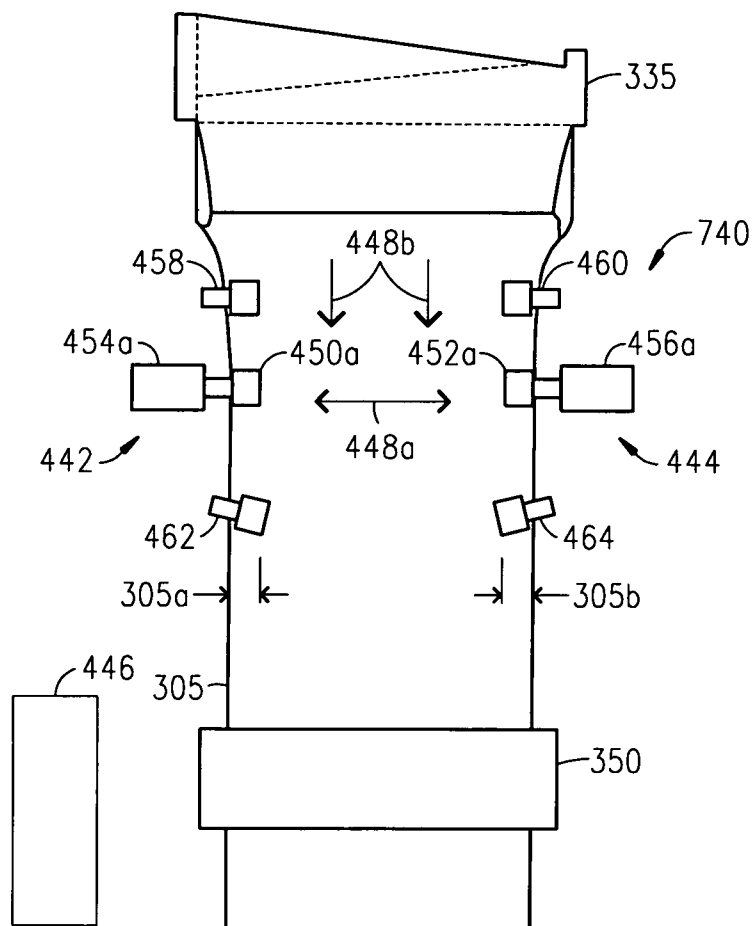


FIG. 7B

1

PULL ROLL APPARATUS AND METHOD FOR CONTROLLING GLASS SHEET TENSION

TECHNICAL FIELD

The present invention relates to a pull roll apparatus that can control a cross-draw tension and a down-draw tension of a glass sheet while manufacturing the glass sheet.

BACKGROUND

Corning Inc. has developed a process known as the fusion process (e.g., overflow downdraw process) to form high quality thin glass sheets that can be used in a variety of devices like flat panel displays. The fusion process is the preferred technique for producing glass sheets used in flat panel displays because the fusion process produces glass sheets whose surfaces have superior flatness and smoothness when compared to glass sheets produced by other methods. The fusion process is described in U.S. Pat. Nos. 3,338,696 and 3,682,609, the contents of which are incorporated herein by reference.

Referring to FIG. 1 (PRIOR ART), there is shown a schematic view of an exemplary glass manufacturing system 100 that implements the fusion process and uses a traditional pull roll apparatus 140 to make a glass sheet 105. The glass manufacturing system 100 includes a melting vessel 110, a fining vessel 115, a mixing vessel 120 (e.g., stir chamber 120), a delivery vessel 125 (e.g., bowl 125), a forming vessel 135 (e.g., isopipe 135), a pull roll apparatus 140 and a traveling anvil machine (TAM) 150.

The melting vessel 110 is where the glass batch materials are introduced as shown by arrow 112 and melted to form molten glass 126. The fining vessel 115 (e.g., finer tube 115) has a high temperature processing area that receives the molten glass 126 (not shown at this point) from the melting vessel 110 and in which bubbles are removed from the molten glass 126. The fining vessel 115 is connected to the mixing vessel 120 (e.g., stir chamber 120) by a finer to stir chamber connecting tube 122. And, the mixing vessel 120 is connected to the delivery vessel 125 by a stir chamber to bowl connecting tube 127. The delivery vessel 125 delivers the molten glass 126 through a downcorner 130 to an inlet 132 and into the forming vessel 135 (e.g., isopipe 135).

The forming vessel 135 which is shown in more detail in FIG. 2 (PRIOR ART) includes an opening 136 that receives the molten glass 126 which flows into a trough 137 and then overflows and runs down two sides 138a and 138b before fusing together at what is known as a root 139. The root 139 is where the two sides 138a and 138b come together and where the two overflow walls of molten glass 126 rejoin (e.g., refuse) before being drawn downward by the traditional pull roll apparatus 140 to form the glass sheet 105. Then, the TAM 150 scores the drawn glass sheet 105 so it can be separated into distinct pieces of glass sheets 155.

As shown in FIG. 2 (PRIOR ART), the exemplary traditional pull roll apparatus 140 includes a first pull roll 142 (having two ends 142a and 142b coated with a compressible refractory roll covering) and a second pull roll 144 (having two ends 144a and 144b coated with a compressible refractory roll covering) which extend across the glass sheet 105 and draw the edges 105a and 105b of the glass sheet 105 (note: FIG. 2 is not to scale). The traditional pull roll apparatus 140 also has a first motor 146 operatively connected to the first pull roll 142 and a second motor 148 operatively connected to the second pull roll 144. Plus, the traditional pull roll apparatus 140 has a device 149 (e.g., computer, programmable logic controller, variable frequency drives) that con-

2

trols the velocities (revolutions per minute) of motors 146 and 148 to cause the two pull rolls 142 and 144 to draw or stretch the glass sheet 105 (at this point a visco-elastic glass sheet 105) to the desired final thickness. In addition, the traditional pull roll apparatus 140 may include a pair of bare idling rolls 152 and 154 (located below the first and second pull rolls 142 and 144) which have ends 152a, 152b, 154a and 154b that help stabilize and reduce the motion of the glass sheet 105 when the TAM 150 scores the glass sheet 105 and when the scored glass sheet 105 is separated into individual glass sheets 155 (see FIG. 1) (note: for clarity the brackets/supports that hold the pull rolls 142, 144, 152 and 154 have not been shown).

Although the traditional pull roll apparatus 140 works well to draw the glass sheet 105 to the desired thickness there is still a desire to develop a new and improved pulling roll assembly that can draw the glass sheet and at the same time improve the flatness of the glass sheet and also reduce the residual stress within the glass sheet. These particular needs and other needs have been satisfied by the pull roll apparatus and method of the present invention.

SUMMARY

In one aspect, the present invention includes a pull roll apparatus that has a first stub roll pair, a second stub roll pair and a control device (e.g., programmable logic controller) which controls the first stub roll pair and the second stub roll pair while a first edge portion of the glass sheet is drawn between two rolls associated with the first stub roll pair and while an opposing second edge portion of the glass sheet is drawn between two rolls associated with the second stub roll pair. The rolls associated with the first and second stub roll pairs can either be vertically downtilted rolls or horizontally level rolls with respect to the glass sheet. If desired, the pull roll apparatus may include a pulling roll assembly (located below the first and second stub roll pairs) or two additional stub roll pairs (located below the first and second stub roll pairs).

In another aspect, the present invention includes a method for manufacturing a glass sheet by: (1) melting batch materials and forming the glass sheet; (2) delivering the glass sheet to a pull roll apparatus; and (3) using the pull roll apparatus to draw the glass sheet. The pull roll apparatus includes a first stub roll pair, a second stub roll pair and a control device (e.g., programmable logic controller) which controls the first stub roll pair and the second stub roll pair while a first edge portion of the glass sheet is drawn between two rolls associated with the first stub roll pair and while an opposing second edge portion of the glass sheet is drawn between two rolls associated with the second stub roll pair. The rolls associated with the first and second stub roll pairs can either be vertically downtilted rolls or horizontally level rolls with respect to the glass sheet. If desired, the pull roll apparatus may include a pulling roll assembly (located below the first and second stub roll pairs) or two additional stub roll pairs (located below the first and second stub roll pairs).

In yet another aspect, the present invention includes a glass manufacturing system that comprises: (1) at least one vessel for melting batch materials and forming molten glass; (2) an isopipe for receiving the molten glass and forming a glass sheet; and (3) a pull roll apparatus for receiving the glass sheet and then drawing the glass sheet. The pull roll apparatus includes a first stub roll pair, a second stub roll pair and a control device (e.g., programmable logic controller) which controls the first stub roll pair and the second stub roll pair while a first edge portion of the glass sheet is drawn between

3

two rolls associated with the first stub roll pair and while an opposing second edge portion of the glass sheet is drawn between two rolls associated with the second stub roll pair. The rolls associated with the first and second stub roll pairs can either be vertically downtilted rolls or horizontally level rolls with respect to the glass sheet. If desired, the pull roll apparatus may include a pulling roll assembly (located below the first and second stub roll pairs) or two additional stub roll pairs (located below the first and second stub roll pairs).

Additional aspects of the invention will be set forth, in part, in the detailed description, figures and any claims which follow, and in part will be derived from the detailed description, or can be learned by practice of the invention. It is to be understood that both the foregoing general description and the following detailed description are exemplary and explanatory only and are not restrictive of the invention as disclosed.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

A more complete understanding of the present invention may be had by reference to the following detailed description when taken in conjunction with the accompanying drawings wherein:

FIGS. 1 and 2 (PRIOR ART) are diagrams illustrating an exemplary glass manufacturing system and a traditional pull roll apparatus that are used to manufacture a glass sheet;

FIG. 3 is a diagram illustrating an exemplary glass manufacturing system and a new pull roll apparatus that are fused to manufacture a glass sheet in accordance with the present invention;

FIGS. 4A-4H are several diagrams illustrating a pull roll apparatus in accordance with a first embodiment of the present invention;

FIGS. 5A-5E are several diagrams illustrating a pull roll apparatus in accordance with a second embodiment of the present invention;

FIGS. 6A-6D are several diagrams illustrating a pull roll apparatus in accordance with a third embodiment of the present invention; and

FIGS. 7A-7B are diagrams illustrating a pull roll apparatus in accordance with a fourth embodiment of the present invention.

DETAILED DESCRIPTION

Referring to FIGS. 3-7, there are disclosed several embodiments of a pull roll apparatus 440, 540, 640 and 740 that is configured and operated in accordance with the present invention. Although each pull roll apparatus 440, 540, 640 and 740 is described herein as being used within a glass manufacturing system 300 that uses a downdraw fusion process to make a glass sheet 305, it should be understood that each pull roll apparatus 440, 540, 640 and 740 could be used within any type of glass manufacturing system that draws a glass sheet 305. Accordingly, the pull roll apparatus 440, 540, 640 and 740 of the present invention should not be construed in a limited manner.

Referring to FIG. 3, there is shown a schematic view of an exemplary glass manufacturing system 300 that uses the fusion process and the new pull roll apparatus 440, 540, 640 or 740 to manufacture a glass sheet 305 in accordance with the present invention. The glass manufacturing system 300 includes a melting vessel 310, a fining vessel 315, a mixing vessel 320 (e.g., stir chamber 320), a delivery vessel 325 (e.g., bowl 325), a forming vessel 335 (e.g., isopipe 335), a pull roll apparatus 440, 540, 640 or 740 and a TAM 350.

4

The melting vessel 310 is where the glass batch materials are introduced as shown by arrow 312 and melted to form molten glass 326. The fining vessel 315 (e.g., finer tube 315) has a high temperature processing area that receives the molten glass 326 (not shown at this point) from the melting vessel 310 and in which bubbles are removed from the molten glass 326. The fining vessel 315 is connected to the mixing vessel 320 (e.g., stir chamber 320) by a finer to stir chamber connecting tube 322. And, the mixing vessel 320 is connected to the delivery vessel 325 by a stir chamber to bowl connecting tube 327. The delivery vessel 325 delivers the molten glass 326 through a downcorner 330 to an inlet 332 and into the forming vessel 335 (e.g., isopipe 335). The forming vessel 335 includes an opening 336 that receives the molten glass 326 which flows into a trough 337 and then overflows and runs down two sides 338a and 338b before fusing together at what is known as a root 339. The root 339 is where the two sides 338a and 338b come together and where the two overflow walls of molten glass 326 rejoin (e.g., refuse) before being drawn downward by the pull roll apparatus 440, 540, 640 or 740 to form the glass sheet 305. Then, the TAM 350 scores the drawn glass sheet 305 which is then separated into individual glass sheets 355.

The glass manufacturing system 300 and in particular the aforementioned components 310, 315, 320, 325, 335 and 350 are connected to one another and function the same as the corresponding components 110, 115, 120, 125, 135 and 150 described above with respect to the glass manufacturing system 100 shown in FIG. 1 except that the new pull roll apparatus 440, 540, 640 and 740 is a marked improvement over the traditional pull roll apparatus 140. As discussed below, the new pull roll apparatus 440, 540, 640 and 740 is configured so that it can be used to control and improve the consistency of a cross-draw tension and/or down-draw sheet tension in the glass sheet 305 which reduces residual glass stress and improves glass flatness of the manufactured glass sheet 305. More specifically, the pull roll apparatus 440, 540, 640 and 740 can be used to control and improve the consistency of the cross-draw tension and/or down-draw sheet tension in the area where the glass sheet 305 (also known as ribbon 305) is going through a visco-elastic transformation. This area is defined as the setting zone which is where product stress and flatness are set in the glass sheet 305. Unfortunately, the traditional pull roll apparatus 140 was not configured so one could control the cross-draw tension in the glass sheet 105. Further, the traditional pulling roll apparatus 140 causes significant instantaneous force variability known as wind-up forces which result from driving multiple roll flats at a constant speed. Moreover, the traditional pulling roll apparatus 140 can be impacted from a variable ribbon load from the sheet cutoff process which can result in changes to the sag of the shafts that cause variable cross-draw forces and can result in inconsistent product flatness and stress. However, the new pull roll apparatus 440, 540, 640 and 740 can control and adjust the cross-draw tension in the glass sheet 305 to any level desired while the down-draw tension can be adjusted or held constant while manufacturing the glass sheet 305. A detailed discussion about each pull roll apparatus 440, 540, 640 and 740 is provided below with respect to FIGS. 4-7.

Referring to FIGS. 4A-4G, there are several diagrams associated with the pull roll apparatus 440 that is configured in accordance with a first embodiment of the present invention. As shown in FIG. 4A, the pull roll apparatus 440 includes a first cantilevered driven stub roll pair 442, a second cantilevered driven stub roll pair 444 and a control device 446 (e.g., computer 446, programmable logic controller 446) (note: FIG. 4A is not to scale). The device 446 controls the two

5

driven stub roll pairs **442** and **444** while a first edge portion **305a** of the glass sheet **305** is drawn between two vertically downtilted rolls **450a** and **450b** which are associated with the first driven stub roll pair **442** and while an opposing second edge portion **305b** of the glass sheet **305** is drawn between two vertically downtilted rolls **452a** and **452b** which are associated with the second driven stub roll pair **444** (see FIG. 4E). The stub roll pairs are vertically downtilted in order to create a cross-draw tension, as well as a down-draw tension in the glass sheet **305**. In these examples, the two driven stub roll pairs **442** and **444** are not positioned to have an uptilt because this would cause an undesirable compressive force across the glass sheet **305** which would deform and stress the glass sheet **305**. In addition, it may be desirable to downtilt the rolls **450a** and **450b** on one side differently than the rolls **452a** and **452b** on the other side depending on the processing conditions (note: pull roll apparatus **740** discussed with respect to FIGS. 7A-7B does not have vertically downtilted rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b** but instead has horizontally level rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b**).

In addition, the device **446** (along with an automatic positioner like an air-cylinder or other type of positioning actuator) or instead a simple manual mechanism may be used to adjust the downtilt position of the vertically downtilted rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b** so as to control (or tune) the average cross-draw tension force **448a** across the glass sheet **305** (see experimental results shown in FIG. 4B where the preferred downtilt angle "x" was in the range of 1.5° for the tested exemplary pull roll apparatus **440**) (note: this controlling of a cross-draw tension is true for the downtilted rolls **606a**, **606b**, **608a** and **608b** associated with the pull roll assembly **640**). The capability of the pull roll apparatus **440** to manage the tension effects including the cross-draw tension **448a** and down-draw tension **448b** within the setting zone where there is a visco-elastic glass sheet **305** would be very helpful in drawing the glass sheet **305** to the desired thickness while at the same time improving the flatness of the glass sheet **305** and reducing the residual stress within the glass sheet **305**. Plus, since there can be differences in the glass viscosity delivered from end to end in the isopipe **335**, the individual driven and controlled stub roll pairs **442** and **444** enables one to account for this inherent imbalance in the glass viscosity which may be caused by the isopipe **335**. Moreover, the pull roll apparatus **440** has a configuration which would allow for the adjustment of the glass tension **448a** and **448b** over the roll life which could help to stabilize the down-draw process and significantly extend the life of the downtilt rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b**.

If desired, the vertically downtilted rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b** can also be positioned to have a predetermined splay angle which is a horizontal angle θ that a respective face of the downtilted rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b** would be positioned relative to a respective major surface **305c** and **305d** of the glass sheet **305** (see FIG. 4C) (note: the pull roll apparatus **740** discussed with respect to FIGS. 7A-7B has horizontally level rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b** and these particular rolls if desired can also be positioned to have a predetermined splay angle). The positioning of the vertically downtilted rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b** to have a desired splay angle θ could further help to control the amount of cross-draw force **448a** which is generated across the glass sheet **305**. A positive splay angle θ generates a cross-draw tension **448a** which is preferred (see experimental results of tension vs. splay angle shown in FIG. 4D where the tested exemplary pull roll apparatus **440** had a splay angle which in effect is a contact angle at the roll flat that was in the range of 0.007 in/in). In contrast, a negative splay angle θ generates a

6

compressive force across the glass sheet **304** which is not preferred since such a force would deform and stress the glass sheet **305** (note: FIG. 4C shows a pull roll apparatus **440** with a positive splay angle θ). The pull roll apparatus **440** can be configured such that the adjustment to the desired splay angle θ can be made manually (preferred) or automatically (possible) by using for example an air cylinder or other type of positioning actuator. It should be appreciated that the roll flats of the downtilted rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b** often run on the waste portion of the glass sheet **126**, where the waste portion often tapers in thickness. This glass tapering generally reduces cross-draw tension levels generated at the downtilted rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b**. However, the ability to adjust the splay angle θ is helpful in offsetting this taper affect and maintaining a desirable high level of cross-draw tension (note: the pull roll apparatus **740** discussed below has horizontally level rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b** and these rolls also often run on the waste portion of the glass sheet **126**).

In this pull roll apparatus **440** (and the other pull roll assemblies **540**, **640** and **740** discussed below) it should be appreciated that the respective motors can be servo motors which may or may not use a gear box to drive the respective rolls. The servo motors can provide torque and/or speed measurements back to the control device **446** (e.g., programmable logic controller **446**) which are then used by the control device **446** to implement a desired control scheme (various control schemes are discussed next). Alternatively, the control device **446** can interact with other types of motor controllers such as variable frequency drives to control the speed and/or torque of the respective motors. In this situation, torque sensors and/or speed sensors would be used to measure the same and can be coupled inline with an axle between the respective motors/gearboxes/rolls. Plus, in this pull roll apparatus **440** (and the other pull roll assemblies **540**, **640** and **740** discussed below) a tension device may be used to measure or indirectly measure the cross-draw tension **448a** in the glass sheet **305** so the control device **446** can interact with a mechanical device and adjust the position of the rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b** to have a desired downtilt angle to control the cross-tension **448a** during the drawing process (note: the rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b** can also be manually or automatically adjusted to have a desired downtilt angle to control the cross-tension **448a**). For example, the cross-draw tension device may be a load cell or similar device that is placed in the mounting/support structures of the first and second driven stub roll pairs **442** and **444** (note: for clarity the brackets/supports that hold the various rolls within the pull roll assemblies **440**, **540**, **640** and **740** have not been shown).

In operation, the device **446** can implement anyone of a number of control schemes to effectively control the down-draw tension **448b** in the glass sheet **305** by controlling the velocity and/or torque of the two driven stub roll pairs **442** and **444**. FIGS. 4E-4F are provided to help explain one exemplary control scheme that can be implemented by the pull roll assembly **440** to effectively control/adjust the down-draw tension **448b** within the glass sheet **305**. In this case, the device **446** (e.g., programmable logic controller **446**) controls velocities (revolutions per minute) of motors **454a** and **456a** which are operatively connected to the downtilted rolls **450a** and **452a** and further controls torques of motors **454b** and **456b** which are operatively connected to the other downtilted rolls **450b** and **452b**. In particular, the device **446** controls the master motors **454a** and **456a** to operate at a prescribed angular velocity and then monitors the torque of the master motors **454a** and **456a** so that it can control the torque of the slave motors **454b** and **456b** to match a predetermined percentage of the measured torque of the corresponding master motors

454a and **456a**. For instance, the device **446** can control the slave motors **454b** and **456b** to output a torque that is 50-100% of the monitored torque of the master motors **454a** and **456a**. If desired, the device **446** can have one master motor **454a** operating at a different velocity than the other master motor **456a** to take into account any process asymmetries.

