



(11)

EP 1 793 044 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
15.07.2009 Patentblatt 2009/29

(51) Int Cl.:
E02D 5/04 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05111583.0**

(22) Anmeldetag: **01.12.2005**

(54) **Warmgewalzte Flachprofil-Stahlspundbohle**

Hot rolled low profile steel sheet pile

Palplanches en acier à profil bas laminé à chaud

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
06.06.2007 Patentblatt 2007/23

(73) Patentinhaber: **ArcelorMittal Belval & Differdange
4009 Esch sur Alzette (LU)**

(72) Erfinder: **Hermes, Aloyse
4514 Differdange (LU)**

(74) Vertreter: **Office Freylinger
P.O. Box 48
8001 Strassen (LU)**

(56) Entgegenhaltungen:
DE-C- 571 720 GB-A- 516 106

EP 1 793 044 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Technisches Gebiet

- 5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine warmgewalzte Flachprofil-Stahlspundbohle (straight web sheet pile), insbesondere für den Bau von Zellenfangedämmen (cellular cofferdams).

Stand der Technik

- 10 **[0002]** Die ersten warmgewalzten Flachprofil-Stahlspundbohlen, nachfolgend auch kurz Flachspundbohlen genannt, wurden bereits Ende des 19ten Jahrhunderts in den USA eingesetzt. In Europa werden diese Flachspundbohlen seit den dreißiger Jahren des 20ten Jahrhunderts gewalzt. Sie umfassen einen in Wandachse liegenden, geraden Steg, der auf jeder Längsseite jeweils durch eine Schlossleiste begrenzt ist. Mittels dieser Schlossleisten können die einzelnen Flachspundbohlen zu einer durchgehenden Spundwand verbunden werden.
- 15 **[0003]** Flachspundbohlen werden besonders zum Bau von Zellenfangedämmen (cellular cofferdams) ohne innere Verankerung eingesetzt. Je nach Form der Zellen unterscheidet man Kreis- oder Flachzellenfangedämme. In den U.S.A. gelangen ebenfalls sogenannte "offene Zellen" zur Ausführung (siehe z.B. die US Patent N° 6,715,964). Diese geschlossenen und offenen Zellen sind derart ausgelegt, dass die aus der Füllung und dem Wasserüberdruck herrührenden Belastungen die Flachspundbohlen nur auf Zug in Richtung der horizontalen Wandachse beanspruchen.
- 20 **[0004]** Bei der Bemessung der Flachspundbohlen für solche Zellenfangedämme wird die Beanspruchung (z.B. die durch die "Kesselformel" ermittelte Ringzugkraft) dem Bohlenwiderstand gegenübergestellt. Dieser ergibt sich entsprechend der EN 1993-5, als das Minimum aus einem Versagen im Schloss und einem Fließen im Steg.
- [0005]** Die Wahl der Stahlgüte für das Profil erfolgt beim Hersteller hierbei jedoch traditionell so, dass folgenden Bedingung erfüllt ist:

$$(f_y \cdot t) / S_1 > R / S_2 \Rightarrow f_y > (R \cdot S_1) / (t \cdot S_2) \quad (1)$$

30 wobei:

f_y = der Rechenwert der Fließgrenze;

35 t = die Stegdicke;

R = die vom Hersteller gewährleistete Mindestschlosszugfestigkeit (z.B. $R = 5500 \text{ kN/m}$);

S_1 = ein Sicherheitsbeiwert für das Fließen im Steg;

40 S_2 = ein Sicherheitsbeiwert für das Versagen im Schloss;

wobei die Sicherheitsbeiwerte unterschiedlich sind für beide Versagensarten, z.B.:

45 $S_1 = 1,0$ (Fließen im Steg);

$S_2 = 1,25$ (Versagen im Schloss).

- 50 **[0006]** Durch die Beachtung der oben angeführten Bedingung (1) ist sichergestellt, dass das Fließen im Steg bei Zugbelastung der Flachspundbohlen nie maßgebend wird, d.h. dass lediglich die vom Hersteller gewährleistete Mindestschlosszugfestigkeit R zu beachten ist. Hieraus ergibt sich ebenfalls, dass ein Versagen einer Flachspundbohlenverbindung fast immer auf ein Aufbrechen einer Schlossverbindung zurückzuführen ist.

- [0007]** Ein Aufbrechen einer Schlossverbindung in der Zellenwand einer Fangedammzelle verursacht eine Diskontinuität in der Aufnahme der Ringzugkräfte. Es entsteht eine sich vergrößernde Lücke in der Zellenwand, durch welche die Bodenauffüllung der Fangedammzelle weggeschwemmt wird. Ohne ausreichende Bodenauffüllung kann die Fangedammzelle den aus dem Wasserüberdruck herrührenden Belastungen jedoch nicht mehr standhalten, so dass es zu ihrem Versagen kommt.

- [0008]** Fast alle Flachspundbohlen haben symmetrische Schlossleisten vom Typ "Daumen/Finger", welche sich um

180° verdreht miteinander verhaken. Bei zwei verhakten Schlossleisten, hintergreifen sich die beiden Daumen, wobei die Finger den Daumen der gegenüberliegenden Schlossleiste jeweils umgreifen (siehe Fig. 1). Ein Versagen einer solchen Schlossverbindung erfolgt entweder durch Abreißen des auf Zug beanspruchten Daumens oder durch Öffnen, bzw. Bruch, des auf Biegung beanspruchten Fingers.

