

## Практические рекомендации по организации производства металлической ленты из расплава

В статье дано разъяснение термина «быстрозакаленные сплавы», указан их сортамент и области применения. Показано, что наиболее распространенным сортаментом этих материалов является лента толщиной 20-100 мкм, получаемая способом одновалковой разливки. Рассмотрены технологии ее получения, которые различаются массой разливаемого металла за один цикл. Приведено описание соответствующих установок. Организация производства быстрозакаленной ленты требует определенного опыта и уровня знаний, поскольку содержит ряд «ноу-хау». Предложен оптимальный подход к организации такого производства и его примерная структура. Описаны необходимые технические и организационные мероприятия на основных этапах производства. Показано, что технология получения ленты из расплава является новой металлургической наукоемкой, энергосберегающей и перспективной технологией, которая позволяет производить конкурентную на мировом рынке продукцию широкого сортамента. Создание такого производства повлечет за собой создание соответствующей инфраструктуры с новыми рабочими местами. Кроме этого, наличие такого перспективного производства поднимает престиж государства и отвечает плану его стратегического развития.

**Ключевые слова:** быстрозакаленные сплавы, лента, расплав, одновалковая разливка, сортамент, энергосберегающая технология.

Промышленные технологии закалки расплава со скоростями охлаждения до  $\sim 10^4$ - $10^6$  К/с обеспечили получение нового класса металлургических материалов широкого сортамента для практического применения. Их называют «быстрозакаленными сплавами» и делят по своему структурному состоянию на три большие группы:

- аморфные металлические сплавы;
- нанокристаллические сплавы;
- микрокристаллические сплавы.

Такое разделение обусловлено размерами элементов структуры: в первом случае кристаллическая решетка отсутствует, и имеет место хаотическое расположение атомов; во втором – размер структурных элементов (зерен) – нанометры; в третьем – микроны и меньше.

Уникальное сочетание физических, механических и других свойств этих сплавов, благодаря их структурному состоянию, недостижимо известными металлургическими методами. Поэтому число композиций аморфных, нано- и микрокристаллических сплавов постоянно растет, а в некоторых традиционных кристаллических сплавах после закалки расплава получают новые свойства. Растет и практическое применение этих сплавов в различных областях техники [1-4], а география промышленного производства расширяется.

Такое производство различается по своей структуре и параметрам в зависимости от получаемого сортамента [5-9], который зависит от типа оборудования и технологии закалки расплава. Сортамент быстрозакаленных сплавов: лента (20-100 мкм толщиной), полоса (от 100 до  $\sim 300$  мкм толщиной), волокно, проволока и порошок. Это определяет область их применения, тип оборудования и технологию производства. Каждый сортамент может быть конечным продуктом или полуфабрикатом для дальнейшего передела.

Получение ленты или листа непосредственно из расплава с высокой скоростью (минуя многие переделы: ковку, горячую и холодную прокатку с многочисленными промежуточными отжигами) является энерго- и ресурсосберегающей технологией, наукоемкой и конкурентоспособной на мировом рынке. Наиболее распространено производство ленты одновалковой разливкой [6], так как позволяет получать сплавы всех трех групп для различных применений [9] (рис. 1). При очевидной перспективности и кажущейся простоте технологии, такое производство требует определенного опыта и уровня знаний, так как содержит ряд «ноу-хау» и некоторые неочевидные особенности.

Поэтому *цель данной работы* – показать наиболее рациональный подход и необходимые мероприятия для организации данного производства.

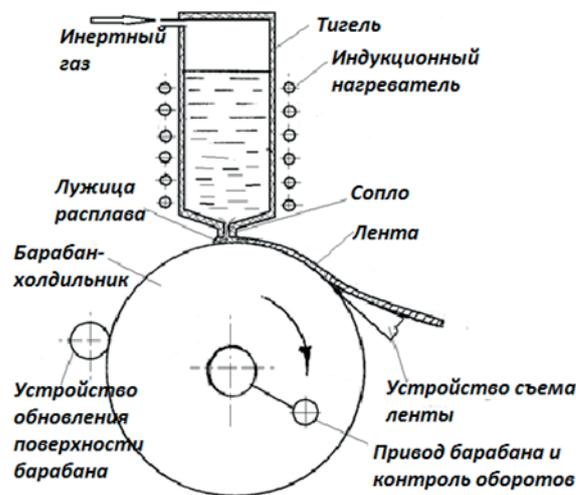


Рис. 1. Принципиальная схема получения быстрозакаленных лент

Его можно организовать практически в любом промышленном населенном пункте с относительно развитой инфраструктурой и энергетическими коммуникациями (электроснабжение, вода, сжатый воздух и т. п.). Оптимально наличие какого-нибудь металлургического или машиностроительного предприятия, что упростит подбор и подготовку технического персонала.