Another exemplary control scheme that can be implemented by the pull roll apparatus **440** to effectively control/adjust the down-draw tension **448b** within the glass sheet **305** is described next with the aid of FIGS. **4E** and **4G**. In this case, the device **446** (e.g., programmable logic controller **446**) controls the velocities (revolutions per minute) of all four motors **454a**, **454b**, **456a** and **456b** which are operatively connected to the four downtilted rolls **450a**, **450b**, **452a**, and **452b**. In particular, the device **446** controls all four motors **454a**, **454b**, **456a** and **456b** to have the same setpoint velocity in order to control/adjust the down-draw tension **448b** while drawing the glass sheet **305** between the four downtilted rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b**. If desired, the device **446** can have the motors **454a** and **454b** on one side operating at a different velocity than the motors **456a** and **456b** located on the other side to take into account any process asymmetries. Further, the velocities of the motors on either side of the glass sheet **305** can be set at different control velocities to offset differences in roll geometries (e.g., motor **454a** could be operated at a different velocity than motor **454b**). This constant velocity control scheme does have one drawback in that it cause some wind-up forces to arise because of small geometrical/size variations in the rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b**. However, this constant velocity control scheme is easy to implement and may be acceptable for some applications. In contrast, the control scheme associated with FIG. **4F** is the preferred scheme, because the control system eliminates roll to roll wind-up and prevents these undesirable variations.

Still yet another exemplary control scheme that can be implemented by the pull roll apparatus **440** to effectively control/adjust the down-draw tension **448b** within the glass sheet **305** while eliminating roll-to-roll wind-up is described next with the aid of FIG. **4H**. In this case, the device **446** (e.g., programmable logic controller **446**) controls the velocities (revolutions per minute) of two motors **454a** and **456a** which are operatively connected to the two downtilted rolls **450a** and **452a** while the other two downtilted rolls **450b** and **452b** freely turn or idle because they do not have motors (or the motors are disengaged, by for example, a clutch system). In particular, the device **446** controls the two motors **454a** and **456a** to have the same setpoint velocity in order to control/adjust the down-draw tension **448b** while drawing the glass sheet **305** between the four downtilted rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b**. If desired, the device **446** can have the motor **454a** on one side operating at a different velocity than the motor **456a** located on the other side to take into account any process asymmetries. This control scheme is desirable for its simplicity and lower cost and may allow for acceptable performance in some applications.

The pull roll apparatus **440** has several advantages relative to the traditional pull roll apparatus **140**. For instance, the first and second driven stub roll pairs **442** and **444** effectively enable: (1) the tuning of the cross-draw tension **448a** to reduce stress and warp in the glass sheet **305**; and (2) the elimination or reduction of roll wind-up forces. It should be appreciated that the pulling roll apparatus **440** may also include optional pair(s) of edge rolls **458** and **460** and/or optional pair(s) of idle stub rolls **462** and **464** (see FIG. **4E**).

Referring to FIGS. **5A-5E**, there are several diagrams associated with the pull roll apparatus **540** that is configured in

accordance with a second embodiment of the present invention. As shown in FIG. **5A**, the pull roll apparatus **540** includes a new pulling roll assembly **500** in addition to the components associated with the first described pull roll apparatus **440** namely a first cantilevered driven stub roll pair **442**, a second cantilevered driven stub roll pair **444** and a control device **446** (e.g., computer **446**, programmable logic controller **446**) (note: FIG. **5A** is not to scale). The pulling roll assembly **500** includes a first pull roll **502** (having two ends **502a** and **502b** optionally coated with a compressible refractory roll covering) and a second pull roll **504** (having two ends **504a** and **504b** optionally coated with a compressible refractory roll covering) which extend across the glass sheet **305** and draw the edges **305a** and **305b** of the glass sheet **305**. The device **446** operates the pulling roll assembly **500**, the first cantilevered driven stub roll pair **442** and the second cantilevered driven stub roll pair **444** to control and improve the consistency of the down-draw sheet tension **448b** which reduces residual stress and improves glass flattening while the glass sheet **305** is being manufactured. The addition of the pull roll assembly **500** also give rise to the ability to control different sets of down-draw tensions **448b** and **448c** within the ribbon. For instance, the stub roll pairs **442** and **444** can control the down-draw tension **448b** in the ribbon located between themselves and the isopipe **335**, and the pull roll assembly **500** can control the down-draw tension **448c** in the ribbon located between themselves and the stub roll pairs **442** and **444**. The device **446** can implement anyone of a number of control schemes to effectively control the down-draw tensions **448b** and **448c** in the glass sheet **305** by controlling the velocity, splay angle, downtilt angle and/or torque of the pulling roll assembly **500** and/or the two downtilted driven stub roll pairs **442** and **444**. Several exemplary control schemes are discussed in detail next with respect to FIGS. **5B-5E**.

An exemplary control scheme that can be implemented by the pull roll apparatus **540** to effectively control/adjust the down-draw tensions **448b** and **448c** within the glass sheet **305** is described next with the aid of FIGS. **5B-5C**. In this case, the device **446** (e.g., programmable logic controller **446**) controls a velocity (revolutions per minute) of a master motor **506** which is operatively connected to the first pull roll **502** and further controls a torque of a slave motor **508** operatively connected to the second pull roll **504** and then controls the torque output from slave motors **454a**, **454b**, **456a** and **456b** which are operatively connected to the downtilted rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b** of the first and second driven stub roll pairs **442** and **444**. In particular, the device **446** controls the master motor **506** to operate at a prescribed angular velocity and then monitors the torque of the master motor **506** so that it can control the torques of the slave motors **508**, **454a**, **454b**, **456a** and **456b** to match a predetermined percentage of the measured torque of the master motor **506**. For instance, the device **446** can control the slave motor **508** to output a torque that is 50-100% of the monitored torque of the master motor **506** and further control the slave motors **454a**, **454b**, **456a** and **456b** to output torque that is 0-10% of the monitored torque of the master motor **506**.

Another exemplary control scheme that can be implemented by the pull roll apparatus **540** to effectively control/adjust the down-draw tensions **448b** and **448c** within the glass sheet **305** is described next with the aid of FIGS. **5B** and **5D**. In this case, the device **446** (e.g., programmable logic controller **446**) controls a velocity (revolutions per minute) of the master motor **506** which is operatively connected to the first pull roll **502** and further controls the torque output from the slave motors **454a**, **454b**, **456a** and **456b** which are opera-

tively connected to the downtilted rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b** of the first and second driven stub roll pairs **442** and **444**. In particular, the device **446** controls the master motor **506** to operate at a prescribed angular velocity and then monitors the torque of the master motor **506** so that it can control the torques of the slave motors **454a**, **454b**, **456a** and **456b** to match a predetermined percentage of the measured torque of the master motor **506**. For instance, the device **446** can control the slave motors **454a**, **454b**, **456a** and **456b** to output torque that is 0-10% of the monitored torque of the master motor **506**. As can be seen, the second pull roll **504** has no motor but it could have a motor (if desired) that applies just enough torque to offset the bearing friction in the second pull roll **504**).

Yet another exemplary control scheme that can be implemented by the pull roll apparatus **540** to effectively control/adjust the down-draw tensions **448b** and **448c** and cross-draw tension variability **448a** within the glass sheet **305** is described next with the aid of FIGS. 5B and 5E. In this case, the device **446** (e.g., programmable logic controller **446**) controls velocities (revolutions per minute) of master motors **506** and **508** which are operatively connected to the first and second pull rolls **502** and **504** and further controls the torque output from the slave motors **454a**, **454b**, **456a** and **456b** which are operatively connected to the downtilted rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b** of the first and second driven stub roll pairs **442** and **444**. In particular, the device **446** controls the master motors **506** and **508** to operate at a prescribed angular velocity and then monitors the torques of the master motors **506** and **508** so that it can control the torques of the slave motors **454a**, **454b**, **456a** and **456b** to match a predetermined percentage of the average of the measured torque of the master motors **506** and **508**. For instance, the device **446** can control the slave motors **454a**, **454b**, **456a** and **456b** to output torque that is 0-10% of the average of the monitored torques of the two master motors **506** and **508**. This particular control scheme does have one drawback in that it may not prevent undesirable variations in a roll-wind-up force which can arise from small geometrical/size variations in the rolls **450a**, **450b**, **452a**, **452b**, **502a**, **502b**, **504a** and **504b** (note: this is not an issue when the pull roll apparatus **540** that implements the control scheme described above with respect to FIG. 5C). Lastly, it should also be appreciated that the pulling roll apparatus **540** may also include an optional pair of edge rolls **458** and **460** (see FIG. 5B).

In fact, there are many different control schemes that could be implemented by the pull roll apparatus **540**. For instance, an additional control scheme is to operate the lower rolls **502** and **504** at a constant angular velocity and operate the upper stub roll pairs **442** and **444** at a constant angular velocity. For stable operation, the lower drive rolls **502** and **504** would be set to a slightly faster speed than the upper stub roll pairs **442** and **444**. Although this would not be as preferred as the other schemes, and may result in more roll wear, constant velocity is easier to deploy and operate and may be adequate in certain applications. Another possible control scheme is to drive one lower roll **502** on one side with constant velocity and idle the other lower roll **502** on the opposing side of the ribbon. And, the upper stub roll pairs **442** and **444** in the same way can be velocity controlled and idled instead of torque controlled. The idling function could be accomplished by using an electromagnetic clutch. By idling some of the rolls, some of the advantages of the present invention can be realized and this scheme may be appropriate in certain applications.

The pull roll apparatus **540** has several advantages relative to the traditional pull roll apparatus **140**. For instance, the first and second driven stub roll pairs **442** and **444** effectively

enable: (1) the tuning of the cross-draw tension **448a** to reduce stress and warp in the glass sheet **305**; (2) the reduction and possible elimination of the roll wind-up forces; and (3) the reduction of changes in the cross-draw tension **448a** during the cycling of the glass sheet **305**. And, the pulling roll assembly **500** has several advantages including (for example): (1) the absorbing of the glass sheet's variable weight when the TAM **350** scores the glass sheet **305** and when the scored glass sheet **305** is separated into smaller glass sheets **355**; (2) the colder pull rolls **502** and **504** cause less cycling in the cross-draw tension **448a** while manufacturing the glass sheet **305**; and (3) the lower position of the pull rolls **502** and **504** results in less impact on the glass sheet **305** while it is located in the setting zone which is where the two driven stub roll pairs **442** and **444** are located. Another advantage of the pulling roll assembly **500** is that it moves the variable pulling forces caused by the glass sheet cutoff which results in cross-draw force variability to the colder portion of the glass ribbon. This allows the first and second driven stub roll pairs **442** and **444** conditions to be more constant which is desirable since these components are typically located close to the visco-elastic glass temperatures where product stress and flatness can be affected. Further, the colder conditions associated with the pulling roll assembly **500** result in less shaft flex, which allows the variable load to translate to variable cross-draw tension. For best isolation, the pull roll apparatus **500** would be located as close to the TAM **350** as practical.

In addition, the pull roll apparatus **540** can be used to help recover from a "crackout" event which is what occurs when there is a break in the glass sheet **305** that runs from the TAM **350** up into the two driven stub roll pairs **442** and **444**. In this situation, the control device **446** would sense a torque loss at the pull rolls **502** and **504** and then immediately switch the motors **454a**, **454b**, **456a** and **456b** to run at a constant angular velocity. Optionally, the lower pull rolls **502** and **504** may be automatically opened to facilitate the re-threading the glass sheet **305** through the lower rolls **502** and **504**. And, once the glass sheet **305** is being properly drawn again then the control device **446** (or a manual means if desired) can be used to switch back to one of the aforementioned control schemes.

Referring to FIGS. 6A-6D, there are several diagrams associated with the pull roll apparatus **640** that is configured in accordance with a third embodiment of the present invention. As shown in FIG. 6A, the pull roll apparatus **640** includes third and fourth cantilevered driven stub roll pairs **602** and **604** in addition to the components associated with the first described pull roll apparatus **440** namely a first cantilevered driven stub roll pair **442**, a second cantilevered driven stub roll pair **444** and a control device **446** (e.g., computer **446**, programmable logic controller **446**) (note: FIG. 6A is not to scale). In this embodiment, the third cantilevered driven stub roll pair **602** is located directly below the first cantilevered driven stub roll pair **442** and has two vertically downtilted rolls **606a** and **606b** between which there is drawn the first edge portion **305a** of the glass sheet **305**. Likewise, the fourth cantilevered driven stub roll pair **604** is located directly below the second cantilevered driven stub roll pair **444** and has two vertically downtilted rolls **608a** and **608b** between which there is drawn the opposing second edge portion **305b** of the glass sheet **305**. The device **446** operates the four cantilevered driven stub roll pairs **442**, **444**, **602** and **604** in a manner to control and improve the consistency of cross draw tensions **448a** and **448d** and down-draw sheet tensions **448b** and **448c** which reduces residual stress and improves glass flattening while the glass sheet **305** is being manufactured. The addition of the lower stub roll pairs **602** and **604** also give rise to the ability to control different sets of cross-draw tensions **448a**

11

and **448d** and down-draw tensions **448b** and **448c** within the ribbon. For instance, the upper stub roll pairs **442** and **444** can control the cross-draw tension **448a** and the down-draw tension **448b** in the ribbon located between themselves and the isopipe **335**, and the lower stub roll pairs **602** and **604** can control the cross-draw tension **448d** and the down-draw tension **448c** in the ribbon located between themselves and the upper stub roll pairs **442** and **444**. The device **446** can implement anyone of a number of control schemes to effectively control the cross-draw tension variability **448a** and **448d** and down-draw tensions **448b** and **448c** in the glass sheet **305** by controlling the velocity, splay angle, downtilt angle and/or torque of the four driven stub roll pairs **442**, **444**, **602** and **604** (note: it may be desirable to splay or downtilt differently one or more of the rolls **450a**, **450b**, **452a**, **452b**, **606a**, **606b**, **608a** and **608b** depending on the processing conditions). Several exemplary control schemes are discussed in detail next with respect to FIGS. 6B-6C.

An exemplary control scheme that can be implemented by the pull roll apparatus **640** to effectively control/adjust the cross-draw tensions **448a** and **448d** and the down-draw tensions **448b** and **448c** within the glass sheet **305** is described next with the aid of FIGS. 6B-6C. In this case, the device **446** (e.g., programmable logic controller **446**) controls the velocities (revolutions per minute) of master motors **610a** and **612a** which are operatively connected to downtilt rolls **606a** and **608a** and further controls torques of slave motors **610b** and **612b** which are operatively connected to downtilt rolls **606b** and **608b** and then controls the torque output from the slave motors **454a**, **454b**, **456a** and **456b** which are operatively connected to the downtilted rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b** of the first and second driven stub roll pairs **442** and **444**. In particular, the device **446** controls the master motors **610a** and **612a** to operate at a prescribed angular velocity and then monitors the torque of the master motors **610a** and **612a** so that it can control the torques of the slave motors **610b**, **612b**, **454a**, **454b**, **456a** and **456b** to match a predetermined percentage of the measured torque of the master motors **610a** and **612a**. For instance, the device **446** can control the slave motors **610b** and **612b** to output torque that is 50-100% of the monitored torques of their respective master motors **610a** and **612a** and further control the slave motors **454a** and **454b** to output torque that is 0-10% of the monitored torque of the master motor **612a**. If desired, the device **446** can have one master motor **610a** operating at a different velocity than the other master motor **612a** to take into account any process asymmetries.

Another exemplary control scheme that can be implemented by the pull roll apparatus **640** to effectively control/adjust the cross-draw tensions **448a** and **448d** and the down-draw tensions **448b** and **448c** within the glass sheet **305** is described next with the aid of FIGS. 6B and 6C. In this case, the device **446** (e.g., programmable logic controller **446**) controls velocities (revolutions per minute) of master motors **610a**, **610b**, **612a** and **612b** which are operatively connected to downtilt rolls **606a**, **606b**, **608a** and **608b** and further controls the torque output from slave motors **454a**, **454b**, **456a** and **456b** which are operatively connected to the downtilted rolls **450a**, **450b**, **452a** and **452b** of the first and second driven stub roll pairs **442** and **444**. In particular, the device **446** controls the master motors **610a**, **610b**, **612a** and **612b** to operate at a prescribed angular velocity and then monitors the torques of the master motors **610a**, **610b**, **612a** and **612b** so that it can control the torques of the slave motors **454a**, **454b**, **456a** and **456b** to match a predetermined percentage of the

12

average of the measured torques of the master motors **610a**, **610b**, **612a** and **612b**. For instance, the device **446** can control the slave motors **454a** and **454b** to output torque that is 0-10% of the average of the two monitored torques of master motors **610a** and **610b** and then control the slave motors **456a** and **456b** to output torque that is 0-10% of the average of the two monitored torques of master motors **612a** and **612b**. If desired, the device **446** can have master motors **610a** and **610b** on one side operating at a different velocity than the master motors **612a** and **612b** located on another side to take into account any process asymmetries.

In fact, there are many different control schemes that could be implemented by the pull roll apparatus **640**. For instance, an additional control scheme is to operate the lower stub roll pairs **602** and **604** at a constant angular velocity and operate the upper stub roll pairs **442** and **444** at a constant angular velocity. For stable operation, the lower stub roll pairs **602** and **604** would be set to a slightly faster speed than the upper stub roll pairs **442** and **444**. Although this would not be as preferred as the other schemes, and may result in more roll wear, constant velocity is easier to deploy and operate and may be adequate in certain applications. Another possible control scheme is to drive one lower roll **606a/608a** on one side with constant velocity and idle the other lower roll **606b/608b** on the opposing side of the ribbon. And, the upper stub roll pairs **442** and **444** can in the same way be velocity controlled and idled instead of torque controlled. The idling function could be accomplished by using an electromagnetic clutch. By idling the rolls, some of the advantages of the present invention can be realized and this scheme may be appropriate in certain applications.

The pull roll apparatus **640** has several advantages relative to the traditional pull roll apparatus **140**. For instance, the first and second driven stub roll pairs **442** and **444** effectively enable: (1) the tuning of the cross-draw tension **448a** to reduce stress and warp in the glass sheet **305**; (2) the reduction and possible elimination of the drive wind-up forces; and (3) the reduction of changes in the cross-draw tensions **448a** and **448d** during the cycling of the glass sheets **305**. And, the third and fourth driven stub roll pairs **602** and **604** effectively enable (for example): (1) the absorbing of the glass sheet's variable weight when the TAM **350** scores the glass sheet **305** and when the scored glass sheet **305** is separated into smaller glass sheets **355**; (2) the colder downtilt rolls **606a**, **606b**, **608a** and **608b** cause less cycling in the cross-draw tension **448a** while manufacturing the glass sheet **305**; and (3) the lower position of the downtilt rolls **606a**, **606b**, **608a** and **608b** results in less impact on the glass sheet **305** while it is located in the setting zone which is where the two driven stub roll pairs **442** and **444** are located. It should be noted that the third and fourth constant torque driven stub roll pairs **602** and **604** can have their downtilt angles and splay angles adjusted in the same manner as the first and second constant torque driven stub roll pairs **442** and **444**.

In addition, the pull roll apparatus **640** can be used to help recover from a "crackout" event which is what occurs when there is a break in the glass sheet **305** that runs from the TAM **350** up into the two driven stub roll pairs **442** and **444**. In this situation, the control device **446** would sense a torque loss at the lower driven stub roll pairs **602** and **604** and then immediately switch the motors **454a**, **454b**, **456a** and **456b** to run at a constant velocity. Optionally, the lower pull rolls **606a**, **606b**, **608a** and **608b** may be automatically opened to facilitate the re-threading the glass sheet **305** through the lower rolls **606a**, **606b**, **608a** and **608b**. And, once the glass sheet **305** is being properly drawn again then the control device **446** (or manual means if desired) can switch back to

13

one of the aforementioned control schemes. Lastly, it should also be noted that the pulling roll apparatus 640 may also include an optional pair of edge rolls 458 and 460 (see FIG. 6B).

Referring to FIGS. 7A-7B, there are several diagrams associated with the pull roll apparatus 740 that is configured in accordance with a fourth embodiment of the present invention. As shown, the pull roll apparatus 740 includes a first cantilevered driven stub roll pair 442, a second cantilevered driven stub roll pair 444 and a control device 446 (e.g., computer 446, programmable logic controller 446) (note: FIG. 4A is not to scale). The device 446 effectively controls a down-draw tension 448b in the glass sheet 305 by controlling the two driven stub roll pairs 442 and 444 while a first edge portion 305a of the glass sheet 305 is drawn between two horizontal rolls 450a and 450b which are associated with the first driven stub roll pair 442 and while an opposing second edge portion 305b of the glass sheet 305 is drawn between two horizontal rolls 452a and 452b which are associated with the second driven stub roll pair 444 (see FIG. 7B). If desired, the horizontal rolls 450a, 450b, 452a and 452b can also be positioned (either automatically or manually) to have a predetermined positive splay angle θ which controls the amount of cross-draw force 448a which is generated across the glass sheet 305. Plus, the pull roll apparatus 740 may also incorporate the pulling roll assembly 500 (see FIG. 5A) or the third and fourth cantilevered driven stub roll pairs 602 and 604 (see FIG. 6A). Moreover, the pull roll apparatus 740 may implement anyone of the control schemes discussed above with respect to pull roll apparatuses 440, 540 and 640. It should be appreciated that the pulling roll apparatus 740 may also include optional pair(s) of edge rolls 458 and 460 and/or optional pair(s) of idle stub rolls 462 and 464 (see FIG. 7B) (note: if desired the idle stub rolls 462 and 464 can be horizontal and not downtilted as shown).