5 **[0009]** Alle Hersteller von Flachspundbohlen haben aus Kostengründen in ihrem Standard-Lieferprogramm lediglich drei bis vier Flachspundbohlen, die sich im Wesentlichen durch die Dicke ihres Steges unterscheiden. Es kommen hierbei in der Regel Stegdicken von 11 bis 13 mm zur Ausführung. Die Wahl der Stahlgüte bestimmt dann die Mindestschlosszugfestigkeit des Profils, wobei in der Regel Werte von 2000-4000 kN/m gewährleistet werden. Neue hochfeste Stähle, wie z.B. der Stahl S 460 GP, erlauben sogar eine Mindestschlosszugfestigkeit von 5500 kN/m zu gewährleisten.

10 Da eine erhöhte Stahlgüte auch zu einer Erhöhung der Streckgrenze im Steg führt, ist stets sichergestellt, dass die Bedingung (1) erfüllt bleibt. Es ist in diesem Zusammenhang ebenfalls hervorzuheben, dass Flachspundbohlen mit einem dickeren Steg in der Regel auch eine höhere Mindestschlosszugfestigkeit aufweisen, da beim Walzen eines dickeren Steges sich auch die für die Schlosszugfestigkeit maßgebenden Teile des Schlosses leicht dicker walzen lassen.

15 **[0010]** Es kommt vor, dass mit Flachspundbohlen aus den Standard-Lieferprogrammen der Hersteller die für ein Bauprojekt erforderliche Mindestschlosszugfestigkeit nicht zu erzielen ist. Aus Kostengründen ist jedoch kaum ein Hersteller bereit, Spezialprofile für einzelne Bauprojekte zu walzen. In solchen Fällen ist es bekannt, die Mindestschlosszugfestigkeit von Profilen aus dem Standardprogramm dadurch zu erhöhen, dass man, ausgehend von einer bestehenden Kalibrierung, beim Walzvorgang das "Kaliber" weiter öffnet, d.h. den Spalt zwischen oberer und unterer Walze leicht größer einstellt. Hierdurch wird nicht nur der Steg leicht dicker, sondern auch die für die Schlosszugfestigkeit

20 maßgebenden Teile des Schlosses werden kräftiger ausgebildet und bieten damit einen höheren Widerstand. Ein solches Verfahren ist z.B. in der JP55138511 beschrieben. Es ist anzumerken, dass auch bei dieser Vorgehensweise sichergestellt ist, dass die Bedingung (1) erfüllt bleibt.

[0011] Zwecks Erhöhung der Schlosszugfestigkeit wurde ebenfalls vorgeschlagen, die Geometrie der Schlossleisten zu verändern (siehe z.B. die JP56020227). Hierzu müsste der Hersteller jedoch in neue Walzen investieren. Anschließend müsste er dann in seinem Lieferprogramm zwei unterschiedliche Schlossarten für Flachspundbohlen führen, was die Logistik nicht gerade vereinfacht. Aus beiden Gründen sind die Hersteller von Flachspundbohlen daher kaum bereit diesen Weg zu gehen.

25 **[0012]** Man weiß ebenfalls seit langem, dass Flachspundbohlen in bestimmten Fangedämmen auch hohen dynamischen Belastungen ausgesetzt sein können. Die Zellenwände werden z.B. von Schiffen gerammt und sind, bei Spring- und Sturmfluten, dem Aufprall von schwerem Treibgut ausgesetzt. Viele Fangedämme werden zudem auch in erdbebengefährdeten Gebieten errichtet. Für solche dynamischen Belastungsfälle müssten die Flachspundbohlen eigentlich völlig anders als bisher ausgelegt werden. So müsste z.B. sichergestellt sein, dass die Flachspundbohlen eine wesentlich größere Verformungsenergie als bisher aufnehmen können, bevor es zum Versagen einer Schlossverbindung kommt. Da man jedoch davon ausging, dass zum Herstellen dieser völlig neuen Flachspundbohle sehr große Investitionen erforderlich sind, hat bis jetzt kein Hersteller eine Flachspundbohle auf den Markt gebracht, die besonders für die oben

30 angeführten dynamische Belastungsfälle ausgelegt ist.

[0013] Die vorliegende Erfindung beruht nun auf der überraschenden Erkenntnis, dass eine Flachspundbohle aus dem Standard-Lieferprogramm eines Herstellers mit einem sehr geringem Aufwand derart abgeändert werden kann, dass sie wesentlich besser für die Aufnahme von dynamischen Beanspruchungen geeignet ist.