Самое первое и сложное – определить область применения производимой ленты и необходимые объемы производства. От правильного подхода к этому зависит многое: химический состав шихтовых материалов, выплавка исходной заготовки, конструкция и количество установок непосредственно для получения ленты, геометрия и качество самой ленты, тип и состав расходной керамики, ее поставщиков, способ утилизации брака и т. п. Необходимо знать насыщенность рынка аналогичной продукцией и потенциальных конкурентов. Но, часто доскональное знание и понимание технических нюансов технологии производства не дополняется знаниями рынка (и наоборот). В этом случае потенциальному инвестору сложно доказать выгоду от вложения средств, так как большинство из них не разбирается в технических тонкостях производства. Здесь нужно учесть, что многие области применения быстрозакаленных сплавов еще серьезно не прорабатывались. Например: биохимия, строительство, медицина, автомобилестроение, инструментальное производство, авиа- и судостроение и даже сельское хозяйство. В этом случае целесообразно подойти к организации производства, используя некую «универсальность», то есть иметь возможность оперативно менять состав, геометрию и объем производства ленты. Такой подход дает возможность производить ленту для новых применений, которые могут появиться в перспективе. Также следует учесть, что такое оборудование серийно не производится, а стоимость одной установки на мировом рынке составляет от 50 тысяч до 3 млн. долл. (в зависимости от объема разлива за цикл). Себестоимость ее создания с производительностью ленты 10-15 т/год в условиях Украины не будет выходить за 20-30 тыс. долл. Таким образом, инвестиции в организацию производства аморфной или нанокристаллической ленты из расплава можно рассматривать как беспроигрышный вариант. В случае проблем с рынком ленты (что маловероятно) – можно продать установку с технологией и «ноу-хау», возместив затраты на ее создание, или же с получением прибыли.

Следует также учитывать, что данная технология позволяет получать ленту из сплавов, которые не переходят в аморфное или нанокристаллическое состояние при закалке расплава, а остаются кристаллическими с очень мелким зерном (микроструктурные сплавы) [10]. В таком состоянии они проявляют уникальные свойства, недостижимые другими обработками [10]. Их практическое применение ожидается в ближайшей перспективе. В первую очередь это касается прецизионных сплавов, то есть сплавов с особыми физическими свойствами.

На сегодняшний день цена аморфных лент из сплавов на основе Fe, Ni, Co и других элементов со-

ставляет 40-100 долл./кг при производительности 1-1,5 кг/мин [9]. Даже при 10 % прибыли годовое производство 10-15 тонн за год окупит создание установки.

Одна установка по получению ленты из расплава с указанной годовой производительностью потребует ряда вспомогательных участков: выплавки исходной заготовки, подготовки и контроля тиглей и разливочных сопел, механического участка и некоторых других (в зависимости от основного направления производства). Пример структуры такого производства показан на рис. 2. Штат сотрудников, необходимых для нормального функционирования производства, составит 10-20 специалистов.



**Рис. 2.** Примерный план производства и размещения оборудования: 1 – печь для выплавки исходной заготовки; 2 – ВЧ-генератор (плавильный узел); участок входящих шихтовых материалов; 3 – установка по получению ленты; 4 – смотка (перемотка) ленты в рулоны; L – необходимое свободное расстояние (6-10 м)

