

УДК 621.762.4.04

## Анализ видов металлургической порошковой проволоки

**М.В. Дзудза**

*В статье дан анализ существующих видов металлургической порошковой проволоки с момента ее создания по сегодняшний день. Рассмотрены конструкции профилей оболочки, их достоинства и недостатки. На основании проведенного анализа представлены критерии качества проволоки. Рассмотрена общая схема производства порошковой проволоки и основные отличия технологических линий, для примера приведена конструкция линии МГТУ им. Н.Э. Баумана.*

**Ключевые слова:** металлургическая порошковая проволока; конструкция; профиль; наполнитель; замок; зиг; гофр; критерии; технологическая линия.

*The article deals with the analysis of existing types of metallurgical cored wire from the time of its creation to the present day. The structures of the outer jacket profiles, their advantages and disadvantages are considered. The performance criteria of cored wire are given based on the carried out analysis. The general scheme of the cored wire production and main differences of production lines are shown, as an example, a construction of the Bauman MSTU production line is provided.*

**Keywords:** metallurgical cored wire; structure; profile; filler; seamed lock; swage, convolute, criteria, process line.

Металлургическая порошковая проволока — композитный материал, состоящий из металлической оболочки, заполненной порошковым реагентом. Идея применения порошковой проволоки заимствованы из сварочного производства, в котором она широко используется при сварке плавлением в целях рафинирования и легирования металла сварного шва. Для нужд сварочного производства были созданы первые прокатно-волочильные станы получения порошковой проволоки, а также разработаны устройства — сварочные головки для подачи проволоки в зону сварки.

Основоположниками применения порошковой проволоки в металлургии стала французская группа компаний «Валлурек», позже создавшая для этого направления фирму «Аффиваль». С конца 70-х гг. XX столетия они используют порошковую проволоку для раскисления жидкой стали [1].

В настоящее время обработка порошковой проволокой жидкой стали в разливочном ковше применяется на большинстве современных металлургических предприятий.

Производство порошковой проволоки осуществляется на технологических линиях методом прокатки и волочения по следующей схеме: подача металлической ленты с разматывателя в формовочный стан,



**ДЗУДЗА**  
**Максим Вадимович**  
аспирант кафедры  
«Оборудование и  
технологии прокатки»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

гибка ленты в желоб, его заполнение порошком, закрытие желоба, редуцирование, смотка готовой порошковой проволоки.

В зависимости от сложности профиля оболочки изменяется количество клеток линии, задействованных для операций гибки ленты и редуцирования проволоки. К принципиальным отличиям технологических линий относятся:

- метод получения порошковой проволоки: прокатка, волочение;
- вид загрузчика порошка: ленточный, барабанный, шнековый и др.;
- наличие предуплотнителя порошка: диск, вибрационное устройство;
- вид намотчика: катушка, барабан.

На рисунке 1 для примера представлена технологическая линия для производства порош-

ковой проволоки конструкции МГТУ им. Н.Э. Баумана. Данная линия способна выпускать порошковую проволоку с различными наполнителями и конструкцией оболочки. Номенклатура диаметров в зависимости от нужд заказчика 8...18 мм. При скорости работы 1 м/с она обеспечивает годовую производительность до 8 000 т.

С 1997 г. было поставлено восемь линий конструкции МГТУ им. Н.Э. Баумана на предприятия: ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат», ЗАО «Тенакс-инжиниринг», ОАО «Ключевский завод ферросплавов», ОАО «Северсталь», ОАО «ВМЗ Красный Октябрь». Линии хорошо зарекомендовали себя за все время их работы. Их общая мощность по выпуску порошковой проволоки со-