40 Allgemeine Beschreibung der Erfindung

[0014] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass man in den Steg der Flachspundbohle eine Verjüngung einwalzt, die derart ausgelegt ist, dass in einem Zugversuch von zwei mittels ihrer Schlossleisten verbundenen Probestücken aus dieser Spundbohle, der Steg sich im Bereich dieser Verjüngung plastisch verformt, bevor es zu einem Versagen der Schlossverbindung kommen kann. Mit geringem Aufwand, nämlich dem einfachen Einwalzen einer Verjüngung in den Steg, was mit einem nur leicht abgeänderten Walzensatz für Flachspundbohlen des Standardprogramms, d.h. ohne große Investitionen in neue Walzgerüste, geschehen kann, lässt sich eine Spundbohle schaffen die, im Gegensatz zu bekannten Flachspundbohlen, in einer Spundwand ein ausgeprägtes plastisches Arbeitsvermögen aufweist. Durch dieses ausgeprägte plastische Arbeitsvermögen ist eine Spundwand mit erfindungsgemäßen Flachspundbohlen wesentlich besser für die Aufnahme von dynamischen Beanspruchungen geeignet und kann besonders vorteilhaft in Fangedämmen eingesetzt werden die z.B. folgenden Gefahren ausgesetzt sind: Rammen durch Schiffe, Aufprall von schwerem Treibgut bei Sturm- und Springfluten sowie Erdbeben. Die Stege der erfindungsgemäßen Spundbohlen in der Zellenwand können unter solchen Belastungen eine nicht unbedeutende Verformungsenergie aufnehmen, ohne dass es zum Aufbrechen einer Schlossverbindung kommt.

55 **[0015]** Um den gewünschten Effekt zu erzielen, soll der Steg vorzugsweise für eine nominelle Versagenslast ausgelegt sein, die weniger als 90% der gewährleisteten Mindestzugfestigkeit der Schlossleisten beträgt. In einem Zugversuch von zwei mittels ihrer Schlossleisten verbundenen Probestücken aus dieser Spundbohle soll dann für den Steg eine

plastische Verschiebungstrecke von mindestens 1% der Gesamtbreite der Spundbohle gemessen werden.

[0016] Die Verjüngung soll vorzugsweise symmetrisch zur Mittelachse des Steges ausgebildet sein, so dass sie zu beiden Schlossleisten einen gleichen Abstand aufweist. Sie bildet vorteilhaft einen zentralen Abschnitt mit einer Breite B und einer konstanten Dicke t aus, wobei t die Minimaldicke des Steges ist. Die Breite B beträgt vorzugsweise zwischen 5% und 80% der Gesamtbreite W des Steges. Gute Resultate werden normalerweise bereits mit einer Breite B zwischen 30 und 100 mm erreicht. Alternativ kann die Dicke der Verjüngung bis zur Mittelachse des Steges stetig abnehmen, und die Minimaldicke des Steges dann erst auf der Mittelachse des Steges erzielt werden.

[0017] Der Steg weist seine maximale Dicke vorteilhaft im Anschlussbereich der Schlossleisten auf. Er weist, z.B. vorteilhaft entlang jeder Schlossleiste einen Abschnitt mit einer Breite b_0 und einer konstanten Dicke t_0 auf, wobei t_0 die Maximaldicke des Steges ist. Normalerweise wird t_0 13 bis 14 mm betragen.

[0018] Die Verjüngung weist vorteilhaft eine konvexzylindrische Oberfläche mit einem Radius R_1 auf, an die sich zur Mittelachse des Steges hin eine konkavzylindrische Oberfläche mit einem Radius R_2 anschließt, wobei R_2 wesentlich größer als R_1 und um ein Vielfaches größer als die nominelle Breite der Spundbohle ist.

[0019] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung können der nachfolgenden Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung und den beiliegenden Zeichnungen entnommen werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0020] Die beiliegenden Zeichnungen zeigen eine bevorzugte, jedoch nicht ausschließliche Ausführungsform der Erfindung, wobei:

Fig. 1 ein Querschnitt durch drei verhakte Flachprofil-Stahlspundbohlen aus dem Standard-Lieferprogramm eines Herstellers ist;

Fig. 2 ein Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Flachprofil-Stahlspundbohle ist, wobei nur die linke Hälfte der Spundbohle gezeigt ist; und

Fig. 3 ein Diagramm ist, das Last-Verschiebungskurven für eine Standard-Flachspundbohle und für zwei erfindungsgemäße Flachspundbohlen wiedergibt.

Beschreibung einer Ausführung der Erfindung anhand der Zeichnungen

[0021] Die Fig. 1 zeigt warmgewalzte Flachprofil-Stahlspundbohlen $10'_1$, $10'_2$ und $10'_3$ wie sie seit Jahrzehnten von verschiedenen Herstellern angeboten werden. Eine solche Flachspundbohle $10'_1$ umfasst einen geraden Steg 12' und zwei symmetrische Schlossleisten $14'_1$, $16'_1$. Letztere sind vom Typ "Daumen/Finger" und begrenzen den Steg 12' an seinen beiden Längsseiten.

[0022] Die Abmessungen einer solchen Flachspundbohle werden grundsätzlich wie in Fig. 1 gezeigt definiert, wobei die nominelle Breite der Flachspundbohle $10'_1$ mit "L", die Breite ihres Steges mit "W" und die Dicke ihres Steges mit "t" bezeichnet ist. Flachspundbohlen aus den gängigen Lieferprogrammen der Hersteller haben z.B. eine nominelle Breite von 500 mm, eine Stegdicke von 11 bis 13 mm und eine Lieferlänge von über 30 m.

[0023] Wie aus Fig. 1 ersichtlich, sind die Flachspundbohlen $10'$ in einer Spundwand abwechselnd um 180° verdreht angeordnet und mit ihren Schlossleisten $14'$, $16'$ verhakt. Bei zwei verhakten Schlossleisten $14'_1$, $14'_2$, hintergreifen sich die beiden Daumen $18'_1$, $18'_2$ wobei die Finger $20'_1$, $20'_2$ den Daumen $18'_2$, $18'_1$ der gegenüberliegenden Schlossleiste jeweils umgreifen.