Как и любое металлургическое производство, получение быстрозакаленной ленты должно начинаться с приобретения шихты и выплавки исходной заготовки. Этот элемент производства на сегодняшний день далек от оптимизации в экономическом аспекте. Обусловлено это тем, что первоначально процесс получения ленты из расплава сосредоточился на производстве аморфных сплавов. Они предназначались для применения в электротехнике благодаря уникальным магнитным свойствам [11]. При этом к чистоте шихтовых материалов предъявлялись очень высокие требования [12], что значительно повышало стоимость выплавляемой заготовки, а затем и ленты. В более поздних работах начали использовать более дешевые материалы [13], а также отходы некоторых металлургических производств [14]. Поэтому удешевление исходной заготовки до сих пор остается актуальной проблемой, учитывая появление новых областей применения аморфных, нано- и микроструктурных сплавов. На стоимость исходной заготовки будет влиять также технология плавки, тип оборудования и объем плавки. Пока, по данным разных производителей, исходная заготовка составляет ~40-60 % себестоимости 1 кг ленты при ее выплавке в вакууме [12-13]. Но есть и другие подходы [15-19] к выплавке заготовки, которые дают нужный результат в свойствах ленты. Нужно только выбрать оптимальный способ или поставщика.

Следующий шаг – обеспечение расходной керамикой для выплавки исходной заготовки (тигли) и

непосредственно для разливки ленты (сопла). Элементы тигля и сопла (рис. 1) должны быть стойкими к разливаемым сплавам, выдерживать термоудар, обладать минимальным коэффициентом теплового расширения (особенно сопло) и иметь определенную гидравлическую геометрию. Керамика для выплавки исходной заготовки не является проблемой, так как к ней не предъявляются специальные требования (кроме стойкости к используемым сплавам). Требования к материалу непосредственно разливочного сопла более специфичны и зависят от типа установки (от массы разливаемого металла). Например, схема установки на рис. 1 представляет собой хорошо освоенный вариант лабораторных установок с объемом разливаемого металла 0,5-2 кг/цикл. Их в специальной литературе [5] называют «ампульной технологией». Такой термин обусловлен тем, что тигель и сопло в такой установке – одно целое, то есть ампула. Требования к такой «ампуле» включают весь комплекс перечисленных выше свойств. Для разлики за цикл 20-50 кг и более в установке тигель и сопло – две разные детали, и могут быть изготовлены из разных керамик. Этот тип оборудования назвали «крупнотоннажным производством» [5].

Керамика обоих типов для «ампульной технологии» и «крупнотоннажного производства» должна стабильно поставляться специализированными предприятиями. Ее состав, геометрия и свойства будут зависеть от состава и объема расплава, разливаемого за один цикл, а также ширины и толщины получаемой ленты.

«Ампульная технология» (рис. 1) получила право на существование благодаря своей мобильности в переходе на новые составы сплавов и меньшему количеству обслуживающего персонала. Максимальная ширина ленты, получаемая на установках такого типа, – 20-40 мм. Но это не является ограничительным фактором производства, так как такой сортament ленты находит применение (учитывая тенденцию к миниатюризации приборов) в большинстве электротехнических устройств. В таком оборудовании зазор «сопло-барабан» устанавливается перед разливкой на нужную величину и сохраняется в процессе подачи расплава на барабан. Указанный выше интервал ширины ленты получается за 1-2 минуты. При этой схеме производства к материалу сопла дополнительно предъявляется требование минимального коэффициента температурного расширения. Ему отвечает кварцевая керамика [20] (оптический кварц или шликерный). Однако такая керамика имеет существенный недостаток – относительно невысокую теплостойкость [20]. Возможно применение и более тугоплавких керамик [21], причем с более высокой химической стойкостью по отношению к разливаемым сплавам на основе Fe, Ni и других черных металлов. Но у этих керамик более высокий коэффициент термического расширения, и поэтому предварительная установка зазора «сопло-барабан» становится невозможной. В таком случае необходимо дистанционное управление и контроль зазора перед началом разлики. В «крупнотоннажном производстве» контроль зазора регулируется в процессе всего цикла разлики.

Главный этап организации производства – сама установка. Она состоит из следующих элементов: плавильного, разливочного и охлаждающего узлов, системы подачи инертного газа, контрольно-измерительной аппаратуры и различных дополнительных приспособлений. Часть ее элементов приобретается в готовом виде, а часть – изготавливается самостоятельно. При этом оба мероприятия можно проводить параллельно после уяснения объема производства и сортамента ленты.