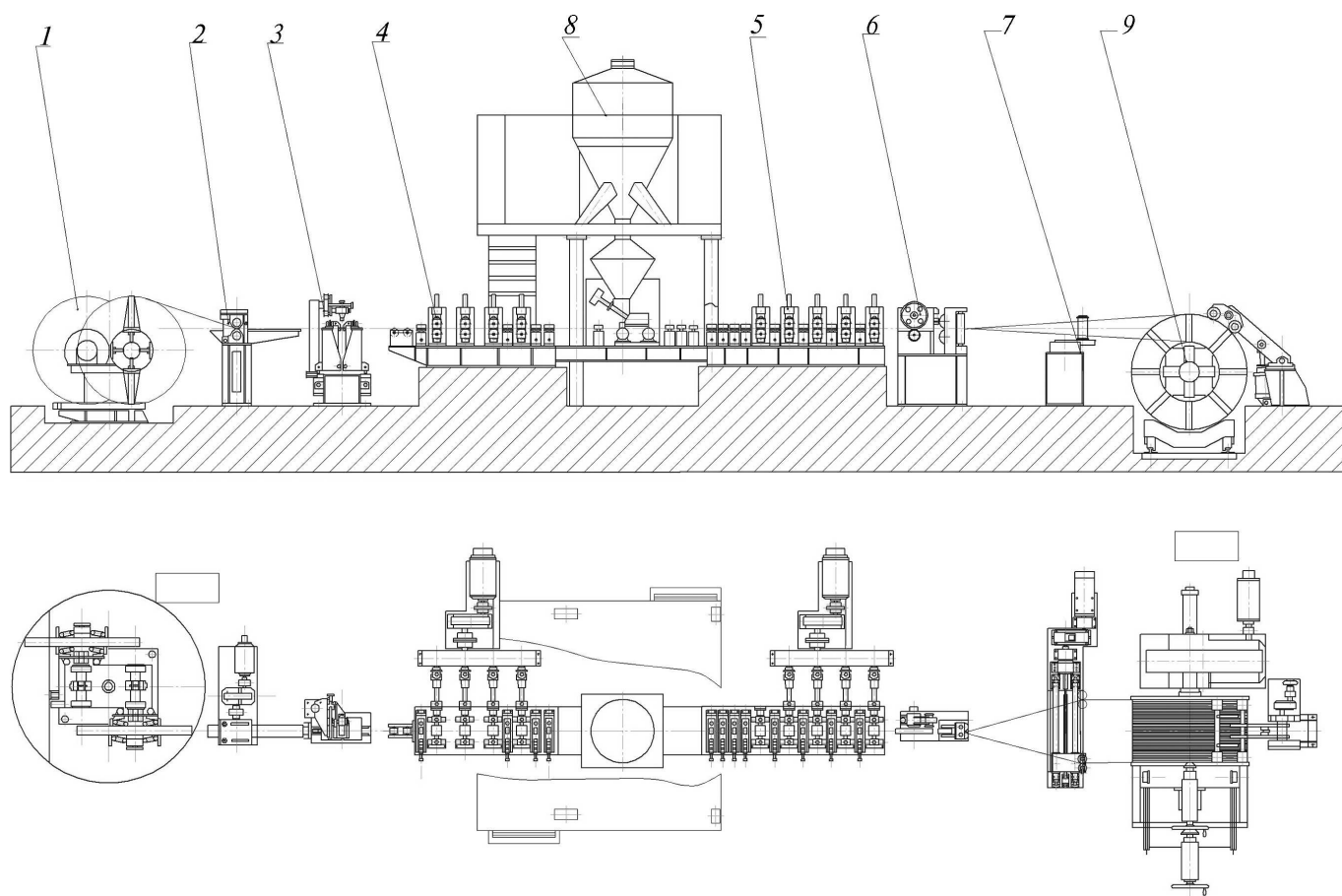


Рис. 1. Линия для производства порошковой проволоки конструкции МГТУ им. Н.Э. Баумана:

1 — двухпозиционный разматыватель; 2 — тянущие ролики; 3 — стыковочная машина; 4 — первая группа формовочных клеток; 5 — вторая группа формовочных клеток; 6 — измеритель длины; 7 — укладчик витков; 8 — загрузчик; 9 — намотчик

ставляет около 30% всей производимой в России порошковой проволоки [2].