As can be seen, the pull roll apparatus 740 indicates that it is not required to have downtilted rolls 450a, 450b, 452a and 452b but that the horizontal rolls 450a, 450b, 452a and 452b can result in an advantageous drive layout. For instance, if an exemplary fusion process results in ribbon glass that is under high internal tension due to thermal gradients within the ribbon glass. Then, extra cross tension from the vertically downtilted rolls 450a, 450b, 452a and 452b may not be all that helpful to performance but the other benefits from the low motion drive control schemes described herein and the horizontal rolls 450a, 450b, 452a and 452b could have a big impact on the performance.

From the foregoing it can be seen that the pull roll assemblies 440, 540, 640 and 740 of the present invention have the capability to manage, adjust and control both cross-draw tension 448a and down-draw tension 448b forces while manufacturing a glass sheet 305. This is accomplished by the use of multiple stub rolls and/or powered pull rolls where external forces such as a robot's interaction at sheet "snap-off" and the resulting changes in total weight of the glass sheet 305 on the drawing process are controlled. Moreover, the pull roll assemblies 440, 540, 640 and 740 can minimize or eliminate roll induced forces such as roll "wind-up" which is caused by differences in angular velocity due to roll diameter differences, shaft warp, uneven machining or wear etc. . . . Following are some additional features, uses and capabilities of the pull roll apparatus 440, 540, 640 and 740 of the present invention:

1. A technical benefit of the new drive scheme is to provide adjustment and control of the cross-draw tension 448a and the down-draw tension 448b. This is important since this type of

14

control helps lower residual stress and improve sheet flatness in the resulting glass sheets 355.

2. Changes in the draw tension balance below the fusion pipe 335 is now possible due to the use of torque and/or velocity control of four pulling flats/rolls 450a, 450b, 452a and 452b at a position where effective process changes and monitoring can be achieved because the glass sheet 305 is in a visco-elastic phase.

3. Individual control of the four main pulling flats/rolls 450a, 450b, 452a and 452b is beneficial for matching the velocity and reducing the associated wind-up which causes surface damage. In the past, this wind-up was difficult to address since it is very difficult if not impossible to machine the compressible refractory roll covering of all four pulling flats/rolls on the two separate full length rolls in the traditional pull roll apparatus 140 to exactly the same, prescription, and diameter with no run-out. As a result, the traditional pull roll apparatus 140 suffered from differences in surface velocity which produced differential wear, glass surface damage and contamination.

4. The stub rolls 450a, 450b, 452a and 454b are inherently easier to machine to exacting tolerances than the prior art pulling rolls 142a, 142b, 144a and 144b due to their reduced physical size regardless of the size of the glass sheet 305.

5. By using the stub drive roll pairs 442 and 444, all glass manufacturing systems 300 can use the same rolls 450a, 450b, 452a and 452b. This was not possible in the past since each size platform and in some cases particular draws had rolls that were specifically designed for that particular process. As a result, the use of universal stub roll pairs 442 and 444 would reduce roll inventory significantly and reduce total roll costs. Plus, with the stub drive roll pairs 442 and 444, the nip location can be altered with a simple mechanical setup change. In contrast, with the traditional full length pull rolls 142 and 144, the pulling flats had to be remanufactured if the pulling flat location needed to be changed.

6. By use of splay control, the nip footprint can match the bead thickness gradient correctly. This results in lower roll wear, longer roll life, and less down time (and process upsets) than when using the traditional full length pull rolls 142 and 144.

7. The pull roll assemblies 440, 540, 640 and 740 also have the following advantageous features:

a. Minimize force cycling from flat to flat wind-up interactions (by elimination of the continuous shaft).

b. Manipulation of the cross-draw tension at the setting zone area of the glass sheet by tilting in a downward direction the stub roll axle to optimize product stress and flatness.

c. Measure the cross-draw tension and using this, in conjunction, with the downtilt capability to setup the optimal tension conditions to manufacture glass sheets with low stress and improved flatness.

d. Adjust downtilt angles to hold constant the desired tension over time to help compensate for roll wear, glass thickness gradient changes, and other normal variation sources (note: this can be done with either a manual or automated system).

e. Improve the consistency of the glass manufacturing process to assure optimal ribbon conditions necessary for maintaining low stress and flatness in the resulting glass sheet.

f. Control the stub roll motors using a master/slave differential control system algorithm (Master=constant torque/slave roll matches the master torque level) to eliminate roll to roll load imbalance, provide a more consistent pulling force, and improve product stress and flatness.

g. Use tension instruments and downtilts (inlet and compression balance, for example) so the driven stub rolls can

15

offset force imbalances from normal process differences/ variations and create more optimal ribbon conditions, and improve product stress and flatness. This may also improve thickness control and minimize bead mass (waste glass).

h. Adjust the splay angle of the stub roll mechanism (changing the horizontal angle between the stub rolls axles) which would allow for further manipulation of the cross-draw tension that is generated by the stub rolls. This capability could be leveraged like the downtilt angle.

i. The ability to adjust the flat/roll location of the stub roll mechanism which changes where the flat runs on the thickness gradient of the glass sheet which changes the horizontal contact angle at the roll flat and which in turn changes the cross-draw tension. This capability could be leveraged like the downtilt angle.

j. Use of a second roll (buffering roll) located well below the setting zone. This could be a continuous shaft roll or driven stub roll pairs (see FIGS. 5A-6A). This buffering roll would absorb the varying load of the ribbon from sheet removal and robot interaction and help minimize the disturbance in the visco-elastic area of the glass sheet 305.

k. Enable further manipulation of the ribbon tension levels at the setting zone, which may be helpful to lower stress and improve flatness.

l. The driven and buffering roll configuration also enables use of idle stub rolls between the driven and buffering rolls which can have a very high downtilt (high tensioning) position. The addition of these idle stub rolls would be expected to reduce ribbon motion and reduce product stress.

Although multiple embodiments of the present invention have been illustrated in the accompanying Drawings and described in the foregoing Detailed Description, it should be understood that the invention is not limited to the embodiments disclosed, but is capable of numerous rearrangements, modifications and substitutions without departing from the spirit of the invention as set forth and defined by the following claims.

The invention claimed is:

1. A method for manufacturing a glass sheet, said method comprising the steps of:

- a) melting batch materials and forming the glass sheet;
- b) delivering the glass sheet to a pull roll apparatus;
- c) drawing the glass sheet and creating a cross-tension in the glass sheet using the pull roll apparatus which comprises:
 - (i) a cantilevered vertically downtilted first stub roll pair for drawing a first edge portion of the glass sheet out away from a center of the glass sheet;
 - (ii) a cantilevered vertically downtilted second stub roll pair for, at a location transversely opposite the first stub roll pair, drawing a second edge portion of the glass sheet out away from the center of the glass sheet, thereby creating a cross-tension in the glass sheet between the first stub roll pair and the second stub roll pair;
 - (iii) a pull roll pair disposed below the first and second stub roll pairs for drawing the first edge portion and the opposing second edge portion of the glass sheet and creating a vertical draw tension on the glass sheet between the pull roll pair and the first and second stub roll pairs;
- d) monitoring the torque of at least one of the pull rolls in the pull roll pair;
- e) monitoring the torque of at least one of the stub rolls in the first stub roll pair and at least one of the stub rolls in the second stub roll pair;

16

f) controlling the torque of at least one of the pull rolls in the pull roll pair; and

g) controlling the torque of at least one of the stub rolls in the first stub roll pair and the torque of at least one of the stub rolls in the second stub roll pair to be a predetermined percentage of the torque of the at least one pull roll.

2. The method of claim 1, further comprising the step of controlling and adjusting a downtilt position of said first stub roll pair and said second stub roll pair.

3. The method of claim 1, wherein said drawing step further comprising a step of positioning each of the stub rolls to have a desired splay angle which is a horizontal angle that a corresponding roll face is positioned relative to a major surface of the glass sheet.

4. The method of claim 1, wherein said controlling the torque of at least one of the stub rolls in the first stub roll pair and in at least one of the stub rolls in the second stub roll pair step further comprising controlling and adjusting angular velocities of at least one of the stub rolls in each of the first and second stub roll pairs while idling the other one of the stub rolls in each of the first and second stub roll pairs.

5. The method of claim 1, wherein said controlling the torque of at least one of the pull rolls step further comprising controlling and adjusting an angular velocity of motors operatively connected to the stub rolls of said first and second stub roll pairs.

6. The method of claim 1, wherein the step of controlling the torque of the stub rolls comprises controlling the torque of the at least one of the stub rolls in the first stub roll pair and the torque of the at least one of the stub rolls in the second stub roll pair to be 50% to 100% of the torque of the at least one pull roll.

7. A method for manufacturing a glass sheet, said method comprising the steps of:

- a) melting batch materials and forming the glass sheet;
- b) delivering the glass sheet to a pull roll apparatus;
- c) drawing the glass sheet and creating a cross-tension in the glass sheet using the pull roll apparatus which comprises:
 - (i) a cantilevered vertically downtilted first stub roll pair for drawing a first edge portion of the glass sheet out away from a center of the glass sheet;
 - (ii) a cantilevered vertically downtilted second stub roll pair for, at a location transversely opposite the first stub roll pair, drawing a second edge portion of the glass sheet out away from the center of the glass sheet, thereby creating a cross-tension in the glass sheet between the first stub roll pair and the second stub roll pair;
 - (iii) a cantilevered vertically downtilted third stub roll pair disposed below said first stub roll pair, for drawing the first edge portion of the glass sheet out away from the center of the glass sheet;
 - (iv) a cantilevered vertically downtilted fourth stub roll pair, disposed below said second stub roll pair at a location transversely opposite the third stub roll pair, for drawing the second edge portion of the glass sheet out away from the center of the glass sheet, thereby creating a cross-tension in the glass sheet between the third stub roll pair and the fourth stub roll pair;
- d) monitoring the torque of at least one of the stub rolls in the first stub roll pair and at least one of the stub rolls in the second stub roll pair;
- e) monitoring the torque at least one of the stub rolls in the third stub roll pair and at least one of the stub rolls in the fourth stub roll pair;

17

f) controlling the torque of at least one of the stub rolls in the third stub roll pair and at least one of the stub rolls in the fourth stub roll pair; and

g) controlling the torque of the at least one of the stub rolls in the first stub roll pair and at least one in the stub rolls of second stub roll pair to be a predetermined percentage of the torque of at least one of the stub rolls in the third stub roll pair and at least one of the stub rolls in the fourth stub roll pair.

8. The method of claim 7, wherein the step of controlling step the torques of the stub rolls further comprising the steps of controlling and adjusting angular velocities of master motors operatively connected to at least one of the stub rolls in the third stub roll pair and at least one of the stub rolls in the fourth stub roll and also controlling and adjusting torques of slave motors operatively connected to at least one of the stub rolls in the first stub roll pair and at least one in the stub rolls of second stub roll pair.

9. The method of claim 7, wherein the step of controlling the torque the at least one of the stub rolls in the first stub roll pair and at least one of the stub rolls in the second stub roll pair comprises controlling the torque of at least one of the stub rolls in the first stub roll pair and the torque of at least one in the stub rolls to be 0% to 10% of the torque of the at least one of the stub rolls of third stub roll pair and at least one of the stub rolls of fourth stub roll.

18

10. The method of claim 7, further comprising the step of controlling and adjusting a downtilt position of said first stub roll pair and said second stub roll pair.

11. The method of claim 10, further comprising the step of controlling and adjusting a downtilt position of said third stub roll pair and said fourth stub roll pair.

12. The method of claim 7, wherein said drawing step further comprising positioning each of the stub rolls to have a desired splay angle which is a horizontal angle that a corresponding roll face is positioned relative to a major surface of the glass sheet.

13. The method of claim 7, wherein the controlling the torque of the at least one of the stub rolls in the first stub roll pair and in the second stub roll pair step further comprising controlling and adjusting angular velocities of the at least one of the stub rolls in each of said first and second stub roll pairs while idling the other one of the stub rolls in each of said first and second stub roll pairs.

14. The method of claim 7, wherein the controlling the torque of the at least one of the stub rolls in the third stub roll pair and at least one of the stub rolls in the fourth stub roll pair step further comprising controlling and adjusting an angular velocity of motors operatively connected to the at least one of the stub rolls in the third stub roll pair and at least one of the stub rolls in the fourth stub roll pair.

* * * * *



US008627684B2

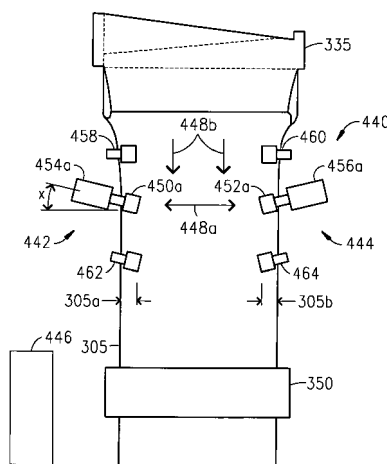
(12) 米国特許証
Shultz 他

(10) 特許番号: US 8,627,684 B2
(45) 特許発行日: 2014 年 1 月 14 日

(54) ガラス板張力制御用ブルロール装置及び方法
(75) 発明者: Michael George Shultz, Big Flats, NY (米国);
George Clinton Shay, Moneta, VA (米国);
David John Ulrich, Burdett, NY (米国);
James Gary Anderson, Dundee, NY (米国);
Liam Ruan de Paor, Lexington, KY (米国);
Lewis Kirk Klingensmith, Corning, NY (米国);
(73) 譲受人: Patrick Aaron Parks, Elmira, NY (米国)
コーニング インコーポレイテッド, コーニング, NY (米国)
(*) 注意事項: 免責条項に従い、本特許の存続期間は 35 U.S.C. 154(b)に基づき 536 日間延長または調整される。
(21) 出願番号: 11/978,333
(22) 出願日: 2007 年 10 月 29 日
(65) 先行公開データ
US 2009/0107182 A1 2009 年 4 月 30 日
(51) 国際特許分類
C03B 15/02 (2006.01)
(52) 米国特許分類
USPC 65/91; 65/90
(58) 分類検索分野
USPC 65/91-92
完全な検索履歴については出願書類を参照のこと。
(56) 引用文献
米国特許文献
1,586,618 A* 1926 年 6 月 Ferngren 65/85
3,338,696 A 1967 年 8 月 Dockerty 65/145
3,353,943 A* 1967 年 11 月 Loutte 65/182.4
3,440,030 A* 1969 年 4 月 Boaz 他 65/99.6
3,520,672 A* 1970 年 7 月 Greenler 他..... 65/91
3,682,609 A 1972 年 8 月 Dockerty 65/83

3,695,859 A* 1972 年 10 月 Dickinson 65/99.5
3,771,985 A* 1973 年 11 月 Dickinson 65/99.3
3,773,486 A 1973 年 11 月 Toussaint 他 65/29
3,926,605 A* 1975 年 12 月 Kunkle 65/91
4,354,866 A* 1982 年 10 月 Mouly 65/99.5
4,375,370 A* 1983 年 3 月 Mouly 65/99.5
4,612,030 A* 1986 年 9 月 Smids 65/91
6,616,025 B1 2003 年 9 月 Andrewlavage, Jr 225/96.5
6,758,064 B1 2004 年 7 月 Kariya 65/91
7,122,242 B2* 2006 年 10 月 DiGiampaolo 他 428/156
2005/0268655 A1 2005 年 12 月 Butts 他 65/29.12
2006/0042314 A1 2006 年 3 月 Abbott, III 他 65/25.3
外国特許文献
JP 05124826 1993 年 5 月 C03B 17/06
JP 05124827 1993 年 5 月 C03B 17/06
JP 10-291826 1998 年 11 月
JP 2007-051028 2007 年 3 月
TW 200604116 2006 年 2 月
審査官による引用
主任審査官 — Jodi C Franklin
(74) 弁理士、代理人または事務所 — Kevin M. Able; Bruce Watson
(57) 要約
本明細書では、ガラス板の製造ステップにおいて、該ガラス板の横方向引張力と下方引張力を制御可能なブルロール装置及び方法が開示される。一実施形態において、該ブルロール装置は、第 1 駆動スタブロール対、第 2 駆動スタブロール対、及び制御装置（例えば PLC）を含む。該制御装置は、ガラス板の第 1 縁部が該第 1 駆動スタブロール対に係る 2 つの垂直下方傾斜ロール間で引き出され、かつ対向する第 2 縁部が該第 2 駆動スタブロール対に係る 2 つの垂直下方傾斜ロール間で引き出される際に、該第 1 及び第 2 駆動スタブロール対を制御する。必要に応じて、該ブルロール装置は、引張ロール組立体（該第 1 及び第 2 駆動スタブロールの下方に配置）または別の駆動スタブロール対組（該第 1 及び第 2 駆動スタブロール対の下方に配置）を含むことができる。

特許請求の範囲 14 項、図面 15 枚



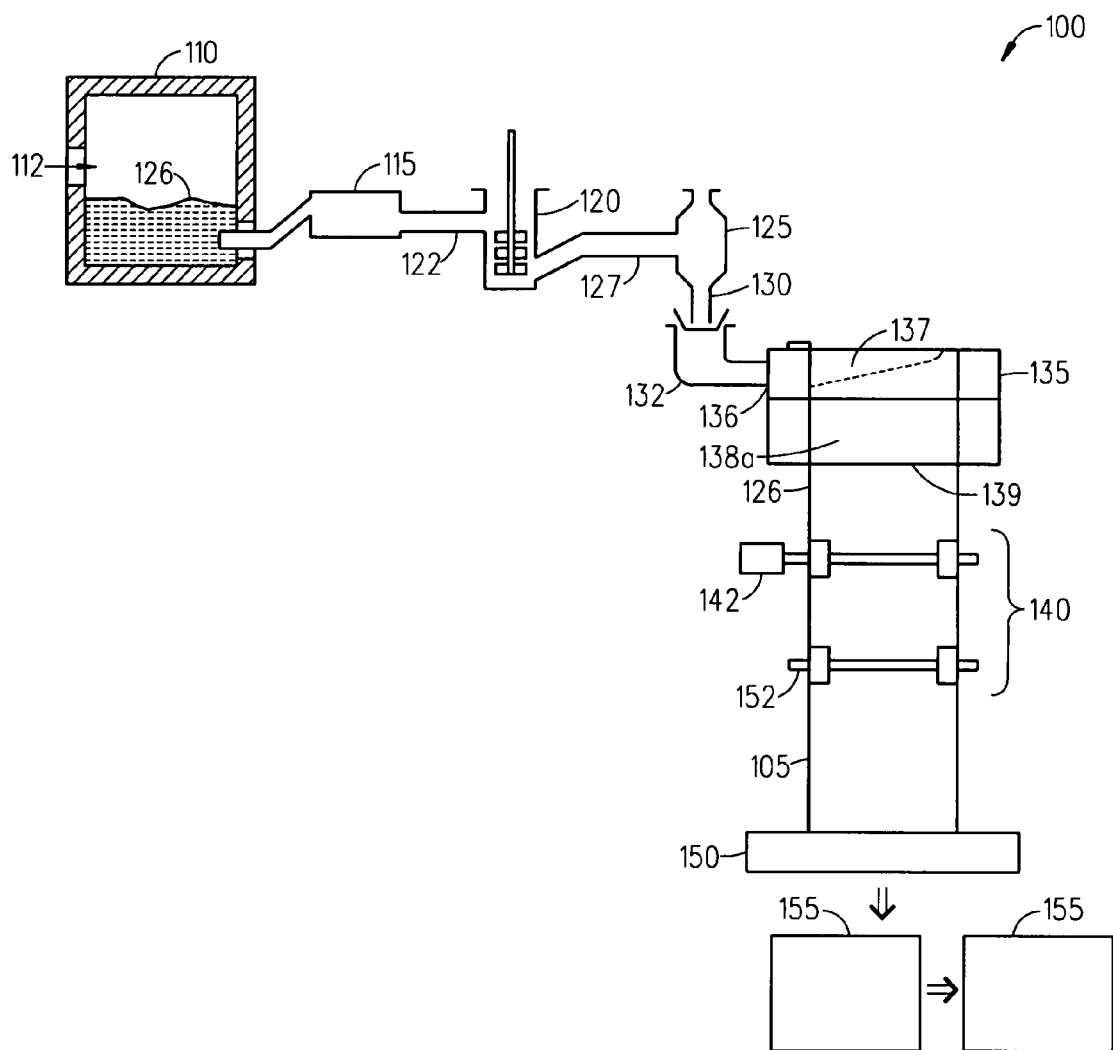


図 1 (先行技術)