Основными готовыми узлами («покупными») являются ВЧ-генератор и привод барабана-холодильника. Мощность, тип и конструкция этих агрегатов зависит от объема производства и сортамента ленты. Покупными являются также контрольно-измерительная аппаратура, баллоны с инертным газом, расходная керамика (сопла), подшипники и прочие «мелочи».

Конструкция барабана-холодильника зависит от объема разливаемого металла и ширины получаемой ленты [22]. Для «ампульной технологии» он может быть неводоохлаждаемым [22], что значительно упрощает его изготовление и эксплуатацию. Это – охлаждающий узел. Для «крупнотоннажного производства» [5] он принудительно охлаждается (например, водой) и снабжен устройством обновления поверхности в процессе разлики. Тигель-сопло («ампула») совмещает в себе функции плавильного и разливочного узлов.

Особое требование при изготовлении барабана – минимизация биения его рабочей цилиндрической части, которое не должно превышать  $\pm 5$  мкм при работе установки. Это условие достигается подбором подшипников на валу барабана, а их характеристики в плане радиального биения зависят, в свою очередь, от массы барабана. Поэтому следует сохранить его минимально возможную массу при максимально возможном диаметре, учитывая ограничения по биению. Увеличение диаметра дает возможность вращать барабан с малой угловой скоростью при сохранении высокой линейной. Именно высокая угловая скорость является причиной возникновения высокочастотной вибрации (следовательно, и биения), которая отрицательно влияет на геометрию ленты. Кроме того, большой диаметр барабана (500 мм и более) позволяет увеличить объем разливаемого за цикл металла, что увеличивает производительность установки и срок службы барабана до обновления его рабочей поверхности. Привод барабана и взаимное его расположение относительно приводного двигателя также должны минимизировать возможную вибрацию.

Не менее важную роль в плане качества геометрии получаемой ленты играет механизм крепления и перемещения сопла относительно поверхности барабана. Этот механизм обеспечивает точную юстировку сопла, удовлетворяющую гидродинамическим параметрам разлики, что и определяет качество ленты. Как и барабан-холодильник, этот механизм изготавливается самостоятельно. Причем его конструкция может быть разной, главное – соблюдение указанных требований.

Устройство обновления рабочей поверхности барабана также изготавливается самостоятельно. Оно

должно обеспечить ее токарную обработку (чаще после аварийных ситуаций) и шлифовку на заданную шероховатость.

Контроль температуры, давления на расплав в тигле в процессе разлива и скорости вращения барабана являются самостоятельными задачами, которые решаются исходя из конкретных условий размещения установки. Для этих систем обычно используют стандартные устройства и приборы.

Все производство быстрозакаленной ленты не может эффективно функционировать без ряда вспомогательных участков (рис. 2). Например, участок выплавки исходной заготовки необходимо оснастить соответствующей печью и изложницами. Участок контроля и подготовки сопел снабжается измерительными приборами или приспособлениями и станками для шлифовки и доводки этих сопел. Для утилизации брака надо иметь печь для отжига и размолочный агрегат.

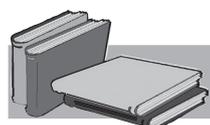
Такое производство представляет собой замкнутый и безотходный цикл, на входе которого шихта и

расходная керамика, а на выходе – лента, волокно или порошок широкого диапазона композиций и применений. В экологическом аспекте такое производство не дает каких-либо вредных выбросов в атмосферу, так как выплавка заготовки и получение ленты происходит в вакууме и защитной атмосфере.

В заключение следует отметить следующее.

Технология получения ленты из расплава является новой металлургической наукоемкой, энергосберегающей и перспективной технологией. Она позволяет производить конкурентную на мировом рынке продукцию широкого сортамента.

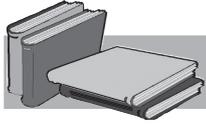
Поле деятельности огромное, а организация такого производства повлечет за собой создание соответствующей инфраструктуры (как после открытия полупроводников или вокруг космических программ). Это новые рабочие места, престиж государства и его независимость, что отвечает плану стратегического развития не только Украины, но и любого другого государства.