Основными отличиями существующих металлургических порошковых проволок являются: состав наполнителя и профиль оболочки. В качестве наполнителя используются одно- и многокомпонентные порошковые материалы. Состав наполнителя проволоки зависит от назначения проволоки: раскисление, модифицирование, легирование, микролегирование, дегазация, десульфурация и др. В основном применяют прямоугольные и круглые профили оболочки, с различными видами замка и зига. На рисунке 2 представлены конструкции профилей поперечного сечения в хронологическом порядке их возникновения по мере опубликования в литературных источниках и патентной литературе.

Для внепечной обработки фирма «Аффиваль» предложила порошковую проволоку прямоугольного сечения с фальцевым замком (рис. 2, а). До закрытия замка порошок засыпается в U-образную оболочку, а после, проволока методом формовки приобретает профиль прямоугольного сечения [14]. Основным недостатком такой конструкции порошковой проволоки состоит в том, что ее можно применять только при динамической размотке с вращающейся катушки. Статическая размотка с бунта вызывает ее перекручивание и раскрытие замка.

Конструкция оболочки с соединением кромок внахлест представлена на рис. 2, б. Линия для производства порошковой проволоки данного типа устанавливается в непосредственной близости от места ее ввода в ковш, после обжатия готовая проволока по системе роликов поступает в расплав [15]. Такой способ упрощает технологическую линию, исчезает необходимость смотки-размотки проволоки. Одновременно появляются сложности контроля количества поступающего в ковш реагента, скорости ввода, подачи нескольких проволок с различными наполнителями. Вводимая про-

волока часто раскрывается, что вызывает высыпание реагента [2].

Интересный вариант порошковой проволоки (фирма «Hoogovens groep B.V.», Нидерланды) изображен на рис. 2, в. После засыпки реагента, кромки оболочки соединяются внахлест и полученная трубчатая заготовка подвергается прокатке, в ходе которой образовывается спиралевидная двухслойная оболочка. Далее заготовка нагревается до 650...750°C в индукторе и редуцируется в роликовой фильере с одновременным спеканием слоев оболочки между собой. На выходе получается герметичная порошковая проволока, стойкая к различным воздействиям внешней среды [16]. Однако такая проволока имеет ограниченное применение вследствие высокой металлоемкости и взрывоопасности большинства применяемых наполнителей.

Наиболее распространенной является «простая» проволока с горизонтальным фальцевым замком (рис. 2, д), известно множество запатентованных способов ее производства. Отличия состоят в основном в формовании U-образного профиля (высота стенок, отбортовка краев), способе закрытия фальцевого замка и редуцировании [6, 7]. К недостаткам относятся неравномерное распределение плотности наполнителя, ухудшение пластических свойств поверхности оболочки при обжатии и возможное раскрытие замка при подаче трайб-аппаратом в ковш.

Двухслойная порошковая проволока, когда минимум два порошковых сердечника соосно располагаются внутри наружной оболочки и разделены друг от друга внутренней оболочкой (рис. 2, е), также разработана фирмой «Аффиваль». Фальцевый замок здесь выполнен приподнятым, с образованием двух стопорящих порожков по бокам, которые препятствуют его раскрытию [18]. Аналогичный замок выполняется и на порошковой проволоке выпускаемой ОАО «Чепецкий механический завод» (рис. 2, ж) [3]. Недостатки этой проволоки —