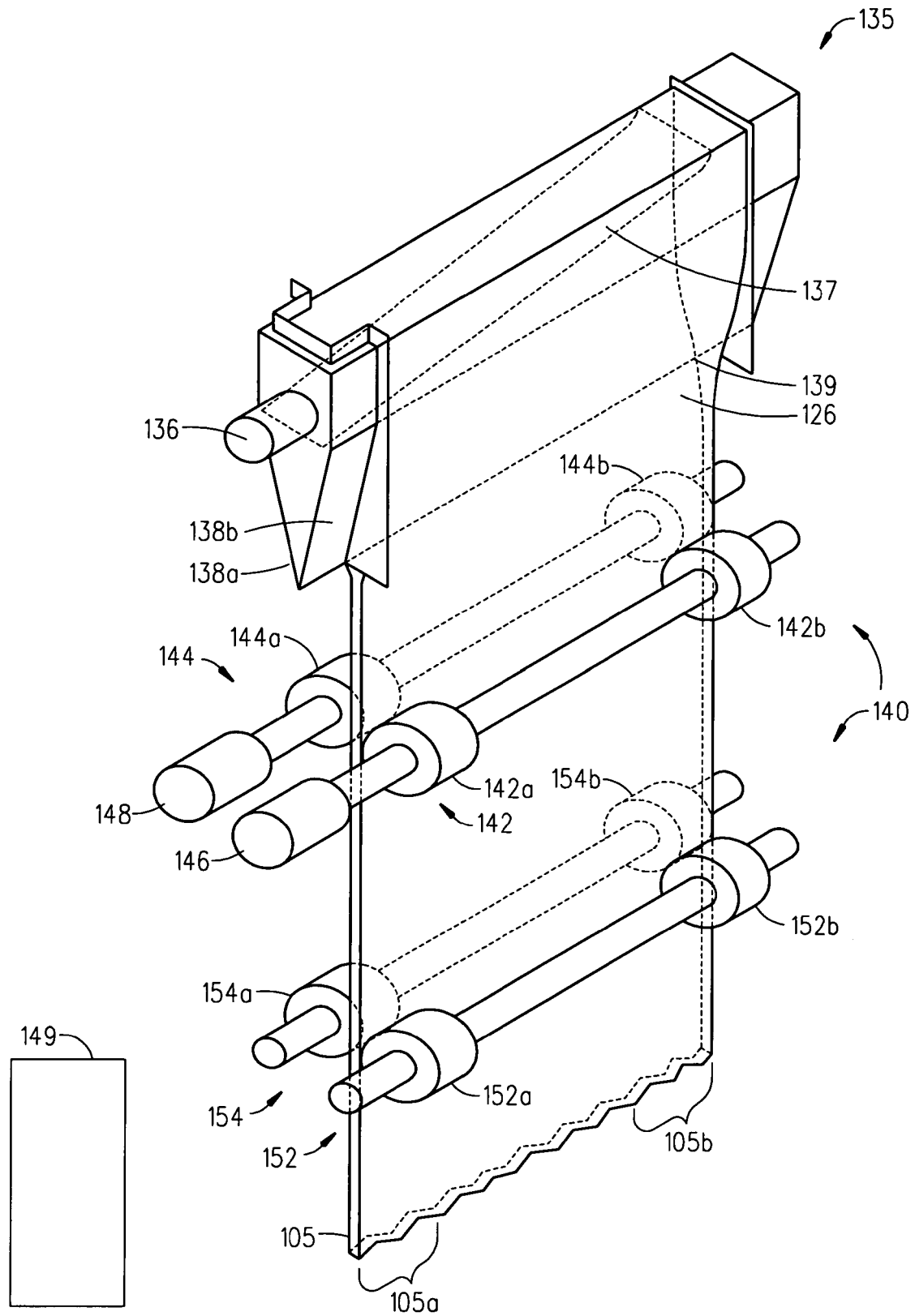


図 2 (先行技術)