## ЛИТЕРАТУРА

1. *Сребрянский Г. А., Стовпченко А. П.* Новый подход к получению порошковых материалов // *Materialy V Międzynarodowej Sesji Naukowej "Nowe Technologie i Osiągnięcia w Metalurgii, Inżynierii Materiałowej"*, (Польша), Politechnika Częstochowska, Wydawnictwo Wipmifs, 2004. – P. 618–621.
2. *Рахманов С. Р., Сребрянский Г. А.* Некоторые перспективы повышения износостойкости трубопрессового инструмента // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2011. – № 4. – С. 97–100.
3. *Сребрянский Г. А., Стовпченко А. П.* Аморфные сплавы – перспективный материал для использования в железнодорожном транспорте // *LXVI Международная научно-практическая конференция. Тезисы докладов*. – Днепропетровск, 2006. – С. 374–375.
4. *Стародубцев Ю. Н., Белозеров В. Я.* Аморфные металлические материалы // *Силовая электроника*. – 2009. – № 2. – С. 86–89.
5. *Чернов В. С., Иванов О. Г., Евтеев А. С.* Основные условия стабильности технологии производства мерных лент из аморфных сплавов // *Сталь*. – 2001. – № 4. – С. 67–69.
6. *Liebertmann H. H.* Manufacture of amorphous alloy ribbons // *IEEE Trans. On Magn.* – 1979. – V. 5. – № 6. – P. 1393–1397.
7. *Pavuna D.* Production of metallic glass ribbons by the chill-black melt-spinning technique in stabilized laboratory conditions // *J. Mater. Sci.* – 1981. – № 16. – P. 2419–2433.
8. *Das S. K., Davis L. A.* High Performance Aerospace Alloys via Rapid Solidification Processing // *Mat. Sci. Eng.* – 1988. – № 98. – P. 1–12.
9. U. S. Pat. № 6749700, МПК7 С 22 С 45/00. Method for producing amorphous alloy ribbon and method for production nanocrystalline alloy ribbon with same / Sunakawa J., Bizen Y., June 15, 2004.
10. *Селиванов М. В., Давыдова Н. М.* Микроструктурные сплавы за рубежом // В сб. «Черная металлургия». – 1988. – № 1. – С. 27–43.
11. *Стародубцев Ю. Н., Белозеров В. Я.* Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов. – Екатеринбург: Изд-во УрГУ, 2002. – 380 с.
12. *Данилова И. И., Маркин В. В., Смолякова О. В., Рошин В. Е., Ильин С. И., Гойхенберг Ю. Н.* Производство аморфной и нанокристаллической ленты методом литья на одновалковой МНЛЗ // *Вестник ЮУрГУ*. – 2008. – № 9. – С. 16–21.
13. *Гуныкин В. Е.* Металлургические особенности подготовки аморфизирующихся сплавов для получения аморфной ленты: Автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.16.02 «Металлургия черных металлов» / В. Е. Гуныкин. – Челябинск, 1991. – 25 с.
14. Пат. KZ (B) (11) 2031, С22С45/02, Республика Казахстан. Шихта для получения аморфных магнитомягких сплавов / Левинтов Б. Л., Башаева Л. А., Ковнеристый Ю. К. и др.: опубл. 15.06.95, бюл. № 2.
15. Пат. № 2383652 Российская Федерация, МПК С22С 45/04, С22С 19/07. Тонкая лента, выполненная из аморфного термомагнитного материала / Маркин В. В., Данилова И. И.: опубл. 10.03.2010, бюл. № 7.
16. Заявка Франции, № 2587038, С22С 33/06, Н01F 1/04, 1987. Способ получения сплавов ферробора, в основном, для производства аморфных магнитных сплавов.
17. Пат. № 2418091 Российская Федерация, С22С 45/04, С22С 19/05. Аморфный, износостойкий наноструктурированный сплав на основе никеля системы Ni-Cr-Mo-WC / Фармаковский Б. В., Васильев А. Ф., Герашенков Д. А. и др.: опубл. 10.05.2011, бюл. № 13.
18. Пат. № 2260070 Российская Федерация, С 22 С 33/04, 45/02, 45/04. Способ получения слитков исходного сплава для получения аморфных лент / Пономарев В. А., Иванов О. Г., Чернов В. С. и др.: опубл. 10.09.2005, бюл. № 25.