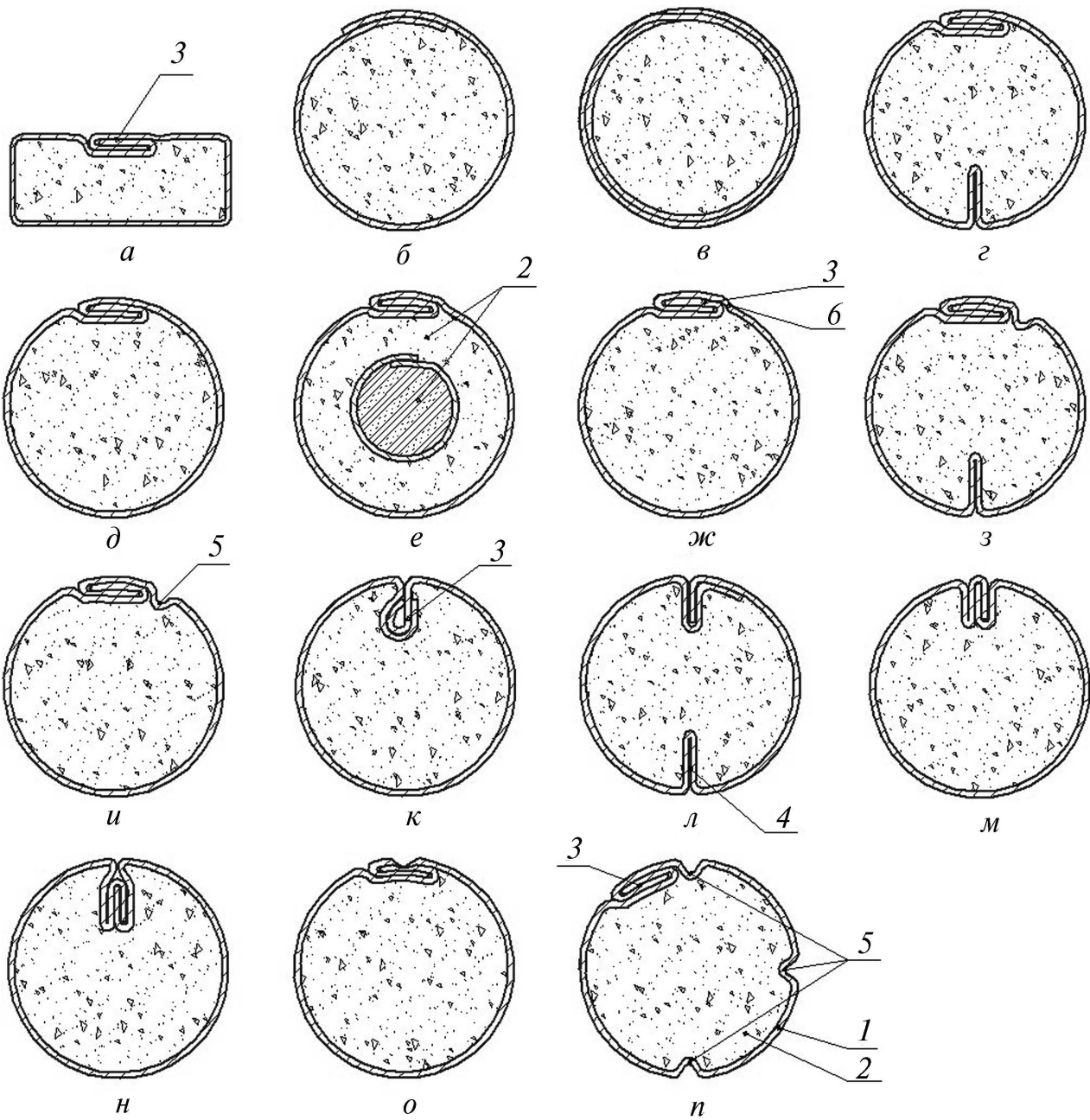


Рис. 2. Варианты формы поперечного сечения металлургической порошковой проволоки:

1 — металлическая оболочка; 2 — порошковый наполнитель; 3 — замок; 4 — зиг; 5 — гофр; 6 — стопорящий порожек

снижение пластических свойств оболочки при редуцировании.

Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработана порошковая проволока, которую отличают продольный зиг, диаметрально противоположный фальцевому замку, и небольшой внутренний гофр, препятствующий раскрытию замка (рис. 2, з) [4]. При разработке этой конструкции, авторы взяли за основу порошковую проволоку фирмы «Аффиваль»

(рис. 2, г). Продольный зиг формируется после закрытия замкового соединения, что позволяет повысить предварительную плотность наполнителя и уменьшить негативное влияние наклепа оболочки при дальнейшем редуцировании [17]. Такой же профиль получают и другим способом, когда зиг формируется на начальном этапе, а порошок засыпается в оболочку W-образной формы [5]. В этом случае повышается металлоемкость проволоки.