[0024] Solche Flachspundbohlen werden besonders zum Bau von Zellenfangedämmen ohne innere Verankerung eingesetzt. Je nach Form der Zellen unterscheidet man Kreis- oder Flachzellenfangedämme. In den U.S.A. gelangen ebenfalls sogenannte "offene Zellen" zur Ausführung. Hierbei werden die Flachspundbohlen in erster Linie in Richtung der horizontalen Zellausdehnung auf Zug beansprucht. Wie bereits Eingangs erwähnt, sind alle bekannten Flachspundbohlen so ausgelegt, dass es bis zum Erreichen der vom Hersteller gewährleisteten Mindestschlosszugfestigkeit, d.h. bis zum Versagen einer Schlossverbindung, zu keiner plastischen Verformung des Steges kommt.

[0025] Die Fig. 2 zeigt die linke Hälfte einer erfindungsgemäßen Flachspundbohle 10. Letztere umfasst, wie die bekannten Flachspundbohlen aus Fig. 1, ebenfalls einen wesentlich flachen Steg 12 und zwei symmetrische Schlossleisten vom Typ "Daumen/Finger", welche den Steg 12 an seinen beiden Längsseiten begrenzen. Das Bezugszeichen 22 bezeichnet die Mittelebene der Spundbohle 10, die gleichzeitig auch eine Symmetrieebene der Spundbohle 10 ist. Die Flachspundbohle 10 weist die gleiche Breite und die gleichen Schlossleisten wie die Flachspundbohlen $10'$ auf.

[0026] Im Gegensatz zu den vorbeschriebenen Standard-Flachspundbohlen $10'$ der Fig. 1, ist die Spundbohle 10 der Fig. 2 jedoch derart ausgelegt, dass die nominelle Versagenslast des Steges weniger als 90% der Mindestzugfestigkeit der Schlossleisten beträgt, so dass in einem Zugversuch von zwei mittels ihrer Schlossleisten 14 verbundenen Spund-

bohlen, der Steg sich plastisch verformt bevor die Schlossleisten 14 nachgeben können. Dies wird dadurch erzielt, dass in den Steg 12 eine zentrale Verjüngung 24 eingewalzt ist, so dass der Steg 12 sich im Bereich dieser Verjüngung 24 plastisch verformt, bevor es zu einem Versagen einer Schlossverbindung kommen kann.

5 Bemessungsbeispiel für die neue Spundbohle:

10 **[0027]** Die gezeigte Flachspundbohle wurde für eine Mindestschlosszugfestigkeit von $R = 6000 \text{ kN/m}$ ausgelegt. Um diese relativ hohe Mindestschlosszugfestigkeit zu erreichen, wurde eine Stahlgüte S 460 GP mit einer nominellen Streckgrenze $f_y = 460 \text{ MPa}$ und einer nominellen Versagensspannung von $f_u = 530 \text{ MPa}$ gewählt. Weiterhin wurde die Stegdicke t_0 im Anschlussbereich der Schlossleisten 14, im Vergleich zu einer Standard-Flachbohle mit der gleichen nominellen Breite, leicht erhöht.

[0028] Um sicherzustellen, dass der verjüngte Steg 12 sich plastisch verformt bevor die Schlossleisten 14 nachgeben, wurde die nominelle Versagenslast des Steges auf 85% der garantierten Schlosszugfestigkeit begrenzt. Hierdurch ergibt sich eine Stegdicke t im Bereich der Verjüngung 24 von:

15

$$t > (0,85 \cdot R) / f_u \Rightarrow t > 9,6 \text{ mm}$$

20 **[0029]** Gewählt wurde schließlich eine minimale Stegdicke t von 9,5 mm für die verjüngte Stegzone.

[0030] Diese Minimaldicke t ist in einem zentralen Stegabschnitt 24 mit einer Breite B konstant, wobei diese Breite B vorteilhaft mindestens 5% der Gesamtbreite W des Steges 12 ausmacht. Dieser zentrale Stegabschnitt 24 mit der Minimaldicke t nimmt, nach Überschreiten der Streckgrenze, die plastische Verformung des Steges auf. Je größer die Breite B , desto größer ist das plastische Arbeitsvermögen der Flachspundbohle, d.h. je mehr kann sich der Steg in der Breite ausdehnen, bevor er schlussendlich versagt. Damit man die leicht verdickten Schlossleisten 14 problemlos mit einem nur leicht abgeänderten Walzensatz walzen kann, sollten ausreichend breite Stegränder mit erhöhter Dicke t_0 übrig bleiben. Weiterhin ist in diesem Zusammenhang zu beachten, dass eine zu große Breite B auch zu Instabilitäten beim Eintreiben der Flachspundbohle führen kann. Zudem ist auch eine Begrenzung der plastischen Verformung wichtig, um Schäden an der Sekundärstruktur zu vermeiden. Ab einer definierten Verformung sollte die Flachspundbohle sich hierbei einer weiteren Lastaufnahme entziehen, um somit einen Umlagerungsvorgang einzuleiten. Aus diesen Gründen sollte die Breite B des zentralen Stegabschnitt 24 deshalb nicht zu groß und grundsätzlich nicht größer als 80% der Gesamtbreite W des Steges 12 sein. Erste Zugversuche haben auch bestätigt, dass bereits eine Breite B von zirka 30-60 mm für den zentralen Stegabschnitt 24 mit der Mindestdicke t , das plastische Arbeitsvermögen der Spundbohle 10 für viele Anwendungen ausreichend erhöhen dürfte. Eine wesentlich geringes plastisches Arbeitsvermögen wird mit einem Steg erzielt, dessen Dicke stetig bis zur Mittelachse 22 des Steges 12 abnimmt, so dass der Steg seine Minimaldicke t erst auf der Mittelachse des Steges erreicht (d.h. $B \approx 0$).