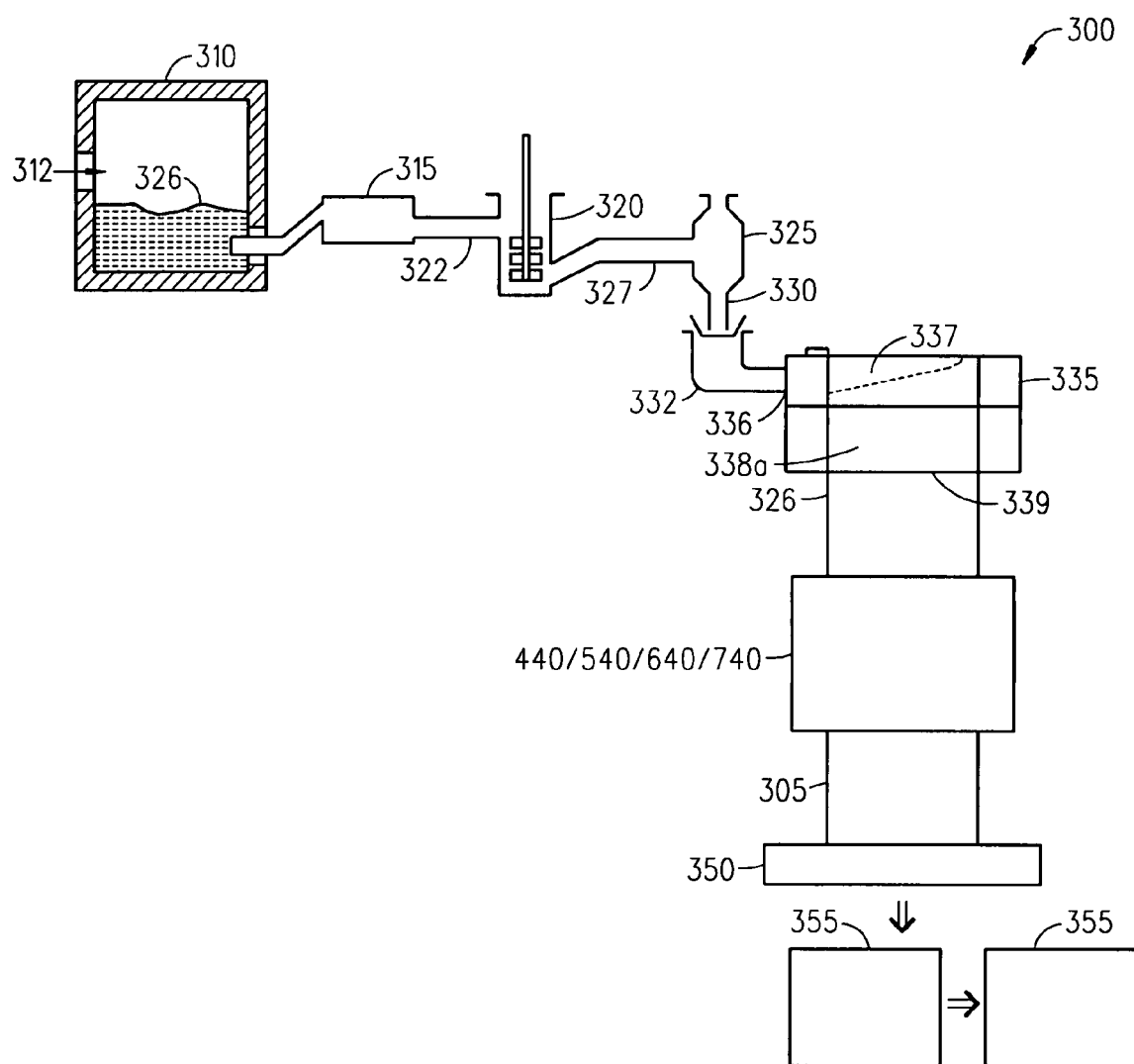


图 3

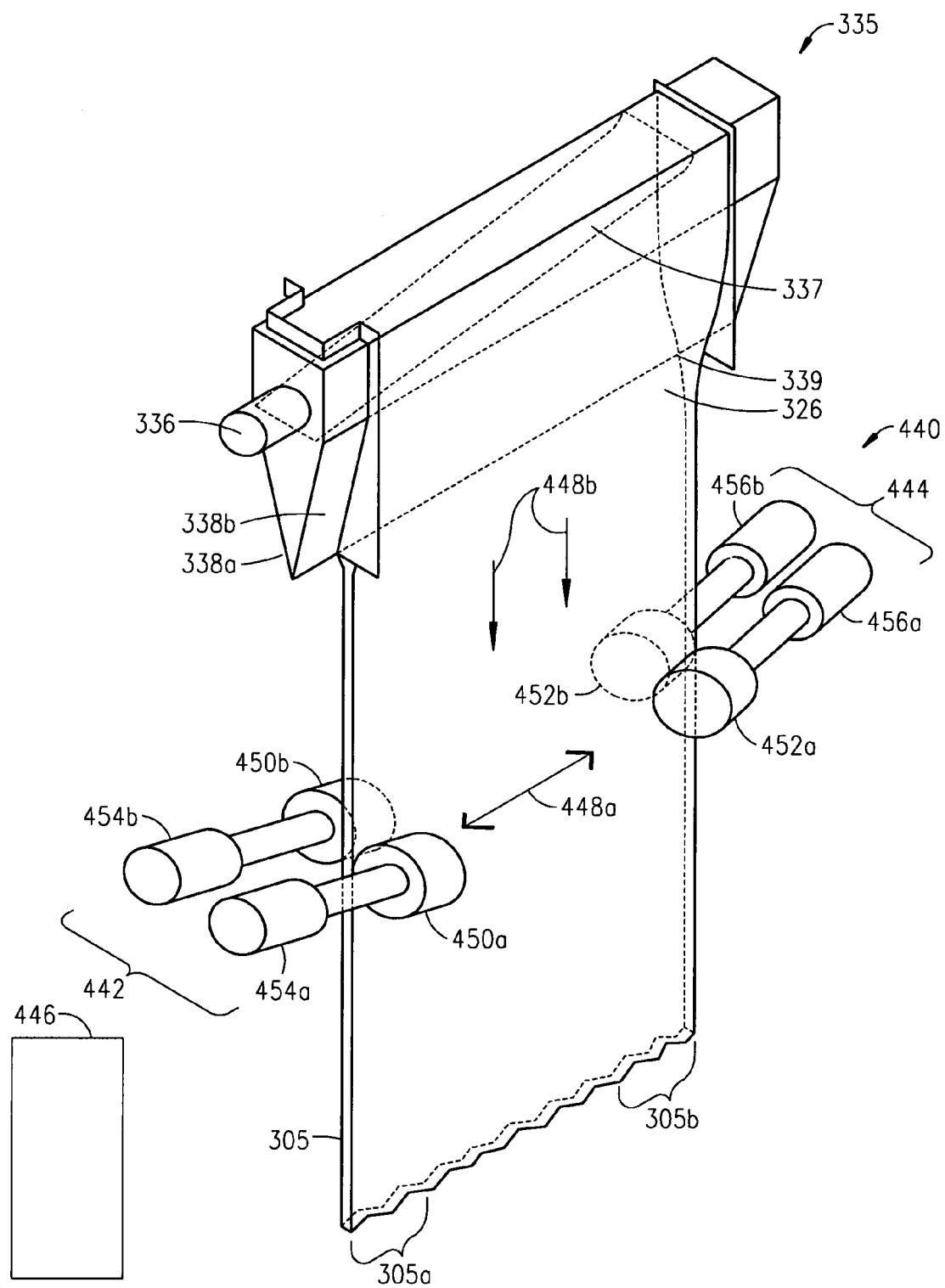


図 4A

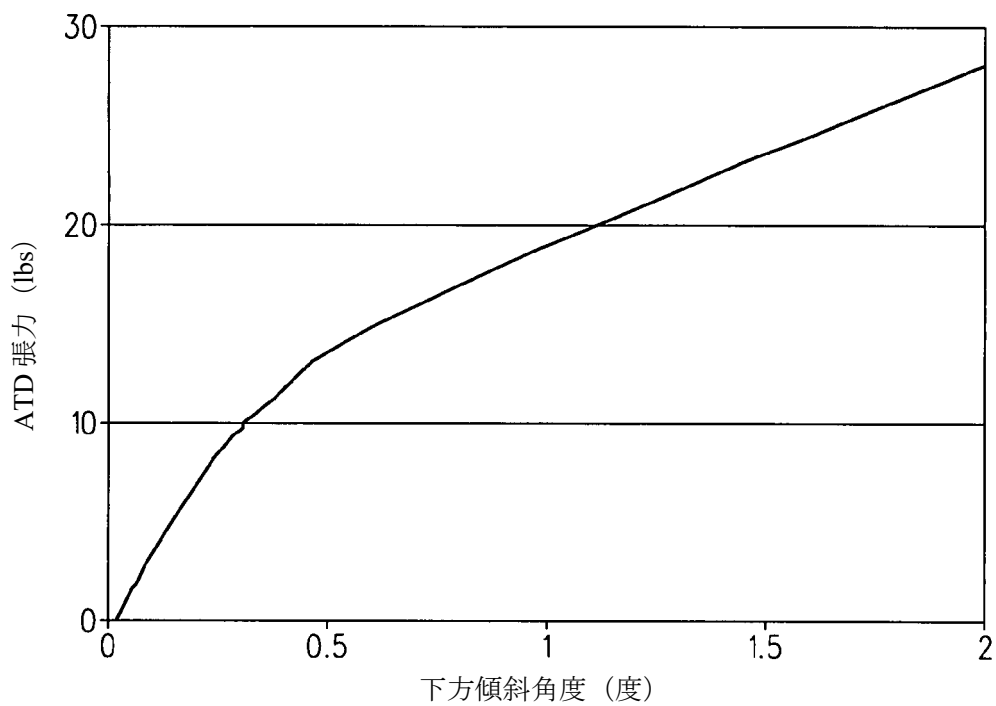


図 4B

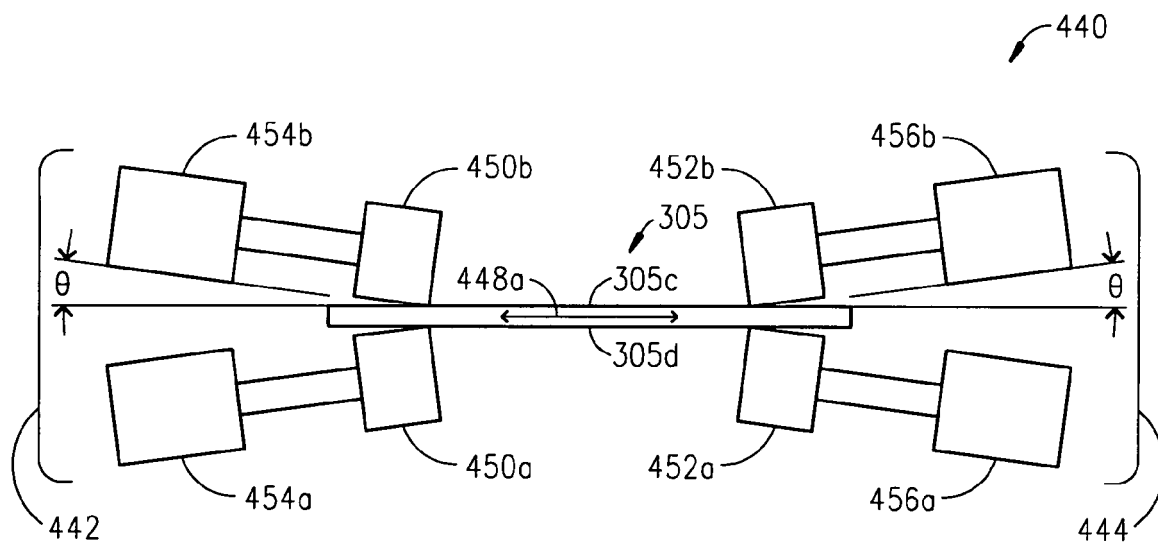


図 4C

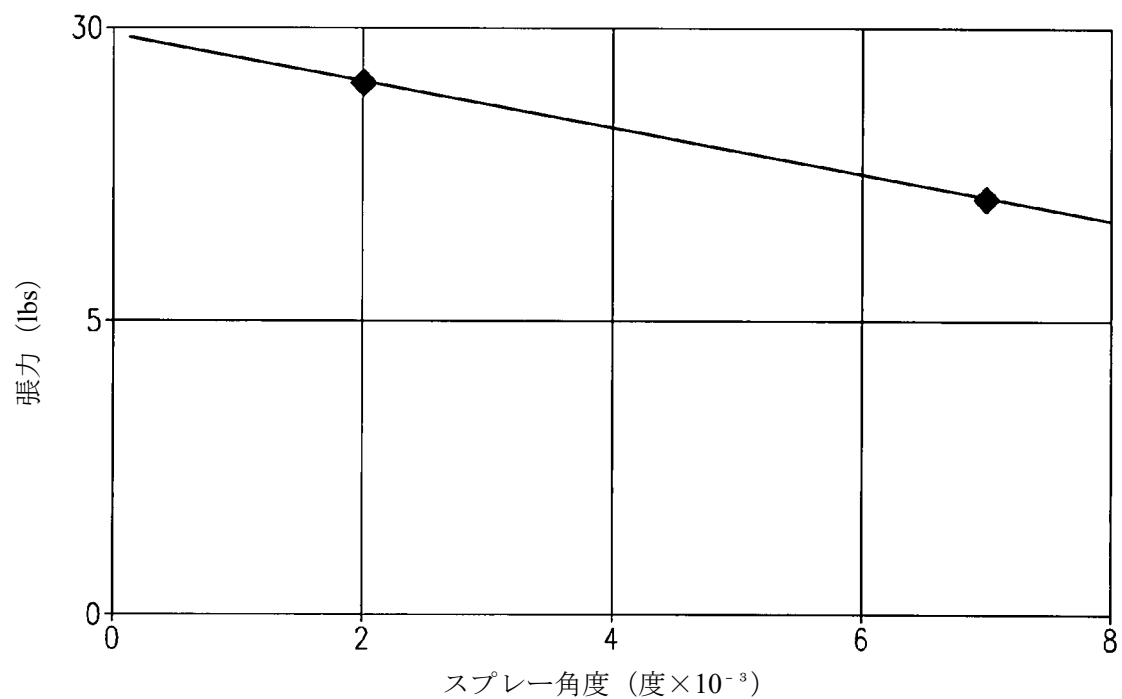


図 4D

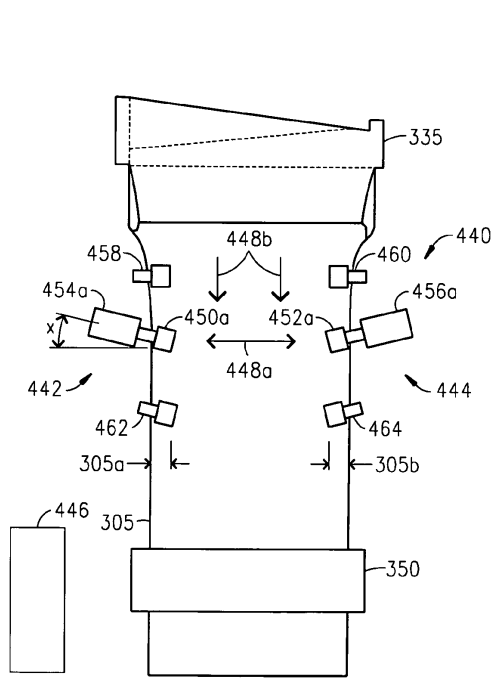


図 4E

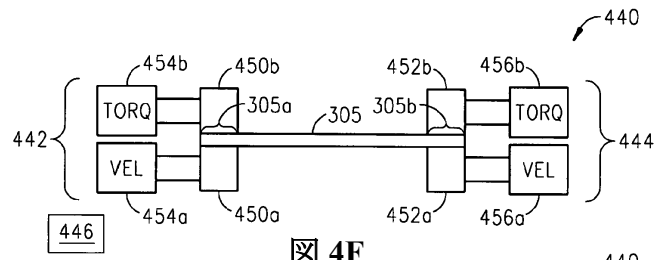


図 4F

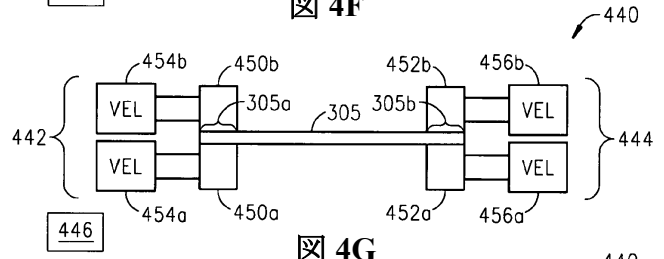


図 4G

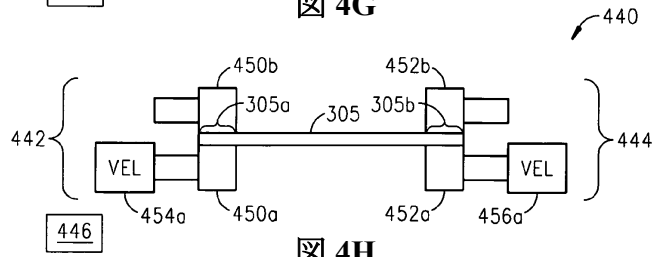


図 4H

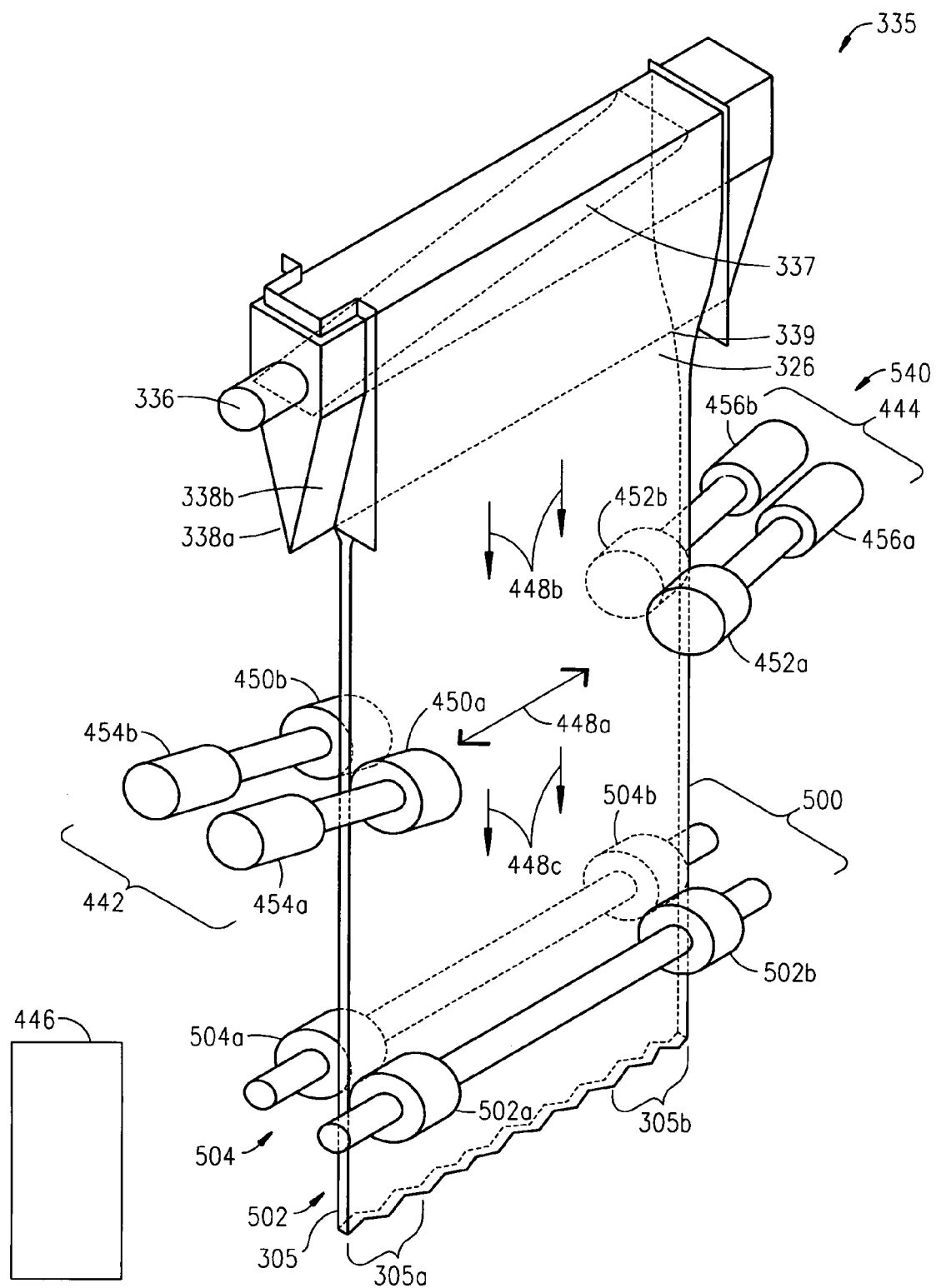


図 5A

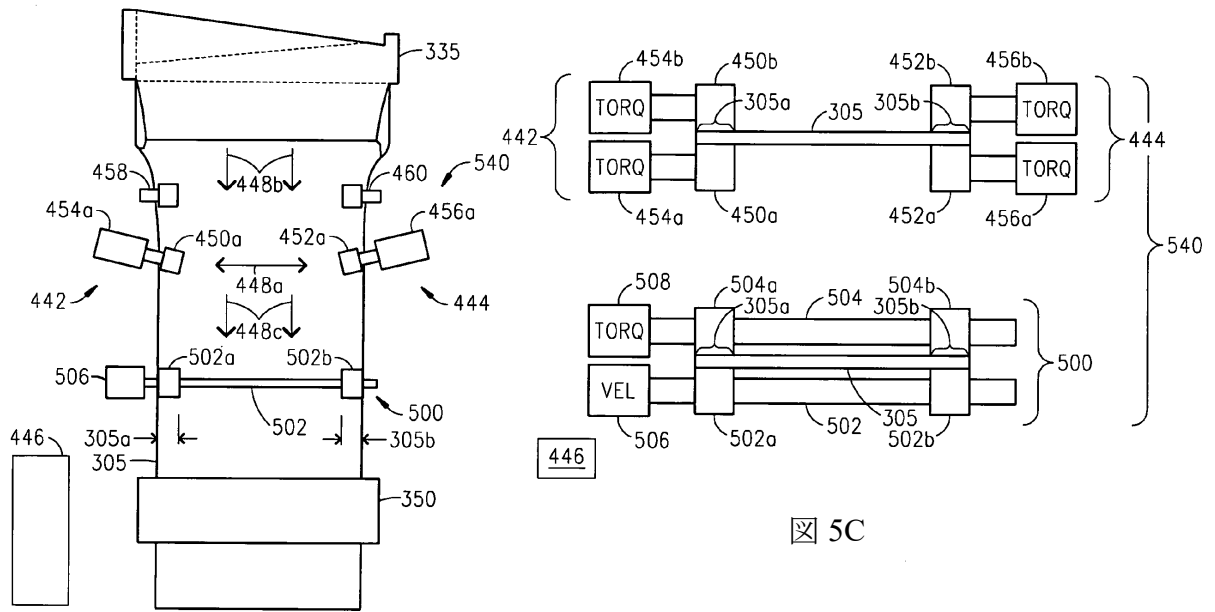


図 5B

図 5C

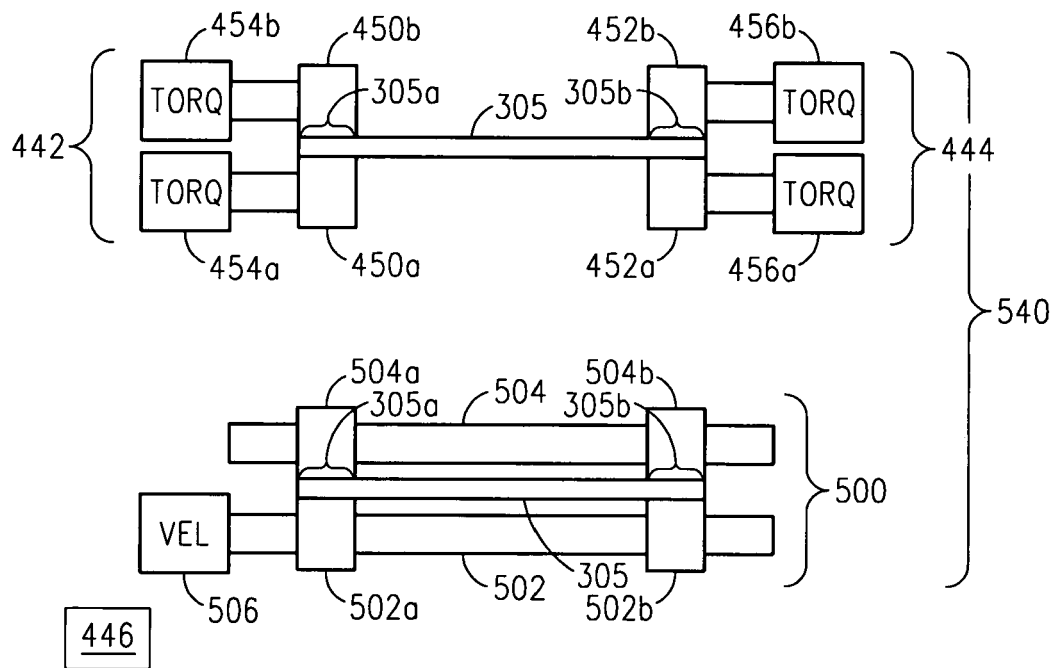


図 5D

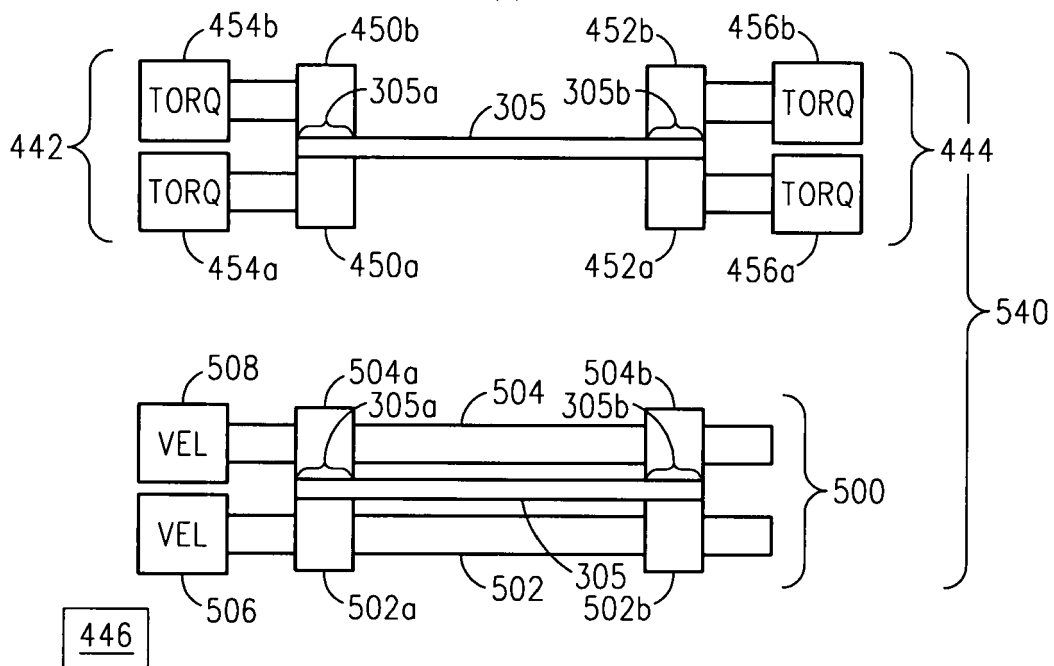


図 5E

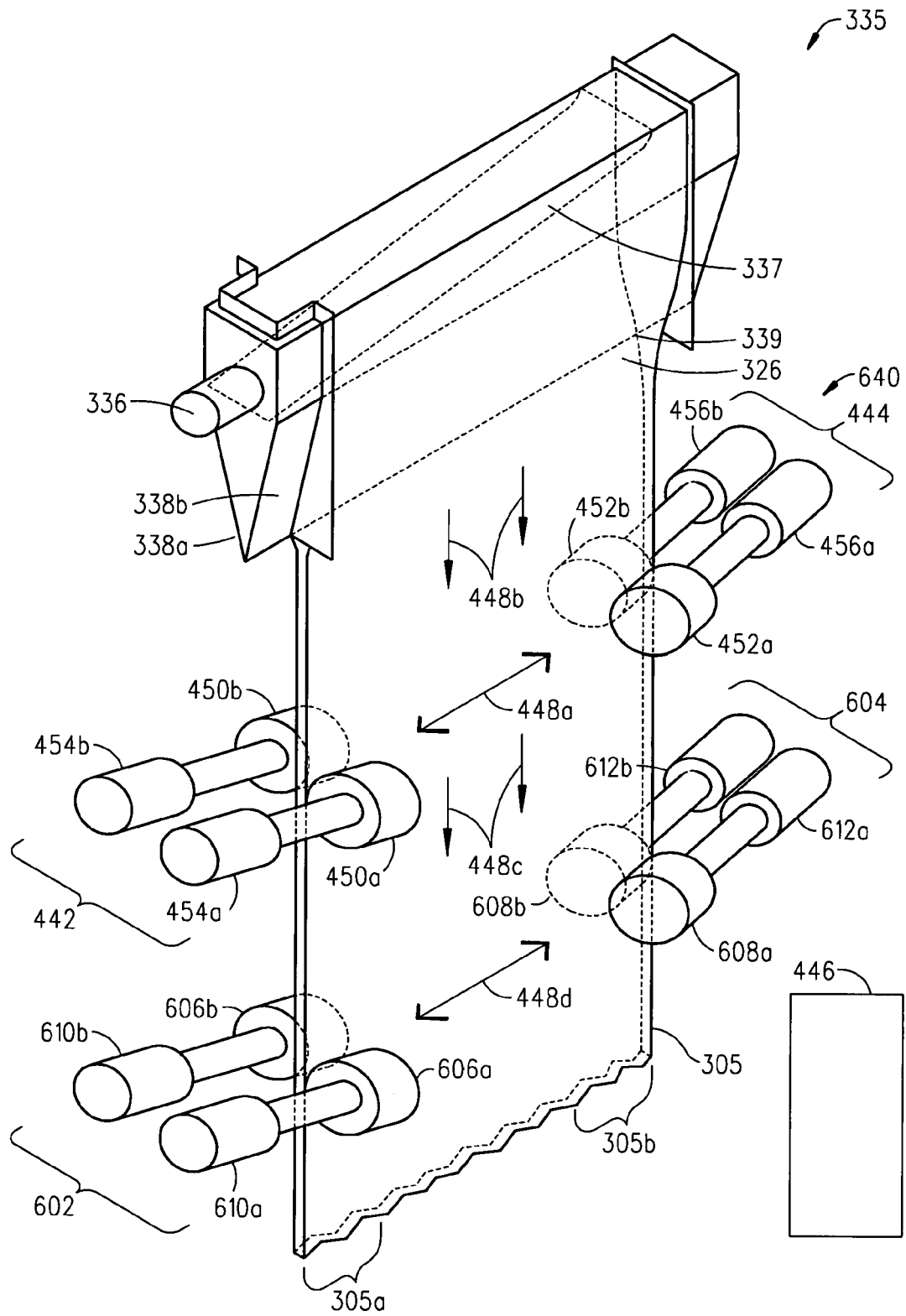


図 6A

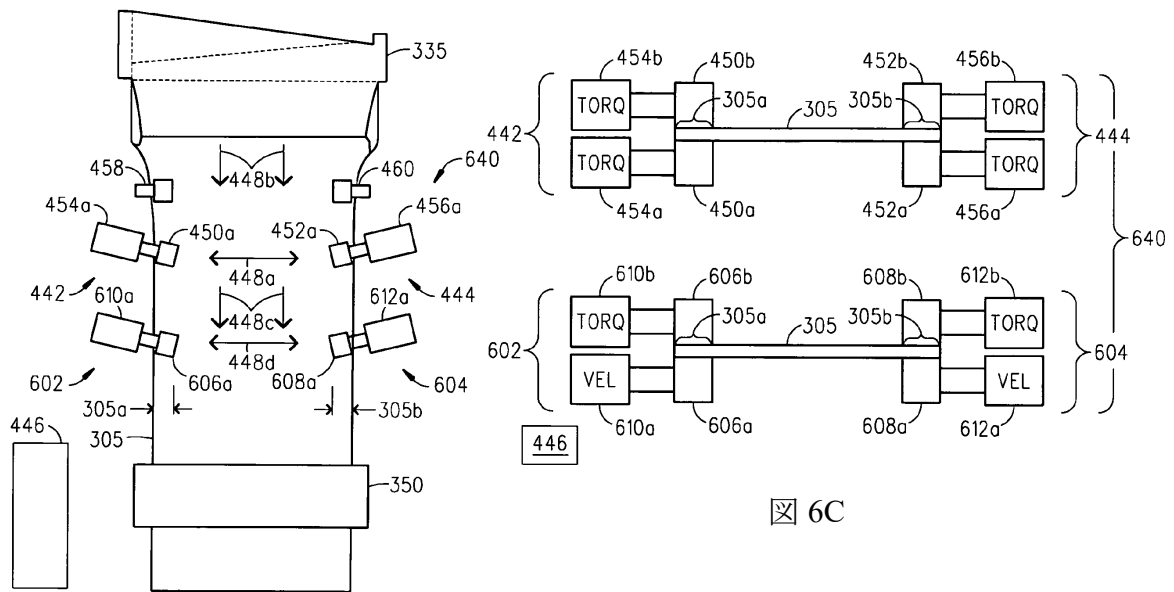


図 6B

図 6C

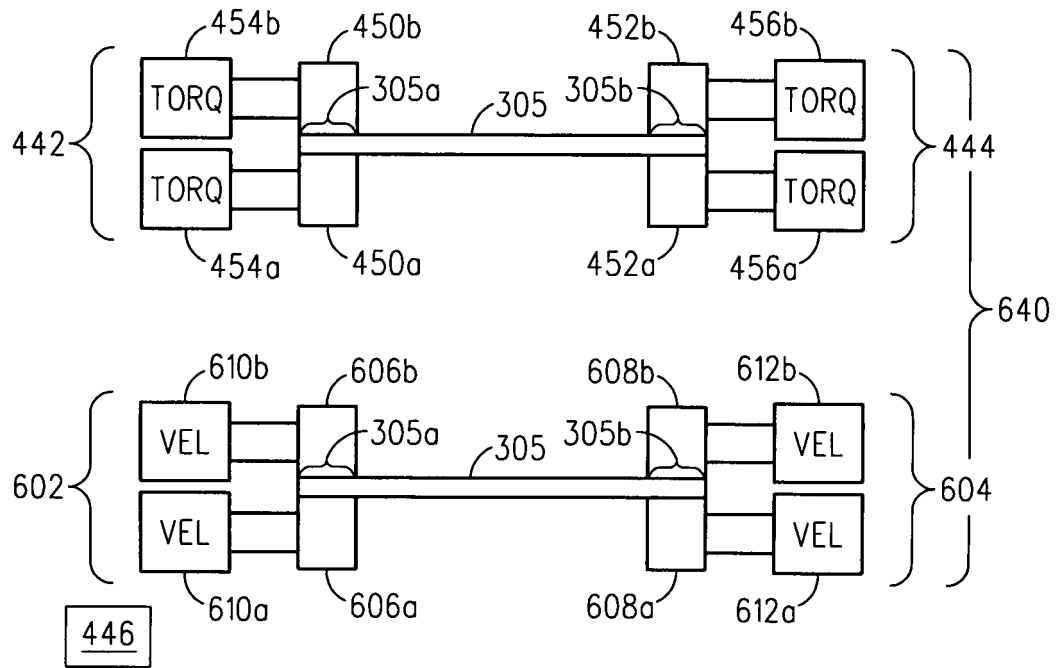


図 6D

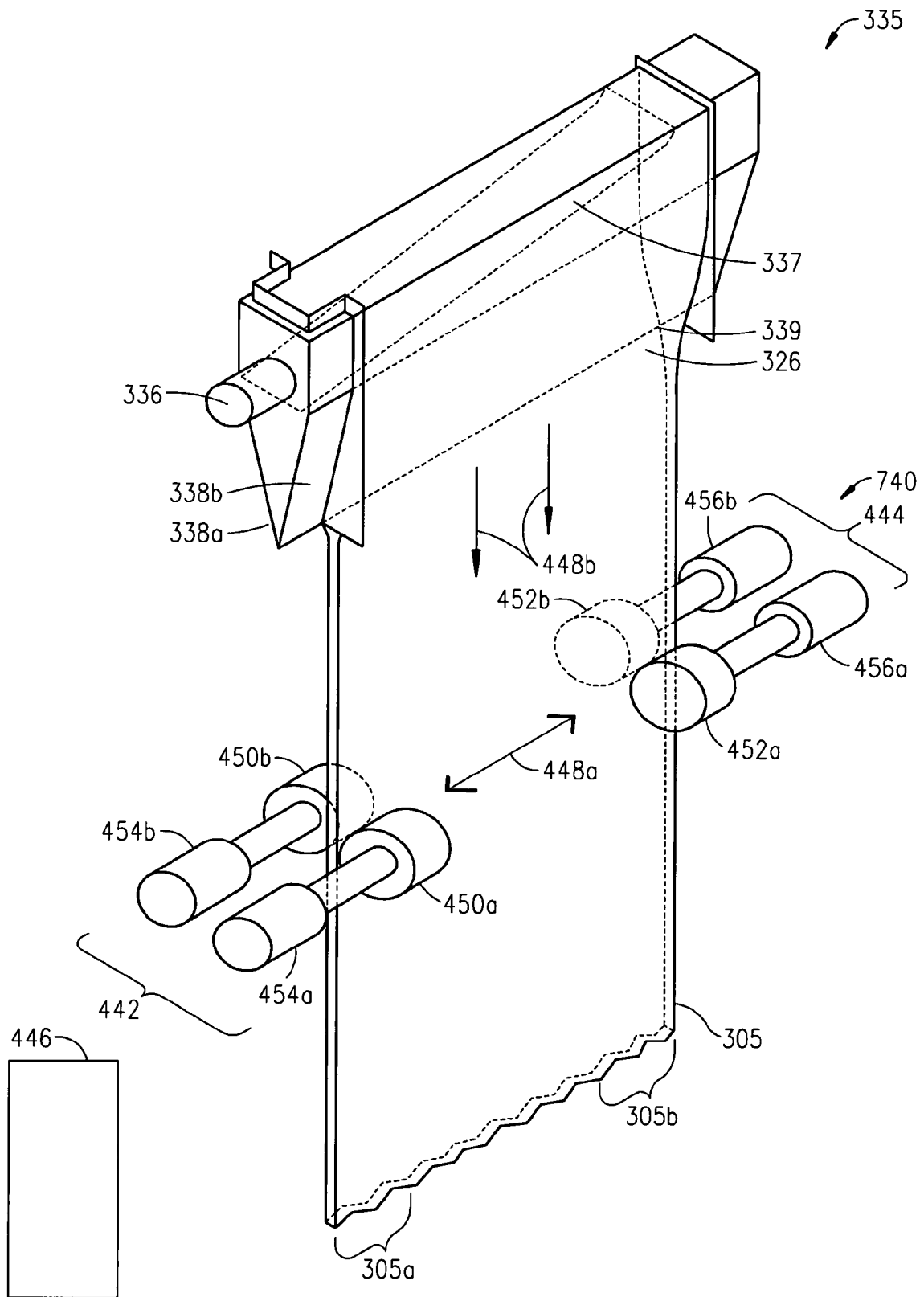


図 7A

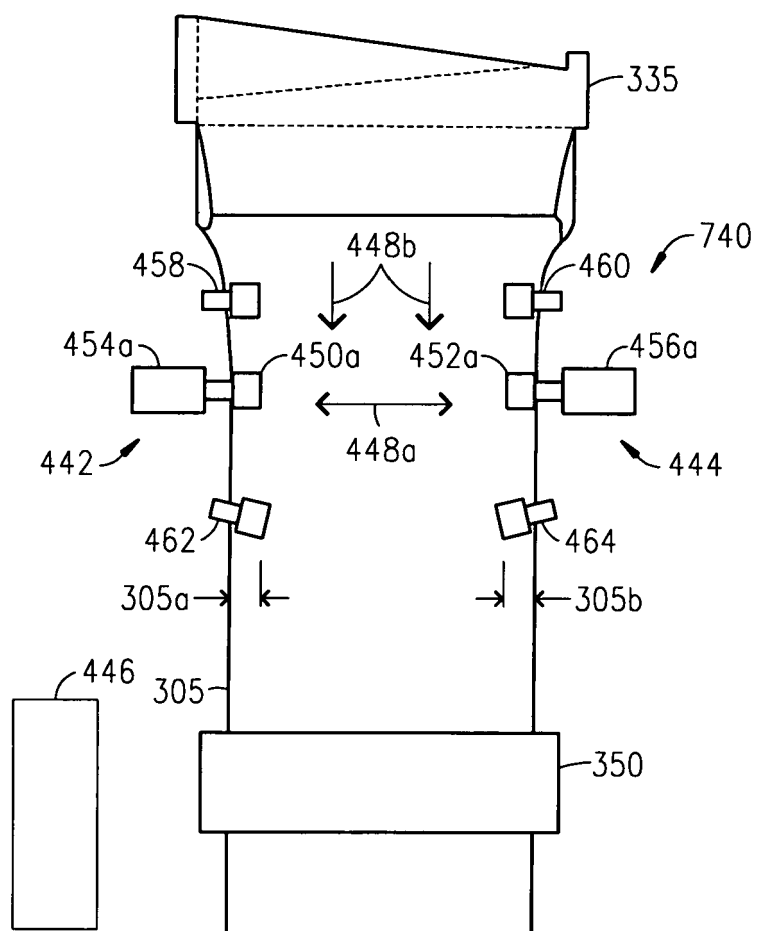


図 7B

ガラス板張力制御用プルロール装置及び方法

【技術分野】

本発明は、ガラス板を製造する際に、該ガラス板の横方向引張力及び下方引張力を制御可能なプルロール装置に関する。

【背景技術】

コーニング社は、フラットパネルディスプレイ等の各種デバイスに使用可能な高品質な薄型ガラス板を成形するためのフュージョンプロセス（オーバーフロー下方引延法）を開発した。該フュージョンプロセスは、他の製造方法で生産されたガラス板と比較して表面平坦性及び平滑性に優れたガラス板を製造できるため、フラットパネルディスプレイ用ガラス板の製造において好適な技術である。該フュージョンプロセスは、米国特許第 3,338,696 号及び第 3,682,609 号に開示されており、これらの内容は本明細書に参照として組み込まれる。

図 1（従来技術）を参照すると、フュージョンプロセスを実施し、従来型プルロール装置 140 を使用してガラス板 105 を製造する実施例的なガラス製造システム 100 の概略図が示されている。該ガラス製造システム 100 は、溶解槽 110、精製槽 115、混合槽 120（例えば攪拌室 120）、供給槽 125（例えばボウル 125）、成形槽 135（例えばアイソパイプ 135）、プルロール装置 140、及び移動アンビルマシン（TAM）150 を含む。

該溶解槽 110 には、矢印 112 で示されるようにガラス原料が投入され、熔融ガラス 126 が生成される。該精製槽 115（例えば精製管 115）は、該溶解槽 110 から熔融ガラス 126（この時点では図示せず）を受け取り、熔融ガラス 126 から気泡を除去する高温処理領域を有している。該精製槽 115 は、精製管-攪拌室接続管 122 を介して該混合槽 120（例えば攪拌室 120）に接続されている。さらに、該混合槽 120 は、攪拌室-ボウル接続管 127 を介して該供給槽 125 に接続されている。該供給槽 125 は、熔融ガラス 126 をダウンコーナー 130 を通じて入口 132 へ供給し、成形槽 135（例えばアイソパイプ 135）へ導く。

該成形槽 135（図 2（従来技術）に詳細を示す）は、熔融ガラス 126 を受け取る開口部 136 を備えており、該熔融ガラス 126 はトラフ 137 へ流れ込み、溢れ出て両側面 138a 及び 138b を流れ下り、最終的にルート 139 として知られる位置で融合する。該ルート 139 は、両側面 138a 及び 138b が合流する位置であり、熔融ガラス 126 の 2 つのオーバーフロー壁が再結合（再融合）した後、従来型プルロール装置 140 によって下方へ引き延ばされ、ガラス板 105 が形成される。その後、該 TAM150 は引き延ばされたガラス板 105 に切れ目を入れ、個別のガラス板 155 へ分離可能とする。

図 2（従来技術）に示すように、実施例的な従来型プルロール装置 140 は、ガラス板 105 の全幅にわたって配置された第 1 プルロール 142（圧縮可能な耐火性ロール被覆を施した両端部 142a 及び 142b を有する）及び第 2 プルロール 144（同様に圧縮可能な耐火性ロール被覆を施した両端部 144a 及び 144b を有する）を含み、これらがガラス板 105 の縁部 105a 及び 105b を引き延ばす（注記、図 2 は縮尺通りではない）。該従来型プルロール装置 140 は、さらに、該第 1 プルロール 142 に作動的に接続された第 1 モータ 146 と、該第 2 プルロール 144 に作動的に接続された第 2 モータ 148 とを備える。加えて、該従来型プルロール装置 140 は、モータ 146 及び 148 の速度（回転数/分）を制御する装置 149（例えば、コンピュータ、プログラマブルロジックコントローラ、可変周波数駆動装置）を有し、これにより 2 つのプルロール 142 及び 144 が該ガラス板 105（この時点で粘弾性を有するガラス板 105）を所望の最終厚さまで引き延ばす（延伸する）。さ

らに、該従来型プルロール装置 140 は、一対のペアアイドリイングロール 152 及び 154（該第 1 及び第 2 プルロール 142 及び 144 の下方に位置）を含む場合があり、これらは端部 152a、152b、154a 及び 154b を有し、該 TAM150 が該ガラス板 105 に切れ目を入れる際、及び切れ目を入れられた該ガラス板 105 が個々のガラス板 155 に分離される際に、該ガラス板 105 の動きを安定化し低減するのに役立つ（図 1 参照）（注記、明確にするため、プルロール 142、144、152 及び 154 を保持するブラケット/サポートは図示していない）。

該従来型プルロール装置 140 は、該ガラス板 105 を所望の厚さまで引き延ばすのに有効であるが、ガラス板を引き延ばすと同時にガラス板の平坦性を向上させ、かつガラス板内の残留応力を低減できる新規かつ改良された引張ロール組立体の開発が依然として望まれている。これらの特定の要求及び他の要求は、本発明のプルロール装置及び方法によって満たされている。

【発明の概要】

一態様において、本発明は、ガラス板の第 1 縁部が該第 1 スタブロール対に係る 2 つのロール間で引き出され、かつ対向する第 2 縁部が該第 2 スタブロール対に係る 2 つのロール間で引き出される際に、該第 1 スタブロール対及び該第 2 スタブロール対を制御する制御装置（例えば、プログラマブルロジックコントローラ）を備えるプルロール装置を含む。該第 1 及び第 2 スタブロール対に係るロールは、該ガラス板に対して垂直下方傾斜ロールまたは水平ロールのいずれでもよい。必要に応じて、該プルロール装置は、該第 1 及び第 2 スタブロール対の下方に配置される引張ロール組立体、または該第 1 及び第 2 スタブロール対の下方に配置される 2 つの追加スタブロール対を含むことができる。

他の態様において、本発明は、以下のステップを含むガラス板の製造方法を提供する、(1) 原料を熔融してガラス板を成形するステップ、

(2) 該ガラス板をプルロール装置に供給するステップ、及び

(3) 該プルロール装置を使用して該ガラス板を引き延ばすステップ。該プルロール装置は、ガラス板の第 1 縁部が該第 1 スタブロール対に係る 2 つのロール間で引き出され、かつ対向する第 2 縁部が該第 2 スタブロール対に係る 2 つのロール間で引き出される際に、該第 1 スタブロール対及び該第 2 スタブロール対を制御する制御装置（例えば、プログラマブルロジックコントローラ）を備える。該第 1 及び第 2 スタブロール対に係るロールは、該ガラス板に対して垂直下方傾斜ロールまたは水平ロールのいずれでもよい。必要に応じて、該プルロール装置は、該第 1 及び第 2 スタブロール対の下方に配置される引張ロール組立体、または該第 1 及び第 2 スタブロール対の下方に配置される 2 つの追加スタブロール対を含むことができる。

さらに他の態様において、本発明は、以下の構成要素を含むガラス製造システムを提供する、(1) 原料を熔融して熔融ガラスを形成するための少なくとも 1 つの槽、

(2) 該熔融ガラスを受け取りガラス板を形成するためのアイソパイプ、及び

(3) 該ガラス板を受け取り、引き延ばすためのプルロール装置。該プルロール装置は、ガラス板の第 1 縁部が該第 1 スタブロール対に係る 2 つのロール間で引き出され、かつ対向する第 2 縁部が該第 2 スタブロール対に係る 2 つのロール間で引き出される際に、該第 1 スタブロール対及び該第 2 スタブロール対を制御する制御装置（例えば、プログラマブルロジックコントローラ）を備える。該第 1 及び第 2 スタブロール対に係るロールは、該ガラス板に対して垂直下方傾斜ロールまた

は水平ロールのいずれでもよい。必要に応じて、該プルロール装置は、該第 1 及び第 2 スタブロール対の下方に配置される引張ロール組立体、または該第 1 及び第 2 スタブロール対の下方に配置される 2 つの追加スタブロール対を含むことができる。

本発明の追加的な態様は、詳細な説明、図面、及びそれに続く特許請求の範囲に一部記載され、また詳細な説明から導き出されるか、または本発明の実施によって理解することができる。前述の概要説明及び以下の詳細な説明は、単に例示的かつ説明的なものであり、開示された発明を制限するものではないことを理解されたい。

【図面の簡単な説明】

添付の図面と併せて以下の詳細な説明を参照することにより、本発明のより完全な理解が得られるであろう、

【図 1-2】図 1 及び図 2（従来技術）は、ガラス板を製造するために使用される実施例的なガラス製造システム及び従来型プルロール装置を示す図である。

【図 3】図 3 は、本発明に従ってガラス板を製造するために使用される実施例的なガラス製造システム及び新規プルロール装置を示す図である。

【図 4A-4H】図 4A~4H は、本発明の第 1 の実施形態に係るプルロール装置を示すいくつかの図である