19. Пат. № 1638177 СССР, МКИ С21С 7/00, С22В 8/10. Способ производства слитков / Калашников А. И., Тен Э. Б., Киманов Б. М. и др.: опубл. 30.01.91, бюл. № 12.
20. Пивинский Ю. Е., Ромашин А. Г. Кварцевая керамика. – М.: «Металлургия», 1974. – 264 с.
21. Верховлюк А. М., Беспалый А. А. Смачивание огнеупорных материалов высокотемпературными металлами и сплавами // Процессы литья. – 2003. – № 2. – С. 22–31.
22. Сребрянский Г. А., Белоусов В. В., Юрич П. Ю. Теоретические основы конструкции диска-холодильника установок для получения аморфных сплавов // Сталь. – 2010. – № 8. – С. 79–82.



## REFERENCES

1. Srebrianskiy G. A., Stovpchenko A. P. (2004). Novyi podkhod k polucheniiu poroshkovykh materialov [A new approach to the preparation of powder materials]. *Materialy V Międzynarodowej Sesji Naukowej "Nowe Technologie i Osiągnięcia w Metalurgii, Inżynierii Materiałowej"*, (Польша), Politechnika Częstochowska, Wydawnictwo Wipmifs (Poland), Wydawnictwo Wipmifs, pp. 618–621 [in Russian].
2. Rakhmanov R. S., Srebrianskiy G. A. (2011). Nekotorye perspektivy povysheniia iznosostoikosti trubopressovogo instrumenta [Some prospects of improving the wear resistance of tube press tool]. *Metallurgicheskaja i gornorudnaia promyshlennost'*, no. 4, pp. 97–100 [in Russian].
3. Srebrianskiy G. A., Stovpchenko A. P. (2006). Amorfnye splavy – perspektivnyi material dlia ispol'zovaniia v zheleznodorozhnom transporte [Amorphous alloys are a promising material for use in rail transport]. LXVI Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaja konferentsiia. Tezisy dokladov, Dnepropetrovsk, pp. 374–375 [in Russian].
4. Starodubtsev Yu. N., Belozero V. Ya. (2009). Amorfnye metallicheskie materialy [Amorphous metallic materials]. *Silovaja elektronika*, no. 2, pp. 86–89 [in Russian].
5. Chernov V. S., Ivanov O. G., Evteev A. S. (2001). Osnovnye usloviia stabil'nosti tekhnologii proizvodstva mernykh lent iz amorfnykh splavov [The basic conditions of stability of the production technology of dimensional ribbons of amorphous alloys]. *Stal'*, no. 4, pp. 67–69 [in Russian].
6. Liebermann H. H. (1979). Manufacture of amorphous alloy ribbons. *IEEE Trans. On Magn.*, V. 5, no. 6, pp. 1393–1397 [in English].
7. Pavuna D. (1981). Production of metallic glass ribbons by the chill-black melt-spinning technique in stabilized laboratory conditions. *J. Mater. Sci.*, no. 16, pp. 2419–2433 [in English].
8. Das S. K., Davis L. A. (1988). High Performance Aerospace Alloys via Rapid Solidification Processing. *Mat. Sci. Eng.*, no. 98, pp. 1–12 [in English].
9. U. S. Pat. no. 6749700, МПК7 С 22 С 45/00. Method for producing amorphous alloy ribbon and method for production nanocrystalline alloy ribbon with same / Sunakawa J., Bizen Y., June 15, 2004 [in English].
10. Selivanov M. V., Davydova N. M. (1988). Mikrokrystallicheskie splavy za rubezhom [Microcrystalline alloys abroad]. V sb. Chernaia metallurgija, no. 1, pp. 27–43 [in Russian].
11. Starodubtsev Yu. N., Belozero V. Ya. (2002). Magnitnye svoistva amorfnykh i nanokrystallicheskiykh splavov [Magnetic properties of amorphous and nanocrystalline alloys]. Ekaterinburg: Izd-vo UrGU, 380 p. [in Russian].