[0031] Im Übergangsbereich vom zentralen Stegabschnitt 24 mit der Minimaldicke t auf die verdickten Stegränder mit der Dicke t_0 , weist der Steg 12 vorteilhaft eine konvexzylindrische Oberfläche 26 mit einem Radius R_1 auf, an die sich zur Mittelachse des Steges hin eine konkavzylindrische Oberfläche 28 mit einem Radius R_2 anschließt. Der Radius R_2 ist hierbei wesentlich größer als der Radius R_1 und um ein Vielfaches größer als die nominelle Breite L der Spundbohle.

[0032] Man beachte, dass die Flachspundbohle 10 der Fig. 2 sich mit nur leichten Änderungen mit dem gleichen Walzgerüst walzen lässt, das für das Walzen der Standard-Profile mit konstanter Stegdicke eingesetzt wird. Hierzu braucht ein bestehendes Walzenpaar, mit dem normalerweise Flachspundbohlen des Standardprogramms gewalzt werden, nur leicht abgedreht zu werden, was sicherlich keine großen Investitionen erfordert.

45 **[0033]** Zwecks weiterer Erläuterung der typischen Eigenschaften der erfindungsgemäßen Flachspundbohlen, zeigt das Diagramm in Fig. 3 repräsentative Last-Verschiebungskurven für drei verschiedene Flachspundbohlen. Diese Kurven wurden in weggesteuerten Zugversuchen nach prEN 12048 aufgenommen. Die Testkandidaten unterschieden sich lediglich durch die Form des Steges und wiesen alle eine Stahlgüte S 460 GP mit einer nominellen Streckgrenze $f_y = 460 \text{ MPa}$ und einer nominellen Versagensspannung von $f_u = 530 \text{ MPa}$ auf.

50 **[0034]** Die Kurve 1 ist die Last-Verschiebungskurve für eine Verbindung von zwei Probestücken aus einer Standard-Flachspundbohle mit einer konstanten Stegdicke von 13 mm. Man stellt fest, dass diese Verbindung zwar eine Zugbelastung von mehr als 6000 kN/m erreicht, dass sie jedoch bereits bei einer Relativverschiebung von 5 mm anfängt instabil zu werden. Das Versagen der Verbindung erfolgt schlussendlich durch ein Aufreißen der Schlossverbindung.

55 **[0035]** Die Kurve 2 ist die Last-Verschiebungskurve für eine Verbindung von zwei Probestücken aus einer Flachspundbohle bei der die Dicke des Steges von einem Wert von 13,5 mm in Nachbarschaft der Schlossleisten, bis zur Mittelachse des Steges stetig abnimmt, und eine Minimaldicke des Steges von 9,5 mm auf der Mittelachse des Steges erzielt wird. Man stellt fest, dass diese Verbindung eine maximale Zugbelastung von 4500 kN/m erzielt, dass sie jedoch erst nach einer Relativverschiebung von mehr als 7 mm instabil wird. Dem Versagen der Verbindung geht hierbei eine

ausgeprägte plastische Verschiebungstrecke von zirka 5 mm voraus. Diese plastische Verschiebungstrecke beträgt somit zirka 1% der Gesamtbreite der Flachspundbohle 10.

[0036] Die Kurve 2 ist die Last-Verschiebungskurve für eine Verbindung von zwei Probestücken aus einer Flachspundbohle nach der Fig. 2, bei welcher $t_0 = 13,5$ mm, $t = 9,5$ mm und $B = 40$ mm. Auch diese Verbindung erzielt eine maximale Zugbelastung von 4500 kN/m. Dem Versagen der Verbindung geht jedoch eine plastische Verschiebung von fast 10 mm voraus, so dass sie Relativverschiebungen von fast 12 mm in Zugrichtung aufnehmen kann, ohne dass es Öffnen der Schlossverbindung kommt. Die plastische Verschiebungstrecke beträgt hierbei 2% der Gesamtbreite der Flachspundbohle 10.

[0037] Durch ihre große plastische Verformungskapazität eignen sich erfindungsgemäße Flachspundbohlen hervorragend für den Einsatz in Fangedämmen die von Schiffen gerammt werden können, die den Aufprall von Treibgut in Spring- und Sturmfluten aushalten sollen und/oder die in erdbebengefährdeten Gebieten errichtet werden sollen. Das Risiko des Aufreißens einer Schlossverbindung und somit das Risiko eines Auslaufens der Fangedammzelle ist mit den erfindungsgemäßen Flachspundbohlen wesentlich reduziert.