Для увеличения надежности замкового соединения используют фальц со стопорящим гофром. Украинская фирма «Универсальное оборудование» выпускает порошковую проволоку с использованием гофра с зигом и без зига (рис. 2, з, и).

Конструкцию порошковой проволоки, когда кромки ленты соединяются в вертикальный замок и утапливаются вглубь проволоки (рис. 2, к) предложила фирма «Металл». Такой способ соединения совмещает операции по формованию замка и уплотнению наполнителя, кроме того, сокращается количество формирующих клетей [8]. Однако качественное формирование замка затруднительно.

Еще одна конструкция проволоки (рис. 1, л), когда вертикальный замок и зиг внедрены внутрь профиля, разработана на ОАО «Череповецкий сталепрокатный завод». Это позволяет увеличить коэффициент заполнения и повысить эксплуатационные характеристики проволоки [9]. Конструкции такой проволоки присущ существенный недостаток — ненадежное закрытие профиля.

Авторами работы предложен и другой способ формования фальцевого замка (рис. 2, м) [10]. Кромки оболочки формируются в стоячий фальц, с образованием двух продольных гофров, расположенных симметрично. При последующем боковом обжатии гофры смыкаются, образуя замковое соединение в виде ребра внутри трубчатой оболочки. Позже, для увеличения коэффициента заполнения, этот способ был доработан (рис. 2, н). Отличие состояло в том, что стоячий фальцевый замок, полностью погружался вглубь проволоки [11]. Однако принцип обжатия замка и его недостатки остались неизменными.

В варианте порошковой проволоки, разработанном тульской фирмой «Вулкан-ТМ» [12], на фальцевом замке выполняют продольные локальные углубления (рис. 2, о). Это позволяет повысить надежность фиксации замка, предотвратив его раскрытие.

Повысить коэффициент заполнения, степень уплотнения наполнителя и надежность фальцевого замка порошковой проволоки,

уменьшив при этом отрицательное влияние наклепа оболочки удалось в техническом решении [13]. В разработке ОАО «ЭЗТМ» и МГТУ им. Н.Э. Баумана это предлагается сделать с помощью равномерно расположенных по периметру проволоки трех внутренних гофров, один из которых должен находиться в непосредственной близости фальцевому замку, и препятствовать его раскрытию (рис. 2, п). Гофры выполняются после закрытия фальцевого соединения, это позволяет не повышать металлоемкость изделия и снизить негативное влияние наклепа на оболочку.

С учетом всех достоинств и недостатков рассмотренных конструкций, в таблице сформулированы критерии, которым должна соответствовать качественная металлургическая порошковая проволока:

Таблица

Критерии качества металлургической порошковой проволоки

Критерий	Назначение
Круглая форма	Для универсального использования при динамической и статической размотке
Равномерность уплотнения наполнителя в оболочке	Для прецизионной обработки расплава и сохранения первоначальных свойств проволоки после транспортировки, хранения и подачи в ковш трайб-аппаратом
Оптимальная пластичность оболочки	Для обеспечения гарантии порошковой проволоки от разрыва при смотке-размотке бунта и подаче в ковш
Надежность фальцевого замка	Для устойчивости от раскрытия при перекручивании и обеспечения герметичного соединения кромок оболочки
Наличие продольных углублений в виде зигов или гофров	Для обеспечения дополнительной жесткости конструкции и придания большей плотности наполнителя

Анализ рассмотренных конструкций показывает, что в наибольшей степени отвечает критериям качества порошковая проволока, предложенная ИЭС им. Е. О. Патона (рис. 2, з) и ОАО «ЭЗТМ» — МГТУ им. Н.Э. Баумана (рис. 2, н).

## Литература

1. Обработка стали кальцием: Материалы Международного симпозиума по обработке стали кальцием / Пер. с англ. под ред. и с предисловием Б.И. Медовара. Киев: ИЭС им. Е.О. Патона АН УССР, 1989. 216 с.