【図 5A-5E】図 5A~5E は、本発明の第 2 の実施形態に係るプルロール装置を示すいくつかの図である。

【図 6A-6D】図 6A~6D は、本発明の第 3 の実施形態に係るプルロール装置を示すいくつかの図である。

【図 7A-7B】図 7A~7B は、本発明の第 4 の実施形態に係るプルロール装置を示す図である。

【発明を実施するための形態】

図 3~7 を参照すると、本発明に従って構成及び作動されるプルロール装置 440、540、640 及び 740 の複数の実施形態が開示されている。各プルロール装置 440、540、640 及び 740 は、ガラス板 305 を製造するために下方引延フュージョンプロセスを使用するガラス製造システム 300 内で使用されるものとして本明細書で説明されているが、ガラス板 305 を引延すあらゆるタイプのガラス製造システム内で使用可能であることを理解されたい。したがって、本発明のプルロール装置 440、540、640 及び 740 は限定的に解釈されるべきではない。

図 3 を参照すると、本発明に従ってフュージョンプロセスと新規プルロール装置 440、540、640 又は 740 を使用してガラス板 305 を製造する実施例的なガラス製造システム 300 の概略図が示されている。該ガラス製造システム 300 は、溶解槽 310、精製槽 315、混合槽 320（例えば攪拌室 320）、供給槽 325（例えばボウル 325）、成形槽 335（例えばアイソパイプ 335）、プルロール装置 440、540、640 又は 740、及び TAM350 を含む。

該溶解槽 310 には、矢印 312 で示されるようにガラス原料が投入され、熔融ガラス 326 が生成される。該精製槽 315（例えば精製管 315）は、該溶解槽 310 から熔融ガラス 326（この時点では図示せず）を受け取り、熔融ガラス 326 から気泡を除去する高温処理領域を有している。該精製槽 315 は、精製管-攪拌室接続管 322 を介して該混合槽 320（例えば攪拌室 320）に接続されている。さらに、該混合槽 320 は、攪拌室-ボウル接続管 327 を介して該供給槽 325 に接続されている。該供給槽 325 は、熔融ガラス 326 をダウンコーナ-330 を通じて入口 332 へ供給し、成形槽 335（例えばアイソパイプ 335）へ導く。該成形槽 335 は、該熔融ガラス 326 を受け取る開口部 336 を備えており、該熔融ガラス 326 はトラフ 337 へ流れ

込み、溢れ出て両側面 338a 及び 338b を流れ下り、最終的にルート 339 として知られる位置で融合する。該ルート 339 は、両側面 338a 及び 338b が合流する位置であり、熔融ガラス 326 の 2 つのオーバーフロー壁が再結合（再融合）した後、該プルロール装置 440、540、640 又は 740 によって下方へ引き延ばされ、ガラス板 305 が形成される。その後、該 TAM350 は引き延ばされたガラス板 305 に切れ目を入れ、個別のガラス板 355 へ分離する。

該ガラス製造システム 300、特に前述の構成要素 310、315、320、325、335 及び 350 は相互に接続されており、図 1 に示すガラス製造システム 100 に関する上記の対応する構成要素 110、115、120、125、135 及び 150 と同様に機能するが、新規のプルロール装置 440、540、640 及び 740 は従来型プルロール装置 140 に比べて著しく改良されている点異なる。以下に説明するように、新規のプルロール装置 440、540、640 及び 740 は、ガラス板 305 における横方向引張力及び／又は下方引張力を制御・改善し、製造されたガラス板 305 の残留応力を低減し平坦性を向上させるように構成されている。より具体的には、該プルロール装置 440、540、640 及び 740 は、ガラス板 305（リボン 305 とも称される）が粘弾性変態を起こす領域における横方向引張力及び／又は下方引張力の一貫性を制御・改善するために使用可能である。この領域は、ガラス板 305 の製品応力と平坦性が決定される「設定ゾーン」と定義される。従来のプルロール装置 140 は、ガラス板 105 の横方向引張力を制御できるように構成されていなかった。さらに、該従来型プルロール装置 140 は、一定速度で複数のロールフラットを駆動することに起因する「巻き上げ力」として知られる著しい瞬間的な力の変動を引き起こす。また、該従来型プルロール装置 140 は、シート切断プロセスによる可変リボン負荷の影響を受け、シャフトのたわみ変化を引き起こし、これが横方向引張力の変動をもたらす、製品の平坦性と応力にばらつきが生じる可能性がある。しかしながら、新規のプルロール装置 440、540、640 及び 740 は、ガラス板 305 の製造中に、任意の所望レベルで横方向引張力を制御・調整可能であり、下方引張力を調整または一定に保持することが可能である。各プルロール装置 440、540、640 及び 740 に関する詳細な説明を、図 4~7 を参照して以下に提供する。

図 4A~4G を参照すると、本発明の第 1 の実施形態に従って構成されたプルロール装置 440 に関連する複数の図面が示されている。図 4A に示すように、該プルロール装置 440 は、第 1 カンチレバー式駆動スタブロール対 442、第 2 カンチレバー式駆動スタブロール対 444、及び制御装置 446（例えば、コンピュータ 446、プログラマブルロジックコントローラ 446）を含む（注記、図 4A は縮尺通りではない）。該装置 446 は、ガラス板 305 の第 1 縁部 305a が該第 1 駆動スタブロール対 442 に係る 2 つの垂直下方傾斜ロール 450a と 450b 間で引き出され、かつ対向する第 2 縁部 305b が該第 2 駆動スタブロール対 444 に係る 2 つの垂直下方傾斜ロール 452a と 452b 間で引き出される際に、該 2 つの駆動スタブロール対 442 と 444 を制御する（図 4E 参照）。該スタブロール対は、ガラス板 305 に横方向引張力と下方引張力を生じさせるために垂直下方に傾斜している。これらの実施例において、該 2 つの駆動スタブロール対 442 及び 444 は上方傾斜させていない。これは、上方傾斜させるとガラス板 305 に望ましくない圧縮力が生じ、該ガラス板 305 が変形し応力がかかるためである。さらに、プロセス条件に応じて、一方の側の該ロール 450a 及び 450b と他方の側の該ロール 452a 及び 452b とで異なる下方傾斜角度を設定することが望ましい場合がある（注記、図 7A-7B に関連して説明する該プルロール装置 740 は、垂直下方傾斜ロール 450a、450b、452a 及び 452b を有しておらず、代わりに水平ロール 450a、450b、452a 及び 452b を有する）。

さらに、該装置 446（エアシリンダなどの自動位置決め装置または他のタイプの位置決めアクチュエータと共に）、または代わりに簡易な手動機構を使用して、該垂直下方傾斜

ロール 450a、450b、452a 及び 452b の下方傾斜位置を調整し、該ガラス板 305 にかかる平均横方向引張力 448a を制御（または調整）することが可能である（試験実施例の該ブルロール装置 440 において好適な下方傾斜角度「x」が 1.5° の範囲であった図 4B に示す実験結果を参照）（注記、この横方向引張力の制御は、該ブルロール組立体 640 に係る下方傾斜ロール 606a、606b、608a 及び 608b についても同様である）。該ブルロール装置 440 は、粘弾性状態のガラス板 305 が存在する設定ゾーン領域において、横方向引張力 448a 及び下方引張力 448b を含む張力効果を管理する能力を有しており、ガラス板 305 を所望の厚さまで引き延ばすと同時に、該ガラス板 305 の平坦性を向上させ、内部残留応力を低減する上で極めて有用である。さらに、該アイソパイプ 335 から供給されるガラス粘度が端部間で異なる場合があるため、個別に駆動・制御可能な該スタブロール対 442 及び 444 を備えることで、該アイソパイプ 335 に起因するガラス粘度の不均一性に対応することが可能となる。また、該ブルロール装置 440 は、ロール寿命にわたってガラス張力 448a 及び 448b を調整可能な構成を有しており、下方引延プロセスを安定化させるとともに、該下方傾斜ロール 450a、450b、452a 及び 452b の寿命を大幅に延長できる。

必要に応じて、該垂直下方傾斜ロール 450a、450b、452a 及び 452b は、所定のスプレー角度（該下方傾斜ロール 450a、450b、452a 及び 452b の各面が該ガラス板 305 の主面 305c 及び 305d に対してなす水平角度 θ ）に位置決めすることも可能である（図 4C 参照）（注記、図 7A-7B に関連して説明する該ブルロール装置 740 は水平ロール 450a、450b、452a 及び 452b を有しており、必要に応じてこれらのロールも所定のスプレー角度に位置決め可能である）。該垂直下方傾斜ロール 450a、450b、452a 及び 452b を所望のスプレー角度 θ に位置決めすることにより、該ガラス板 305 に生成される横方向引張力 448a の量をさらに制御することが可能となる。正のスプレー角度 θ は、好ましい横方向引張力 448a を生成する（図 4D に示す張力対スプレー角度の実験結果を参照。試験実施例の該ブルロール装置 440 では、実質的にロールフラットにおける接触角度となるスプレー角度が 0.007 in/in の範囲であった）。これに対し、負のスプレー角度 θ は、該ガラス板 305 に圧縮力を生成するが、このような力は該ガラス板 305 を変形させ応力をかけるため好ましくない（注記、図 4C は正のスプレー角度 θ を有するブルロール装置 440 を示している）。該ブルロール装置 440 は、所望のスプレー角度への調整を、手で（好ましい）、またはエアシリンダなどの位置決めアクチュエータを使用して自動で（可能な限り）行えるように構成することができる。該下方傾斜ロール 450a、450b、452a 及び 452b のロールフラットは、ガラス板 126 の廃棄部分（厚みが先細りになる部分）を走行することが多いことを理解されたい。このガラスの先細りにより、一般に該下方傾斜ロール 450a、450b、452a 及び 452b で生成される横方向引張力レベルが低下する。しかしながら、スプレー角度 θ を調整可能なことで、この先細り効果を相殺し、望ましい高レベルの横方向引張力を維持することが可能となる（注記、後述する該ブルロール装置 740 は水平ロール 450a、450b、452a 及び 452b を有しており、これらのロールもガラス板 126 の廃棄部分を走行することが多い）。