[0038] Besonders interessant sind diese neuen Flachspundbohlen deshalb, weil man sie auf einem bestehenden Walzengerüst mit einem leicht modifizierten Walzensatz herstellen kann. Die notwendige Investition ist somit vernachlässigbar gegenüber einer neuen Flachspundbohle mit konstanter Stegdicke und modifizierter Klauengeometrie.

Patentansprüche

1. Warmgewalzte Flachprofil-Stahlspundbohle umfassend einen geraden Steg (12), der auf jeder Längsseite jeweils durch eine Schlossleiste (14) begrenzt ist;
dadurch gekennzeichnet, dass der Steg (12) eine eingewalzte Verjüngung (24) aufweist, die derart ausgelegt ist, dass in einem Zugversuch von zwei mittels ihrer Schlossleisten (14) verbundenen Probestücken aus dieser Spundbohle, der Steg (12) sich im Bereich dieser Verjüngung (24) plastisch verformt bevor es zu einem Versagen der Schlossverbindung kommen kann.
2. Spundbohle nach Anspruch 1, wobei für die Schlossleisten (14) eine Mindestzugfestigkeit gewährleistet ist, und der Steg (12) eine nominelle Versagenslast aufweist, die weniger als 90% der Mindestzugfestigkeit der Schlossleisten (14) beträgt.
3. Spundbohle nach Anspruch 1 oder 2, wobei in einem Zugversuch von zwei mittels ihrer Schlossleisten (14) verbundenen Probestücken aus dieser Spundbohle für den Steg (12) eine plastische Verschiebungstrecke von mindestens 1% der Gesamtbreite einer Spundbohle gemessen wird.
4. Spundbohle nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Verjüngung (24) symmetrisch zur Mittelachse des Steges (12) ausgebildet ist.
5. Spundbohle nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Verjüngung (24) einen zentralen Abschnitt mit einer Breite B und einer konstanten Dicke t aufweist, und diese Dicke t die Minimaldicke des Steges (12) ist.
6. Spundbohle nach Anspruch 5, wobei der Steg (12) eine Gesamtbreite W aufweist und die Breite B des zentralen Abschnitts zwischen 5% und 80% der Gesamtbreite W des Steges (12) beträgt.
7. Spundbohle nach Anspruch 6, wobei die Breite B des zentralen Abschnitts einen Wert zwischen 30 und 100 mm aufweist.
8. Spundbohle nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Dicke der Verjüngung (24) bis zur Mittelachse (24) des Steges (12) stetig abnimmt, und die Minimaldicke des Steges (12) auf der Mittelachse des Steges (12) erzielt wird.
9. Spundbohle nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Steg (12) seine maximale Dicke im Anschlussbereich der Schlossleisten (14) aufweist.
10. Spundbohle nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Steg (12) entlang jeder Schlossleiste (14) einen Abschnitt mit einer Breite b_0 und einer konstanten Dicke t_0 aufweist, und diese konstante Dicke t_0 die Maximaldicke des Steges (12) ist.
11. Spundbohle nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Verjüngung (24) eine konvexzylindrische Oberfläche

mit einem Radius R_1 aufweist, an die sich zur Mittelachse (24) des Steges (12) hin eine konkavzylindrische Oberfläche mit einem Radius R_2 anschließt, wobei R_2 wesentlich größer als R_1 und um ein Vielfaches größer als die nominelle Breite L der Spundbohle ist.

- 5 **12.** Spundbohle nach einem der Ansprüche 1 bis 11, die derart ausgelegt ist, dass eine Mindestschlosszugfestigkeit von mindestens 5500 KN/m gewährleistet ist.
- 10 **13.** Spundbohle nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die Schlossleisten (14) symmetrische Schlösser vom Typ Daumen-Finger (18, 20) ausbilden.

Claims

- 15 **1.** Hot-rolled straight-web steel sheet pile, comprising a straight web (12) which is delimited on each longitudinal side respectively by an interlock strip (14);
characterized in that the web (12) has a rolled-in taper (24) which is designed in such a way that, in a tensile test of two samples from this sheet pile which are connected by means of their interlock strips (14), the web (12) is deformed plastically in the region of this taper (24) before a failure of the interlock connection can occur
- 20 **2.** Sheet pile according to Claim 1, wherein a minimum tensile strength is guaranteed for the interlock strips (14), and the web (12) has a nominal failure load which is less than 90% of the minimum tensile strength of the interlock strips (14)
- 25 **3.** Sheet pile according to Claim 1 or 2, wherein a tensile test of two samples from this sheet pile which are connected by means of their interlock strips (14), a plastic displacement distance of at least 1% of the overall width of a sheet pile is measured for the web (12)
- 30 **4.** Sheet pile according to one of Claims 1 to 3, wherein the taper (24) is designed symmetrically with respect to the centreline of the web (12)
- 35 **5.** Sheet pile according to one of Claims 1 to 4, wherein the taper (24) has a central portion with a width B and with a constant thickness t , and this thickness t is the minimum thickness of the web (12).
- 40 **6.** Sheet pile according to Claim 5, wherein the web (12) has an overall width W and the width B of the central portion amounting to between 5% and 80% of the overall width W of the web (12)
- 45 **7.** Sheet pile according to Claim 6, wherein the width B of the central portion has a value of between 30 and 100 mm
- 50 **8.** Sheet pile according to one of Claims 1 to 4, wherein the thickness of the taper (24) decreases continuously up to the center line (24) of the web (12), and the minimum thickness of the web (12) is achieved on the center line of the web (12)
- 55 **9.** Sheet pile according to one of Claims 1 to 8, wherein the web (12) has its maximum thickness in the connection region of the interlock strips (14)
- 10.** Sheet pile according to one of Claims 1 to 9, wherein the web (12) has along each interlock strip (14) a portion with a width b_0 and with a constant thickness t_0 , and this constant thickness t_0 is the maximum thickness of the web (12).
- 11.** Sheet pile according to one of Claims 1 to 10, wherein the taper (24) has a convexly cylindrical surface with a radius R_1 , to which adjoins, towards the center line (24) of the web (12), a concavely cylindrical surface with a radius R_2 , R_2 being substantially larger than R_1 and being many times larger than the nominal width L of the sheet pile
- 12.** Sheet pile according to one of Claims 1 to 11, which is designed in such a way that a minimum interlock tensile strength of at least 5500 KN/m is guaranteed
- 13.** Sheet pile according to one of Claims 1 to 12, wherein the interlock strips (14) form symmetrical interlocks of the "thumb and finger" type (18, 20).