2. Дюдкин Д.А. Прецизионная обработка Metallургических расплавов / Д.А. Дюдкин, В.В. Киселенко, И.А. Павлюченков, В.Ю. Бологов // М.: Теплотехник, 2007. 424 с.
3. Чураков С.В. Порошковая проволока: конструкция и технология производства / С.В. Чураков // Заготовительные производства в машиностроении. 2003. № 5. С. 41–45.
4. А.С.1754382 СССР. Способ изготовления порошковой проволоки/ И.К. Походня и др. (СССР); заявл. 26.07.90; опубл. 15.08.92. 3 с.
5. Пат. 1794099 СССР. Способ изготовления порошковой проволоки в металлической оболочке/ Л.А. Позняк и др., Институт проблем материаловедения АН УССР; заявл. 16.04.1991; опубл. 07.02. 1993. 5 с.
6. Пат. 2086380 РФ. Способ изготовления порошковой проволоки для внепечной обработки стали и технологическая линия для его осуществления/ В.Д. Есипов и др.; ОАО «Череповецкий сталепрокатный завод»; заявл. 25.07.1995; опубл. 10.08. 1997. 6 с.
7. Пат. 2179103 РФ. Линия для производства порошковой проволоки в металлической оболочке / Г.П. Аксенов и др.; ОАО «Чепецкий механический завод»; заявл. 28.02.2000; опубл. 10.02.2002. 7 с.
8. Пат. 2095215 РФ. Способ изготовления порошковой проволоки / Писаренко Ф. А. и др.; фирма «Металл»; заявл. 07.09.1992; опубл. 10.11.1997. 4 с.
9. Пат. 2103136 РФ. Способ изготовления порошковой проволоки / В.Д. Есипов и др.; ОАО «Череповецкий сталепрокатный завод»; заявл. 04.09.1996; опубл. 27.01.1998. 6 с.
10. Пат. 2103137 РФ. Способ изготовления порошковой проволоки / В.Д. Есипов и др.; ОАО «Череповецкий сталепрокатный завод»; заявл. 03.12.1996; опубл. 27.01.1998. 8 с.
11. Пат. 2224632 РФ. Способ изготовления порошковой проволоки с фальцевым швом/ В.Д. Есипов; ОАО «Череповецкий сталепрокатный завод»; заявл. 25.03.2002; опубл. 27.02.2004. 7 с.
12. Пат. 40716 РФ. Порошковая проволока/ В.И. Золотухин и др.; ООО «НПП “Вулкан-ТМ”»; заявл. 11.05.2004; опубл. 27.09.2004. 11с.
13. Пат. 2292254 РФ. Способ изготовления порошковой проволоки в металлической оболочке с фальцевым швом/ В.Н. Баранов и др., ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения»; заявл. 28.03.2005; опубл. 27.01.2007. 7 с.
14. European Patent № 0034994A1. Method and apparatus for the efficiency of the deoxidation desulphurization and purification of steel in the pouring ladle / F. Morival; Vallourec; filing 25.02.1981; publication 02.09.1981. 16 p.
15. European Patent № 0187997A1. Process for the automatic forming of continuous metal tube filled with powdered materials, its direct introduction into liquid metal, and related equipment / L. Ferrari; Kinglor; filing 23.12.1985; publication 23.07.1986. 6 p.
16. European Patent № 0234623B1. Powder filled tube and a method for the continuous manufacture of such tube/ de J. Zeeuw; Hoogovens groep B.V.; filing 02.02.1987; publication 02.09.1987. 8 p.
17. European Patent № 0236246A1. Mixed product in a tubular envelope containing a compacted material for treatment of liquid metals and process for its production/Douchy M./; Vallourec; filing 23.02.1987; publication 09.09.1987. 13 p.
18. European Patent № 0281485A1. Composite product in a tubular envelope for treating molten-metal baths/ Douchy M.; Affival; filing 03.02.1988; publication 07.09.1988. 7 p.

Статья поступила в редакцию 28.03.2011 г.