このブルロール装置 440（及び後述する他のブルロール組立体 540、640、740）において、各モータはサーボモータであり、該サーボモータはギアボックスを使用して各ロールを駆動しても、使用しなくてもよいことを理解されたい。該サーボモータは、トルク及び／又は速度測定値を該制御装置 446（例えば、プログラマブルロジックコントローラ 446）にフィードバックでき、該制御装置 446 はこれらの測定値を使用して所望の制御スキームを実装する（各種制御スキームについては次に説明する）。代替的に、該制御装置 446 は、可変周波数駆動装置などの他のタイプのモータ制御装置と連動して、各モータの速度及び／又はトルクを制御することも可

能である。この場合、トルクセンサ及び／又は速度センサを使用して測定を行い、該センサを各モータ／ギアボックス／ロール間の軸にインラインで結合することができる。さらに、このブルロール装置 440（及び後述する他のブルロール組立体 540、640、740）では、張力測定装置を使用して、該ガラス板 305 の横方向引張力 448a を直接又は間接的に測定することが可能である。これにより、該制御装置 446 は機械装置と連動し、該ロール 450a、450b、452a 及び 452b の位置を調整して所望の下方傾斜角度を設定し、引延プロセス中の横方向張力 448a を制御できる（注記、該ロール 450a、450b、452a 及び 452b は、横方向張力 448a を制御するために、所望の下方傾斜角度に手動又は自動で調整することも可能である）。例えば、該横方向引張力測定装置は、ロードセルまたは類似の装置であり、該第 1 及び第 2 駆動スタブロール対 442 及び 444 の取付／支持構造体に配置される（注記、明確にするため、該ブルロール組立体 440、540、640 及び 740 内の各種ロールを保持するブラケット／サポートは図示していない）。

作動時において、該装置 446 は、該 2 つの駆動スタブロール対 442 及び 444 の速度及び／又はトルクを制御することにより、該ガラス板 305 における下方引張力 448b を効果的に制御するための多数の制御スキームのいずれかを実施可能である。図 4E-4F は、該ブルロール組立体 440 が実施可能な、該ガラス板 305 内の下方引張力 448b を効果的に制御／調整するための実施例的な制御スキームを説明するために提供されている。この場合、該装置 446（例えば、プログラマブルロジックコントローラ 446）は、該下方傾斜ロール 450a 及び 452a に作動的に接続された該モータ 454a 及び 456a の速度（回転数/分）を制御し、さらに該他の下方傾斜ロール 450b 及び 452b に作動的に接続された該モータ 454b 及び 456b のトルクを制御する。具体的には、該装置 446 は、該マスタモータ 454a 及び 456a を所定の角速度で作動させるように制御し、次いで該マスタモータ 454a 及び 456a のトルクを監視することにより、該スレーブモータ 454b 及び 456b のトルクを、該対応するマスタモータ 454a 及び 456a の測定トルクの所定の割合に一致するように制御する。例えば、該装置 446 は、該スレーブモータ 454b 及び 456b を、該マスタモータ 454a 及び 456a の監視トルクの 50~100% のトルクを出力するように制御することができる。必要に応じて、該装置 446 は、プロセスの非対称性を考慮し、一方の該マスタモータ 454a を他方の該マスタモータ 456a とは異なる速度で作動させることが可能である。

次に、該ブルロール装置 440 が実施可能な、該ガラス板 305 内の下方引張力 448b を効果的に制御／調整するための別の実施例的な制御スキームを、図 4E 及び図 4G を参照しながら説明する。この場合、該装置 446（例えば、プログラマブルロジックコントローラ 446）は、該 4 つの下方傾斜ロール 450a、450b、452a 及び 452b に作動的に接続された 4 つのモータ 454a、454b、456a 及び 456b の速度（回転数/分）を制御する。具体的には、該装置 446 は、該 4 つの下方傾斜ロール 450a、450b、452a 及び 452b 間で該ガラス板 305 を引き延ばす際に、下方引張力 448b を制御／調整するために、4 つのモータ 454a、454b、456a 及び 456b 全てを同一の設定速度で作動させる。必要に応じて、該装置 446 は、プロセスの非対称性を考慮し、一方の側の該モータ 454a 及び 454b を他方の側の該モータ 456a 及び 456b とは異なる速度で作動させることが可能である。さらに、該ガラス板 305 の両側のモータの速度は、ロール形状の差異を相殺するために異なる制御速度に設定可能である（例えば、モータ 454a をモータ 454b とは異なる速度で作動させることができる）。この一定速度制御スキームには、ロール 450a、450b、452a 及び 452b の微細な形状／サイズのばらつきにより、ある程度の巻き上げ力が生じるという欠点がある。しかしながら、この一定速度制御スキームは実装が容易であり、一部の用途では許容可能である。これに対し、図 4F に関連する制御スキームは、ロール間の巻き上げを排除し、これらの望ましくない変動を防止するため、より好適な方式である。

次に、該プルロール装置 440 が実施可能な、ロール間の巻き上げを排除しながら該ガラス板 305 内の下方引張力 448b を効果的に制御／調整する別の実施例的な制御スキームを、図 4H を参照しながら説明する。この場合、該装置 446（例えば、プログラマブルロジックコントローラ 446）は、2 つの下方傾斜ロール 450a 及び 452a に作動的に接続された 2 つのモータ 454a 及び 456a の速度（回転数/分）を制御する。他の 2 つの下方傾斜ロール 450b 及び 452b は、モータを有していない（またはクラッチシステムなどによりモータが解放されている）ため、自由に回転またはアイドリングする。具体的には、該装置 446 は、該 4 つの下方傾斜ロール 450a、450b、452a 及び 452b 間で該ガラス板 305 を引き延ばす際に、下方引張力 448b を制御／調整するために、2 つのモータ 454a 及び 456a を同一の設定速度で作動させる。必要に応じて、該装置 446 は、プロセス非対称性を考慮し、一方側に配置された該モータ 454a を他方側に配置された該モータ 456a とは異なる速度で作動させることが可能である。この制御スキームは、その簡素性と低コスト性が望ましく、一部の用途において許容可能な性能を發揮し得る。

該プルロール装置 440 は、従来型プルロール装置 140 に対して幾つかの利点を有している。例えば、該第 1 及び第 2 駆動スタブロール対 442 と 444 は、以下の効果を有効に実現する、(1) 該横方向引張力 448a を調整することで、該ガラス板 305 の応力と反りを低減できる、及び (2) ロール巻き上げ力を排除または低減できる。なお、該プルロール装置 440 は、オプションとしてのエッジロール対 458 及び 460 並びに／又はオプションとしてのアイドルスタブロール対 462 及び 464 を含む場合もあることを理解されたい(図 4E 参照)。

図 5A-5E を参照すると、本発明の第 2 実施形態に従って構成されたプルロール装置 540 に関連する複数の図面が示されている。図 5A に示すように、該プルロール装置 540 は、該第 1 のプルロール装置 440 の構成要素（第 1 カンチレバースタブロール対 442、第 2 カンチレバースタブロール対 444、制御装置 446（コンピュータ 446 またはプログラマブルロジックコントローラ 446））に加えて、新たな引張ロール組立体 500 を含む（注、図 5A は縮尺通りではない）該引張ロール組立体 500 は、

第 1 プルロール 502（圧縮可能な耐火性ロール被覆が任意に施された両端部 502a 及び 502b を有する）、

第 2 プルロール 504（圧縮可能な耐火性ロール被覆が任意に施された両端部 504a 及び 504b を有する）、を含む。

これらは該ガラス板 305 に跨るように配置され、該ガラス板 305 の該縁部 305a 及び 305b を引き出す。該装置 446 は、該引張ロール組立体 500、該第 1 カンチレバースタブロール対 442、及び該第 2 カンチレバースタブロール対 444 を作動させ、該下方引張シート張力 448b の一貫性を制御及び改善する。これにより、該ガラス板 305 の製造ステップ中に残留応力を低減し、ガラスの平坦性を向上させる。該プルロール組立体 500 の追加により、リボン内における異なる下方引張張力 448b 及び 448c のセットを制御する能力も得られる。例えば、該スタブロール対 442 及び 444 は、該アイソパイプ 335 とそれらの間に位置するリボンにおける該下方引張張力 448b を制御可能であり、該プルロール組立体 500 は、該スタブロール対 442 及び 444 とそれらの間に位置するリボンにおける該下方引張張力 448c を制御可能である。該装置 446 は、該引張ロール組立体 500 及び/又は該 2 つの下方傾斜駆動スタブロール対 442 及び 444 の速度、スプレー角度、下方傾斜角度、並びに/又はトルクを制御することにより、該ガラス板 305 における該下方引張張力 448b 及び 448c を効果的に制御するための多数の制御スキームのいずれかを実施可能である。次に、図 5B-5E を参照して、複数の例示的な制御スキームにつ

いて詳細に説明する。

図 5B-5C を参照して、該プルロール装置 540 が実施可能な、該ガラス板 305 内の該下方引張力 448b 及び 448c を効果的に制御／調整する例示的な制御スキームを説明する。この場合、該装置 446（例えば、プログラマブルロジックコントローラ 446）は、該第 1 プルロール 502 に作動的に接続されたマスタモータ 506 の速度（回転数/分）を制御し、さらに該第 2 プルロール 504 に作動的に接続されたスレーブモータ 508 のトルクを制御する。その後、該第 1 及び第 2 駆動スタブロール対 442 及び 444 の該下方傾斜ロール 450a、450b、452a 及び 452b に作動的に接続された該スレーブモータ 454a、454b、456a 及び 456b からのトルク出力を制御する。特に、該装置 446 は、該マスタモータ 506 を所定の角速度で作動させるように制御し、次いで該マスタモータ 506 のトルクを監視することにより、該スレーブモータ 508、454a、454b、456a 及び 456b のトルクを、該マスタモータ 506 の測定トルクの所定の割合に一致するように制御する。例えば、該装置 446 は、該スレーブモータ 508 を、該マスタモータ 506 の監視トルクの 50~100% のトルクを出力するように制御し、さらに該スレーブモータ 454a、454b、456a 及び 456b を、該マスタモータ 506 の監視トルクの 0~10% のトルクを出力するように制御することができる。

次に、図 5B 及び 5D を参照して、プルロール装置 540 が実施可能な、ガラス板 305 内の下方引張力 448b 及び 448c を効果的に制御／調整する別の例示的な制御スキームを説明する。この場合、制御装置 446（例えば、プログラマブルロジックコントローラ 446）は、第 1 プルロール 502 に作動的に接続されたマスタモータ 506 の速度（回転数/分）を制御し、さらに第 1 及び第 2 駆動スタブロール対 442 及び 444 の下方傾斜ロール 450a、450b、452a 及び 452b に作動的に接続されたスレーブモータ 454a、454b、456a 及び 456b からのトルク出力を制御する。特に、該装置 446 は、該マスタモータ 506 を所定の角速度で作動させるように制御し、次いで該マスタモータ 506 のトルクを監視することにより、該スレーブモータ 454a、454b、456a 及び 456b のトルクを、該マスタモータ 506 の測定トルクの所定の割合に一致するように制御する。例えば、該装置 446 は、該スレーブモータ 454a、454b、456a 及び 456b を、該マスタモータ 506 の監視トルクの 0~10% のトルクを出力するように制御することができる。見てとれるように、該第 2 プルロール 504 はモータを有していないが、必要に応じて、該第 2 プルロール 504 のベアリング摩擦を相殺するに十分なトルクを印加するモータを有することも可能である。

次に、図 5B 及び 5E を参照しながら、該プルロール装置 540 が実施可能なさらに別の実施例的な制御スキームについて説明する。この制御スキームは、該ガラス板 305 内の下方引張力 448b 及び 448c 並びに横方向引張力変動 448a を効果的に制御／調整することが可能である。この場合、該装置 446（例えば、プログラマブルロジックコントローラ 446）は、該第 1 及び第 2 プルロール 502 及び 504 に作動的に接続されたマスタモータ 506 及び 508 の速度（回転数/分）を制御し、さらに該第 1 及び第 2 駆動スタブロール対 442 及び 444 の該下方傾斜ロール 450a、450b、452a 及び 452b に作動的に接続された該スレーブモータ 454a、454b、456a 及び 456b からのトルク出力を制御する。特に、該装置 446 は、該マスタモータ 506 及び 508 を所定の角速度で作動させるように制御し、次いで該マスタモータ 506 及び 508 のトルクを監視することにより、該スレーブモータ 454a、454b、456a 及び 456b のトルクを、該マスタモータ 506 及び 508 の測定トルクの平均値の所定の割合に一致するように制御する。例えば、該装置 446 は、該スレーブモータ 454a、454b、456a 及び 456b を、該 2 つのマスタモータ 506 及び 508 の監視トルクの平均値の 0~10% のトルクを出力するように制御することができる。この特定の制御スキームには 1 つの欠点があり、該ロール 450a、450b、

452a、452b、502a、502b、504a及び504bの微細な幾何学的／サイズ変動に起因して生じるロール巻き上げ力の望ましくない変動を防止できない可能性がある（注記、図5Cに関して上述した制御スキームを実施する該ブルロール装置540においては、この問題は生じない）5C参照）。最後に、該ブルロール装置540は、オプションとしてのエッジロール対458及び460を含む場合もあることを理解されたい（図5B参照）。

実際、該ブルロール装置540が実施可能な多くの異なる制御スキームが存在する。例えば、追加的な制御スキームとして、該下部ロール502及び504を一定角速度で作動させ、該上部スタブロール対442及び444も一定角速度で作動させる方法がある。安定した作動のためには、該下部駆動ロール502及び504を、該上部スタブロール対442及び444よりもわずかに速い速度に設定する。この方法は他のスキームほど好ましくなく、ロールの摩耗が増加する可能性があるが、一定速度制御は導入・操作が容易であり、特定の用途においては十分な場合がある。さらに別の可能な制御スキームとして、リボン的一方側の該下部ロール502を一定速度で駆動し、反対側の該下部ロール502をアイドリング状態とする方法がある。同様に、該上部スタブロール対442及び444についても、トルク制御ではなく速度制御とアイドリングを実施することが可能である。このアイドリング機能は、電磁クラッチを使用して実現できる。一部のロールをアイドリング状態とすることで、本発明の利点の一部を実現可能であり、このスキームは特定の用途において適切である場合がある。

該ブルロール装置540は、従来型ブルロール装置140に対して幾つかの利点を有している。例えば、該第1及び第2駆動スタブロール対442と444は、以下の効果を有効に実現する、(1) 該横方向引張力448aを調整することで、該ガラス板305の応力と反りを低減できる、

(2) ロール巻き上げ力を低減または排除可能である、ならびに

(3) 該ガラス板305のサイクル中における該横方向引張力448aの変動を低減できる。さらに、該引張ロール組立体500は、以下のような幾つかの利点を有する（例示）、(1) 該TAM350が該ガラス板305をスコアリングする際、及びスコアリングされた該ガラス板305がより小さなガラス板355に分離される際に、該ガラス板の変動重量を吸収できる、

(2) より低温の該ブルロール502及び504は、該ガラス板305の製造中における該横方向引張力448aの変動を抑制できる、ならびに

(3) 該ブルロール502及び504をより低い位置に配置することで、該第1及び第2駆動スタブロール対442と444が位置する設定ゾーン領域にある該ガラス板305への影響を軽減できる。該引張ロール組立体500のこれらの利点として、ガラス板切断時に生じる変動引張力（これが横方向引張力変動を引き起こす）を、ガラスリボンのより低温部分に移動させることが挙げられる。これにより、該第1及び第2駆動スタブロール対442及び444の作動条件をより一定に保つことが可能となり、これらの構成要素が通常、製品応力と平坦性に影響を及ぼし得る粘弾性ガラス温度領域近くに位置していることを考慮すると、特に望ましい効果である。さらに、該引張ロール組立体500に関連する低温条件により、シャフトのたわみが減少し、変動荷重が横方向引張力変動として伝達されることが可能となる。最適な分離効果を得るためには、該ブルロール装置500を該TAM350に可能な限り近接して配置することが望ましい。

加えて、該ブルロール装置540は、「クラックアウト」事象（該ガラス板305に該TAM350から該第1及び第2駆動スタブロール対442及び444に向かって亀裂が生じる現象）からの回復を支援するために使用可能である。この状況にお

いて、該制御装置446は該ブルロール502及び504におけるトルク損失を検知し、直ちに該モータ454a、454b、456a及び456bを一定角速度運転に切り替える。オプションとして、該下部ブルロール502及び504を自動的に開放し、該ガラス板305を該下部ロール502及び504に再スレッドすることを容易にすることも可能である。さらに、該ガラス板305が適切に再引き出しされた後、該制御装置446（または必要に応じて手動手段）を使用して、前述した制御スキームのいずれかに切り戻すことが可能である。

図本発明の第3の実施形態に従って構成された該ブルロール装置640に関連する複数の図面が示されている。図6Aに示すように、該ブルロール装置640は、最初に説明した該ブルロール装置440に関連する構成要素、すなわち第1カンチレバー式駆動スタブロール対442、第2カンチレバー式駆動スタブロール対444、及び制御装置446（例えば、コンピュータ446、プログラマブルロジックコントローラ446）に加えて、第3及び第4カンチレバー式駆動スタブロール対602及び604を含む（注記、図6Aは縮尺通りではない）。本実施形態において、第3カンチレバー式駆動スタブロール対602は第1カンチレバー式駆動スタブロール対442の直下に位置し、2つの垂直下方傾斜ロール606a及び606bを有しており、該ロール間でガラス板305の第1縁部305aが引き出される。本実施形態において、該第3カンチレバー式駆動スタブロール対602は、該第1カンチレバー式駆動スタブロール対442の真下に位置し、2つの垂直下方傾斜ロール606a及び606bを有しており、これらの中で該ガラス板305の第1縁部305aが引き出される。該装置446は、該4つのカンチレバー式駆動スタブロール対442、444、602及び604を操作して、横方向引張力448a及び448dならびに下方引張力448b及び448cの一貫性を制御・改善し、該ガラス板305の製造中に残留応力を低減し、ガラスの平坦性を向上させる。該下部スタブロール対602及び604を追加することで、リボン内の異なる横方向引張力448a及び448dならびに下方引張力448b及び448cのセットを制御する能力も得られる。例えば、該上部スタブロール対442及び444は、該アイソパイク335とそれらの間に位置するリボンにおける横方向引張力448a及び下方引張力448bを制御可能であり、該下部スタブロール対602及び604は、該上部スタブロール対442及び444とそれらの間に位置するリボンにおける横方向引張力448d及び下方引張力448cを制御可能である。該装置446は、該4つの駆動スタブロール対442、444、602及び604の速度、スプレー角度、下方傾斜角度、並びに／又はトルクを制御することにより、該ガラス板305における横方向引張力変動448a及び448dならびに下方引張力448b及び448cを効果的に制御するための多数の制御スキームのいずれかを実施可能である（注記、該ロール450a、450b、452a、452b、606a、606b、608a及び608bのうち1つ以上について、処理条件に応じて異なるスプレー角度又は下方傾斜角度を設定することが望ましい場合がある）。次に、図6B～6Cを参照して、いくつかの実施例的な制御スキームについて詳細に説明する。

次に、図6B～6Cを参照しながら、該ブルロール装置640が実施可能な実施例的な制御スキームについて説明する。この制御スキームは、該ガラス板305内の横方向引張力448a及び448dならびに下方引張力448b及び448cを効果的に制御／調整することが可能である。この場合、該装置446（例えば、プログラマブルロジックコントローラ446）は、該下方傾斜ロール606a及び608aに作動的に接続されたマスタモータ610a及び612aの速度（回転数/分）を制御し、さらに該下方傾斜ロール606b及び608bに作動的に接続されたスレーブモータ610b及び612bのトルクを制御する。その後、該第1及び第2駆動スタブロール対442及び444の該下方傾斜ロール450a、450b、452a及び452bに作動的に接続された該スレーブモータ454a、454b、456a及び456bからのトルク出力を制御する。特に、該装置446は、該マスタモータ610a及び612aを所定の角速度で作動させるように制御し、次いで該マスタモ

ータ 610a 及び 612a のトルクを監視することにより、該スレーブモータ 610b、612b、454a、454b、456a 及び 456b のトルクを、該マスタモータ 610a 及び 612a の測定トルクの所定の割合に一致するように制御する。例えば、該装置 446 は、該スレーブモータ 610b 及び 612b を、それぞれ対応する該マスタモータ 610a 及び 612a の監視トルクの 50～100% のトルクを出力するように制御することができる。さらに、該スレーブモータ 454a 及び 454b を、該マスタモータ 610a の監視トルクの 0～10% のトルクを出力するように制御し、該スレーブモータ 456a 及び 456b を、該マスタモータ 612a の監視トルクの 0～10% のトルクを出力するように制御することができる。必要に応じて、該装置 446 は、プロセス非対称性を考慮し、該マスタモータ 610a を該他のマスタモータ 612a とは異なる速度で作動させることが可能である。