Revendications

1. Palplanche en acier à profil plat laminée à chaud comprenant une âme (12), qui est délimitée sur chaque côté longitudinal respectivement par un rebord de serrure (14) ;
 5 **caractérisée en ce que** l'âme (12) présente un rétrécissement (24) créé par laminage, qui est conçu de telle sorte que, lors d'un essai de traction de deux échantillons de cette palplanche reliés au moyen de leurs rebords de serrure (14) l'âme (12) se déforme plastiquement dans la zone de ce rétrécissement (24) avant qu'il puisse se produire une défaillance de la liaison de serrure.
- 10 2. Palplanche selon la revendication 1, une résistance minimale à la traction étant garantie pour les rebords de serrure (14), et l'âme (12) présentant une charge de défaillance nominale, qui est inférieure à 90 % de la résistance minimale à la traction des rebords de serrure (14)
- 15 3. Palplanche selon la revendication 1 ou 2, un tronçon de déplacement plastique égal à au moins 1 % de la largeur globale d'une palplanche étant mesuré pour l'âme (12) dans un essai de traction de deux échantillons de cette palplanche reliés au moyen de leurs rebords de fermeture (14)
- 20 4. Palplanche selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, le rétrécissement (24) étant réalisé de façon symétrique par rapport à l'axe médian de l'âme (12)
5. Palplanche selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, le rétrécissement (24) présentant une partie centrale avec une largeur B et une épaisseur t constante, et cette épaisseur t étant l'épaisseur minimale de l'âme (12)
- 25 6. Palplanche selon la revendication 5, l'âme (12) présentant une largeur globale W et la largeur B de la partie centrale représentant entre 5 % et 80 % de la largeur globale W de l'âme (12)
7. Palplanche selon la revendication 6, la largeur B de la partie centrale présentant une valeur comprise entre 30 et 100 mm.
- 30 8. Palplanche selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, l'épaisseur du rétrécissement (24) diminuant constamment jusqu'à l'axe médian (24) de l'âme (12), et l'épaisseur minimale de l'âme (12) étant obtenue sur l'axe médian de l'âme (12)
- 35 9. Palplanche selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, l'âme (12) présentant son épaisseur maximale dans la zone de raccordement des rebords de serrure (14)
- 40 10. Palplanche selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, l'âme (12) présentant le long de chaque rebord de serrure (14) une partie avec une largeur b_0 et une épaisseur t_0 constante, et cette épaisseur t_0 constante étant l'épaisseur maximale de l'âme (12).
- 45 11. Palplanche selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, le rétrécissement (24) présentant une surface cylindrique convexe avec un rayon R_1 , à laquelle se raccorde une surface cylindrique concave avec un rayon R_2 en direction de l'axe médian (24) de l'âme (12), R_2 étant sensiblement supérieur à R_1 et plusieurs fois plus grand que la largeur L nominale de la palplanche.
12. Palplanche selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, qui est conçue de telle sorte qu'une résistance minimale à la traction de la serrure d'au moins 5500 KN/m est garantie
- 50 13. Palplanche selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, les rebords de serrure (14) formant des serrures symétriques du type pouce-doigt (« Thumb and Finger ») (18, 20)

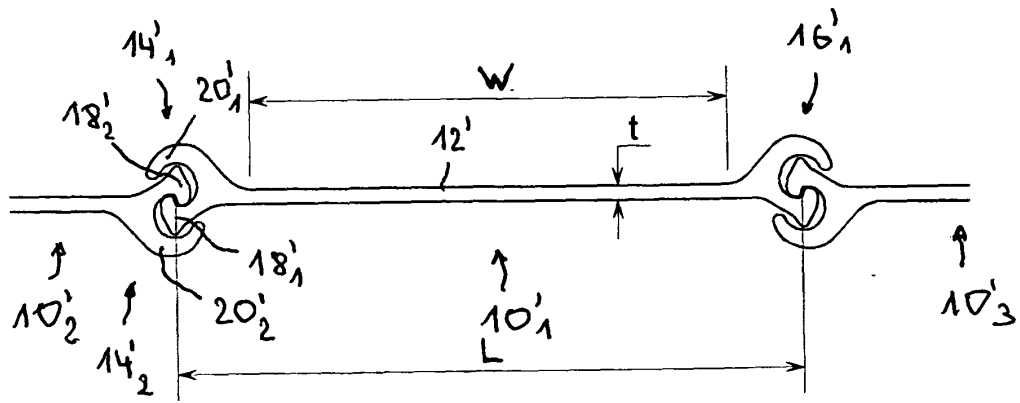


FIG. 1

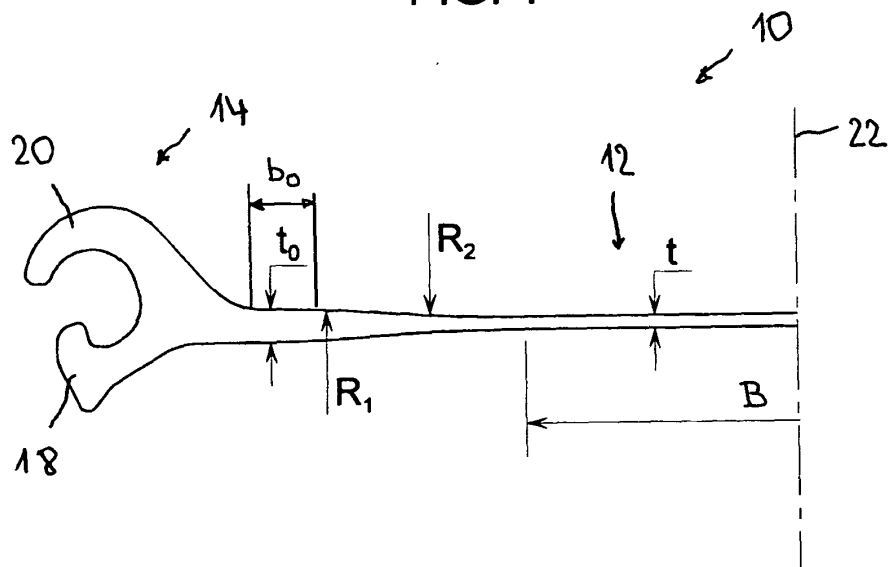


FIG. 2

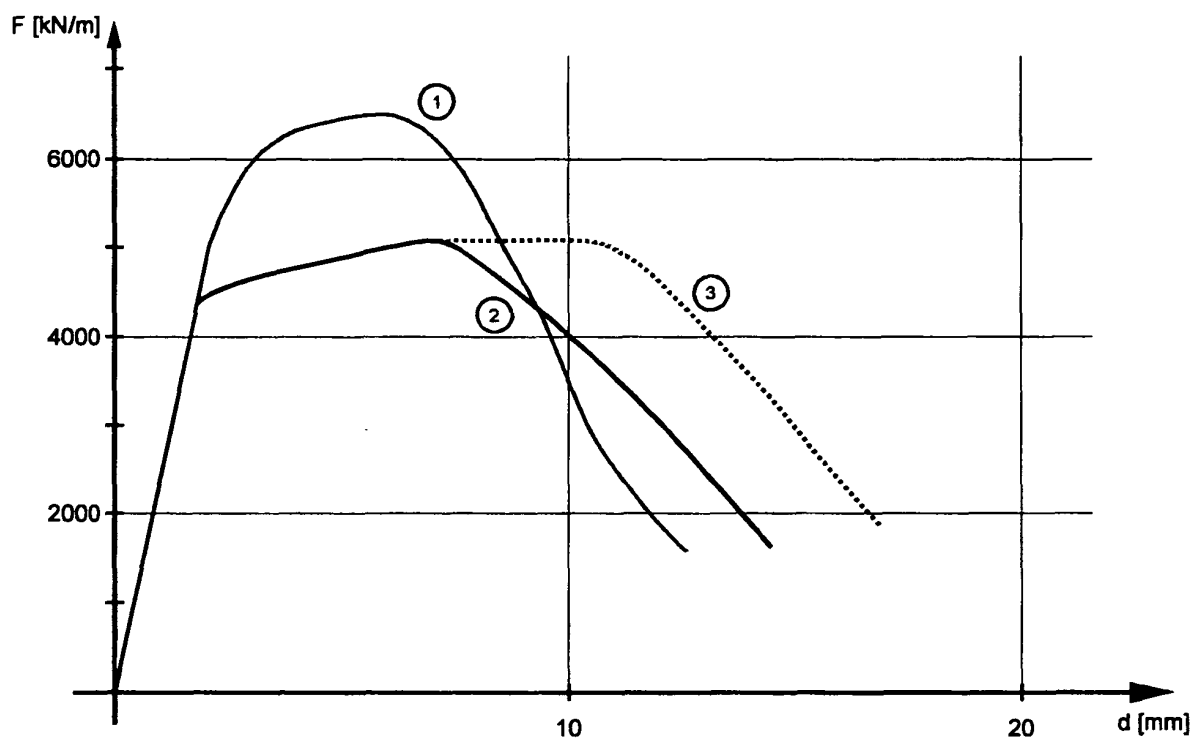


FIG. 3

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 6715964 B [0003]
- JP 55138511 B [0010]
- JP 56020227 B [0011]