次に、図 6B 及び 6C を参照しながら、該ブルロール装置 640 が実施可能な別の実施例的な制御スキームについて説明する。この制御スキームは、該ガラス板 305 内の横方向引張力 448a 及び 448d ならびに下方引張力 448b 及び 448c を効果的に制御／調整することが可能である。この場合、該装置 446 (例えば、プログラマブルロジックコントローラ 446) は、該下方傾斜ロール 606a、606b、608a 及び 608b に作動的に接続されたマスタモータ 610a、610b、612a 及び 612b の速度 (回転数/分) を制御し、さらに該第 1 及び第 2 駆動スタブロール対 442 及び 444 の該下方傾斜ロール 450a、450b、452a 及び 452b に作動的に接続された該スレーブモータ 454a、454b、456a 及び 456b からのトルク出力を制御する。特に、該装置 446 は、該マスタモータ 610a、610b、612a 及び 612b を所定の角速度で作動させるように制御し、次いで該マスタモータ 610a、610b、612a 及び 612b のトルクを監視することにより、該スレーブモータ 454a、454b、456a 及び 456b のトルクを、該マスタモータ 610a、610b、612a 及び 612b の測定トルクの平均値の所定の割合に一致するように制御する。例えば、該装置 446 は、該スレーブモータ 454a 及び 454b を、該マスタモータ 610a 及び 610b の 2 つの監視トルクの平均値の 0～10% のトルクを出力するように制御し、次いで該スレーブモータ 456a 及び 456b を、該マスタモータ 612a 及び 612b の 2 つの監視トルクの平均値の 0～10% のトルクを出力するように制御することができる。必要に応じて、該装置 446 は、プロセス非対称性を考慮し、一方側に配置された該マスタモータ 610a 及び 610b を他方側に配置された該マスタモータ 612a 及び 612b とは異なる速度で作動させることが可能である。

実際、該ブルロール装置 640 が実施可能な多くの異なる制御スキームが存在する。例えば、追加的な制御スキームとして、該下部スタブロール対 602 及び 604 を一定角速度で作動させ、該上部スタブロール対 442 及び 444 も一定角速度で作動させる方法がある。安定した作動のためには、該下部スタブロール対 602 及び 604 を、該上部スタブロール対 442 及び 444 よりもわずかに速い速度に設定する。この方法は他のスキームほど好ましくなく、ロールの摩耗が増加する可能性があるが、一定速度制御は導入・操作が容易であり、特定の用途においては十分な場合がある。さらに別の可能な制御スキームとして、リボン的一方側の該下部ロール 606a/608a を一定速度で駆動し、反対側の該下部ロール 606b/608b をアイドリング状態とする方法がある。同様に、該上部スタブロール対 442 及び 444 についても、トルク制御ではなく速度制御とアイドリングを実施することが可能である。このアイドリング機能は、電磁クラッチを使用して実現できる。ロールをアイドリング状態とすることで、本発明の利点の一部を実現可能であり、このスキームは特定の用途において適切である場合がある。

該ブルロール装置 640 は、従来型ブルロール装置 140 に対して幾つかの利点を有している。例えば、該第 1 及び第 2 駆動スタブロール対 442 と 444 は、以下の効果を有効に実現する、(1) 該横方向引張力 448a を調整することで、該ガラ

ス板 305 の応力と反りを低減できる、

(2) 駆動巻き上げ力を低減または排除可能である、ならびに

(3) 該ガラス板 305 のサイクル中における該横方向引張力 448a 及び 448d の変動を低減できる。また、該第 3 及び第 4 駆動スタブロール対 602 と 604 は、以下の効果を有効に実現する (例示)、(1) 該 TAM350 が該ガラス板 305 をスコアリングする際、及びスコアリングされた該ガラス板 305 がより小さなガラス板 355 に分離される際に、該ガラス板の変動重量を吸収できる、

(2) より低温の該下方傾斜ロール 606a、606b、608a 及び 608b は、該ガラス板 305 の製造中における該横方向引張力 448a の変動を抑制できる、ならびに

(3) 該下方傾斜ロール 606a、606b、608a 及び 608b をより低い位置に配置することで、該第 1 及び第 2 駆動スタブロール対 442 と 444 が位置する設定ゾーン領域にある該ガラス板 305 への影響を軽減できる。なお、該第 3 及び第 4 定トルク駆動スタブロール対 602 及び 604 は、該第 1 及び第 2 定トルク駆動スタブロール対 442 及び 444 と同様の方法で、下方傾斜角度及びスプレー角度を調整可能である。

加えて、該ブルロール装置 640 は、「クラックアウト」事象 (該ガラス板 305 に該 TAM350 から該第 1 及び第 2 駆動スタブロール対 442 及び 444 に向かって亀裂が生じる現象) からの回復を支援するために使用可能である。この状況において、該制御装置 446 は、該下部駆動スタブロール対 602 及び 604 におけるトルク損失を検知し、直ちに該モータ 454a、454b、456a 及び 456b を一定速度運転に切り替える。任意選択として、該下部ブルロール 606a、606b、608a 及び 608b を自動的に開放し、該ガラス板 305 を該下部ロール 606a、606b、608a 及び 608b に再スレッドすることを容易にすることができる。そして、該ガラス板 305 が適切に再引き出された後、該制御装置 446 (または必要に応じて手動手段) は、前述した制御スキームのいずれかに切り戻すことができる。最後に、該ブルロール装置 640 は、オプションとしてのエッジロール対 458 及び 460 を含む場合もあることに留意されたい (図 6B 参照) 6B 参照)。

図本発明の第 4 の実施形態に従って構成された該ブルロール装置 740 に関連する複数の図面が示されている。図示のように、該ブルロール装置 740 は、第 1 カンチレバー式駆動スタブロール対 442、第 2 カンチレバー式駆動スタブロール対 444、及び制御装置 446 (例えば、コンピュータ 446、プログラマブルロジックコントローラ 446) を含む (注記、図 4A は縮尺通りではない)。該装置 446 は、該ガラス板 305 の第 1 縁部 305a が該第 1 駆動スタブロール対 442 に係る 2 つの水平ロール 450a 及び 450b 間で引き出され、かつ対向する第 2 縁部 305b が該第 2 駆動スタブロール対 444 に係る 2 つの水平ロール 452a 及び 452b 間で引き出される際に、該 2 つの駆動スタブロール対 442 及び 444 を制御することにより、該ガラス板 305 における下方引張力 448b を効果的に制御する (図 7B 参照)。必要に応じて、該水平ロール 450a、450b、452a 及び 452b は、所定の正のスプレー角度 θ を有するように (自動的または手動的に) 位置決めすることも可能であり、これにより該ガラス板 305 に生成される横方向引張力 448a の量を制御できる。さらに、該ブルロール装置 740 は、該引張ロール組立体 500 (図 5A 参照) または該第 3 及び第 4 カンチレバー式駆動スタブロール対 602 及び 604 (図 6A 参照) を組み込むことも可能である。また、該ブルロール装置 740 は、該ブルロール装置 440、540 及び 640 に関して上述した制御スキームのいずれかを実施することができる。なお、該ブルロール装置 740 は、オプションとしてのエッジロール対 458 及び 460 並びに／又はオプションとしてのアイドルスタブロール対 462 及び 464 を含む場合もあることを理解されたい 7B 参照)

(注記、必要に応じて、該アイドルスタブロール 462 及び 464 は、図示のように水平配置とし、下方傾斜させなくてもよい)。

見てとれるように、該ブルロール装置 740 は、下方傾斜ロール 450a、450b、452a 及び 452b を必ずしも必要とせず、該水平ロール 450a、450b、452a 及び 452b によって有利な駆動配置を実現できることを示している。例えば、実施例的なフュージョンプロセスにより、リボンガラス内部の温度勾配により高い内部張力が生じる場合がある。この場合、該垂直下方傾斜ロール 450a、450b、452a 及び 452b による追加的な横方向張力は性能にそれほど寄与しない可能性があるが、本明細書で説明する低運動駆動制御スキームの他の利点と該水平ロール 450a、450b、452a 及び 452b は性能に大きな影響を与える可能性がある。

以上から、本発明の該ブルロール組立体 440、540、640 及び 740 は、該ガラス板 305 の製造中に、横方向引張力 448a と下方引張力 448b の両方を管理、調整及び制御する能力を有することがわかる。これは、複数のスタブロール及び／又は動力付きブルロールを使用することにより達成され、ロボットによるシートの「スナップオフ」時の相互作用や、それに伴う該ガラス板 305 の総重量変化などの外力が引き出しプロセスに与える影響を制御できる。さらに、該ブルロール組立体 440、540、640 及び 740 は、ロール径の差異、シャフトのたわみ、不均一な機械加工や摩耗などによる角速度の違いによって生じる「巻き上げ」現象などのロール起因力を最小限に抑えるか、または排除することが可能である。以下に、本発明の該ブルロール装置 440、540、640 及び 740 の追加的な特徴、用途及び機能を示す、

1. 新規駆動スキームの技術的利点は、横方向引張力 448a 及び下方引張力 448b の調整と制御を可能にすることである。この種の制御は、得られる該ガラス板 355 の残留応力を低減し、平坦性を向上させるのに重要であるため、この利点は特に重要である。

2. 該フュージョンパイプ 335 下方における引張力バランスの調整が、現在では可能となった。これは、該ガラス板 305 が粘弾性状態にあるため、効果的なプロセス変更及び監視が可能な位置において、該 4 つの引張フラット／ロール 450a、450b、452a、及び 452b のトルク及び／または速度制御を利用することによるものである。

3. 該 4 つの主要引張フラット／ロール 450a、450b、452a、及び 452b の個別制御は、速度の整合及び表面損傷を引き起こす関連する巻き上げ現象の低減に有益である。過去において、この巻き上げ現象への対応は困難であった。なぜなら、従来型ブルロール装置 140 において、該 2 つの全長ロール上の該 4 つの引張フラット／ロールすべての圧縮可能な耐火性ロール被覆を、全く同一の仕様及び直径で、振れなく機械加工することは、不可能ではないにせよ、非常に困難であったためである。その結果、従来型ブルロール装置 140 は、表面速度の差異に起因する不均一な摩耗、ガラス表面損傷、及び汚染に悩まされていた。

4. 該スタブロール 450a、450b、452a、及び 452b は、その物理的サイズが縮小されているため、該ガラス板 305 のサイズに関係なく、先行技術の引張ロール 142a、142b、144a、及び 144b と比較して、厳密な公差で機械加工することが本質的に容易である。

5. 該スタブ駆動ロール対 442 及び 444 を使用することにより、全てのガラス製造システム 300 において同一のロール 450a、450b、452a 及び 452b を使用することが可能となる。これは従来では実現不可能であった。なぜなら、各サイズフラットフォームごと、場合によっては特定の引き出しプロセスごとに、そのプロセス専用設計されたロールが必要であったためである。その結果、汎用スタブロール対 442 及び 444 の採用により、ロール在庫を大幅に削減でき、総ロ

ールコストを低減できる。さらに、該スタブ駆動ロール対 442 及び 444 では、ニップ位置を簡易な機械的設定変更で調整可能である。これに対し、従来の全長ブルロール 142 及び 144 を使用する場合、引張フラット位置を変更するためには、引張フラットを再製造する必要があった。

6. スプレー角制御を利用することで、ニップフットプリントをビード厚み勾配に正確に一致させることが可能となる。この結果、従来の全長ブルロール 142 及び 144 を使用した場合と比較して、ロール摩耗の低減、ロール寿命の延長、ダウンタイム (及びプロセス異常) の減少が実現される。

7. 該ブルロール組立体 440、540、640 及び 740 は、以下の有利な特徴を有する、

a. 連続シャフトを排除することにより、フラット間の巻き上げ相互作用による力の変動を最小限に抑える。

b. スタブロールの軸を下方に傾斜させることで、該ガラス板の設定ゾーン領域における横方向引張力を調整し、製品応力と平坦性を最適化する。

c. 横方向引張力を測定し、これを下方傾斜機能と組み合わせ、低応力かつ平坦性に優れたガラス板を製造するための最適な張力条件を設定する。

d. 下方傾斜角度を調整して、ロール摩耗、ガラス厚み勾配変化、その他の通常の変動要因を補償しながら、所望の張力を時間的に一定に保つ (注記、これは手動または自動システムで実施可能)。

e. ガラス製造プロセスの一貫性を向上させ、得られるガラス板の低応力と平坦性を維持するために必要な最適なりボン条件を保証する。

f. マスタ/スレーブ差動制御システムアルゴリズム (マスタ=一定トルク/スレーブロールはマスタトルクレベルに一致) を使用してスタブロールモータを制御し、ロール間負荷不均衡を解消し、より一貫した引張力を提供し、製品応力と平坦性を向上させる。

g. 張力計測器と下方傾斜 (例えば、入口と圧縮のバランス) を使用して、駆動スタブロールが通常のプロセス差異/変動による力の不均衡を相殺し、より最適なリボン条件を作り出し、製品応力と平坦性を向上させる。これにより、厚み制御の改善とビードマス (廃棄ガラス) の最小化も可能となる。

h. スタブロール機構のスプレー角度 (スタブロール軸間の水平角度) を調整することで、スタブロールによって生成される横方向引張力をさらに操作可能とする。この機能は下方傾斜角度と同様に活用できる。

i. スタブロール機構のフラット/ロール位置を調整する能力。これにより、フラットがガラス板の厚み勾配上を走行する位置が変化し、ロールフラットでの水平接触角度が変化し、結果として横方向引張力が変化する。この機能は下方傾斜角度と同様に活用できる。

j. 設定ゾーンより十分下方に位置する第 2 ロール (バッファリングロール) の使用。これは連続シャフトロールまたは駆動スタブロール対でもよい (図 5A-6A 参照)。このバッファリングロールは、シート除去やロボット相互作用によるリボンの変動負荷を吸収し、該ガラス板 305 の粘弾性領域における擾乱を最小限に抑えるのに役立つ。

k. 設定ゾーンにおけるリボン張力レベルのさらなる調整を可能にし、応力低減と平坦性向上に寄与する。

l. 駆動ロールとバッファリングロールの構成により、駆動ロールとバッファリングロールの間にアイドルスタブロールを配置可能とする。これらのアイドルスタブロール

は非常に高い下方傾斜（高張力）位置をとることができる。これらのアイドルスタブロールを追加することで、リボンの動きを抑制し、製品応力を低減することが期待される。

本発明の複数の実施形態が添付の図面に示され、前述の詳細な説明で説明されているが、本発明は開示された実施形態に限定されるものではなく、以下の特許請求の範囲によって定められる本発明の精神から逸脱することなく、多数の再配置、変更、及び置換が可能であることを理解されたい。

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】 ガラス板を製造する方法であって、
前記方法は、

- a) バッチ材料を溶融し、前記ガラス板を成形するステップ、
- b) 前記ガラス板をプルロール装置に搬送するステップ、
- c) 前記ガラス板を引き出し、前記プルロール装置を用いて前記ガラス板に横方向張力を発生させるステップ、

前記プルロール装置は、

- (i) 前記ガラス板の第 1 縁部を前記ガラス板の中心から外側に引き出すための、カンチレバー支持された垂直下方傾斜の第 1 スタブロール対、
 - (ii) 前記第 1 スタブロール対に対して横方向に対向する位置で、前記ガラス板の第 2 縁部を前記中心から外側に引き出すことで、前記第 1 スタブロール対と前記第 2 スタブロール対との間の前記ガラス板に横方向張力が発生するための、カンチレバー支持された垂直下方傾斜の第 2 スタブロール対、
 - (iii) 前記第 1 及び第 2 スタブロール対の下方に配置され、前記ガラス板の前記第 1 縁部及び対向する前記第 2 縁部を引き出し、前記プルロール対と前記第 1 及び第 2 スタブロール対との間の前記ガラス板に垂直方向の引き出し張力を発生させるプルロール対、
- を含む、

- d) 前記プルロール対の少なくとも 1 つのプルロールのトルクを監視するステップ、
 - e) 前記第 1 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロール及び前記第 2 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールのトルクを監視するステップ、
 - f) 前記プルロール対の少なくとも 1 つのプルロールのトルクを制御するステップ、並びに
 - g) 前記第 1 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールのトルク及び前記第 2 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールのトルクを、前記少なくとも 1 つのプルロールのトルクの所定の割合に制御するステップ。
- を含む、方法。

【請求項 2】 前記第 1 スタブロール対及び前記第 2 スタブロール対の下方傾斜位置を制御及び調整するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】 前記引き出しステップは、各スタブロールを、前記ガラス板の主表面に対する対応するロール面

の水平角度である所望のスプレー角度を有するように位置決めするステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】 前記第 1 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロール及び前記第 2 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールのトルクを制御するステップは、

前記第 1 及び第 2 スタブロール対の各々において、一方のスタブロールをアイドリング状態にしたまま、他方のスタブロールの角速度を制御及び調整するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】 前記プルロールの少なくとも 1 つのトルクを制御するステップは、

前記第 1 及び第 2 スタブロール対のスタブロールに作動的に接続されたモータの角速度を制御及び調整するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】 前記スタブロールのトルクを制御するステップは、

前記第 1 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールのトルク及び前記第 2 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールのトルクを、前記少なくとも 1 つのプルロールのトルクの 50% から 100% の範囲に制御することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】 ガラス板を製造する方法であって、
前記方法は、

- a) バッチ材料を溶融し、前記ガラス板を成形するステップ、
- b) 前記ガラス板をプルロール装置に搬送するステップ、
- c) 前記ガラス板を引き出し、前記プルロール装置を用いて前記ガラス板に横方向張力を発生させるステップ、

前記プルロール装置は、

- (i) 前記ガラス板の第 1 縁部を前記ガラス板の中心から外側に引き出すための、カンチレバー支持された垂直下方傾斜の第 1 スタブロール対、
- (ii) 前記第 1 スタブロール対に対して横方向に対向する位置で、前記ガラス板の第 2 縁部を前記中心から外側に引き出すことで、前記第 1 スタブロール対と前記第 2 スタブロール対との間の前記ガラス板に横方向張力が発生するための、カンチレバー支持された垂直下方傾斜の第 2 スタブロール対、
- (iii) 前記第 1 スタブロール対の下方に配置され、前記ガラス板の前記第 1 縁部を前記中心から外側に引き出すための、カンチレバー支持された垂直下方傾斜の第 3 スタブロール対、
- (iv) 前記第 2 スタブロール対の下方で前記第 3 スタブロール対に対して横方向に対向する位置に配置され、前記ガラス板の前記第 2 縁部を前記中心から外側に引き出すことで、前記第 3 スタブロール対と前記第 4 スタブロール対との間の前記ガラス板に横方向張力が発生するための、カンチレバー支持された垂直下方傾斜の第 4 スタブロール対、

を含み、

- d) 前記第 1 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロール及び前記第 2 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールのトルクを監視するステップ、
- e) 前記第 3 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロール及び前記第 4 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールのトルクを監視するステップ、
- f) 前記第 3 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロール及び前記第 4 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールのトルクを制御するステップ、並びに
- g) 前記第 1 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロール及び前記第 2 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールのトルクを、前記第 3 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロール及び前記第 4 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールのトルクの所定の割合に制御するステップ、
を含む、方法。

【請求項 8】 前記スタブロールのトルクを制御するステップは、

前記第 3 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロール及び前記第 4 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールに作動的に接続されたマスタモータの角速度を制御及び調整するステップと、

前記第 1 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロール及び前記第 2 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールに作動的に接続されたスレーブモータのトルクを制御及び調整するステップと、

をさらに含む、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】 前記第 1 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロール及び前記第 2 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールのトルクを制御するステップは、

前記第 1 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロール及び前記第 2 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールのトルクを、

前記第 3 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロール及び前記第 4 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールのトルクの 0%から 10%の範囲に制御することを含む、請求項 7 に記載の方法において、

【請求項 10】 前記第 7 スタブロール対及び前記第 2 スタブロール対の下方傾斜位置を制御及び調整するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】 前記第 3 スタブロール対及び前記第 4 スタブロール対の下方傾斜位置を制御及び調整するステップをさらに含む、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】 前記引き出しステップは、各スタブロールを、前記ガラス板の主表面に対する対応するロール面の水平角度である所望のスプレー角度を有するように位置決めするステップをさらに含む、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 13】 前記第 1 スタブロール対及び前記第 2 スタブロール対の各々における少なくとも 1 つのスタブロールのトルクを制御するステップは、

前記第 1 及び第 2 スタブロール対の各々において、一方のスタブロールをアイドリング状態にしたまま、他方のスタブロールの角速度を制御及び調整するステップをさらに含む、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 14】 前記第 3 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロール及び前記第 4 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールのトルクを制御するステップは、

前記第 3 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロール及び前記第 4 スタブロール対の少なくとも 1 つのスタブロールに作動的に接続されたモータの角速度を制御及び調整するステップをさらに含む、請求項 7 に記載の方法。



TRANSLATION CERTIFICATION

Date: May 19, 2025

To whom it may concern:

I, Atsuko Iemoto, a translator fluent in the English and Japanese languages, on behalf of Morningside, do solemnly and sincerely declare that the following is, to the best of my knowledge and belief, a true and correct translation of the document(s) listed below in a form that best reflects the intention and meaning of the original text.

The document is designated as:

- US8627684

Atsuko Iemoto

Signature

Atsuko Iemoto

Print

QUESTEL CONFIDENTIAL

4001 S 700 East, Suite 500 #B17
Salt Lake City, UT 84107

EX1001
Page 51 of 51