12. Danilova I. I., Markin V. V., Smolyakova O. V., Roschin V. Y., Ilyin, S. I., Goithenberg Yu. N. (2008). Proizvodstvo amorfnoi i nanokrystallicheskoj lenty metodom lit'ia na odnovalkovoi MNLZ [The production of amorphous and nanocrystalline ribbon by casting on one-roll continuous casting machine]. *Vestnik YUrGU*, no. 9, pp. 16–21 [in Russian].
13. Hunkin V. E. (1991). Metallurgicheskie osobennosti podgotovki amorfiziruiushchikhsia splavov dlia poluchenii amorfnoi lenty: Aftoref. dis. na soiskanie nauchn. stepeni kand. tekhn. nauk [Metallurgical features of preparation of amorphous alloys for amorphous tape production. Extended abstract of candidate's thesis]. Cheliabinsk, 25 p. [in Russian].
14. Pat. KZ (B) (11) 2031, C22C45/02, Respublika Kazakhstan. Shikhta dlia poluchenii amorfnykh magnitomiagkiykh splavov [The mixture to obtain the amorphous magnetic alloys]. Levintov B. L., Bashaeva L. A., Kovneristy Y. K. et al. publ. 15.06.95, bull. no. 2 [in Russian].
15. Pat. no. 2383652 Russian Federation, IPC C22C 45/04, C22C 19/07. Tonkaia lenta, vypolnennaja iz amorfnoogo termomagnitnogo materiala [Thin ribbon made of amorphous thermo-magnetic material]. Markin V. V., Danilova I. I.: publ. 10.03.2010, bull. no. 7 [in Russian].
16. Zaiavka Frantsii, no. 2587038, C22C 33/06, H01F 1/04, 1987. Sposob poluchenii splavov ferrobora, v osnovnom, dlia proizvodstva amorfnykh magnitnykh splavov [A method of obtaining ferrobore alloys, mainly for the production of amorphous magnetic alloys]. [in Russian].
17. Pat. no. 2418091 Russian Federation, C22C 45/04, C22C 19/05. Amorfnyi, iznosostoiki nanostrukturirovaniy splav na osnove nikelija sistemy Ni-Cr-Mo-WC [Amorphous wear-resistant alloy based on nickel system Ni-Cr-Mo-WC]. Farmakovskiy B. V., Vasil'ev A. F., Gerasenkov D. A. et al., publ. 10.05.2011, bull. no. 13 [in Russian].
18. Pat. no. 2260070 Russian Federation, C 22 C 33/04, 45/02, 45/04. Sposob poluchenii slitkov iskhodnogo splava dlia poluchenii amorfnykh lent [Method of obtaining ingots of initial alloy for production of amorphous ribbons]. Ponomarev V. A., Ivanov O. G., Chernov V. S. et al., publ. 10.09.2005, bull. no. 25 [in Russian].
19. Pat. no. 1638177 USSR, МКИ С21С 7/00, С22В 8/10. Sposob proizvodstva slitkov [Method of production of ingots]. Kalashnikov A. I., Ten E. B., Kimanov B. M. et al., publ. 30.01.91. Bull. no. 12 [in Russian].
20. Piwinskiy Yu. E., Romashin A. G. (1974). Kvartsevaia keramika [Quartz ceramics]. Moscow: Metallurgija, 264 p. [in Russian].
21. Verkhovlyuk A. M., Беспалый, А. А. (2003). Smachivanie огнеупорных материалов высокотемпературными металлами и сплавами [Wetting of refractory materials by high temperature metals and alloys]. *Protsessy lit'ia*, no. 2, pp. 22–31 [in Russian].
22. Srebrianskiy G. A., Belousov V. V., Yurich P. Yu. (2010). Teoreticheskie osnovy konstruksii diska-kholidil'nika ustanovok dlia poluchenii amorfnykh splavov [Theoretical bases of the design of the disc-refrigerator units for obtaining amorphous alloys]. *Stal'*, no. 8, pp. 79–82 [in Russian].

## Анотація

Сребрянський Г. О.

Практичні рекомендації з організації виробництва металевої стрічки з розплаву

У статті дано роз'яснення терміну «швидкозагартовані сплави», вказано їхній сортамент і галузі застосування. Показано, що найпоширенішим сортаментом цих матеріалів є стрічка товщиною 20-100 мкм, одержана способом одновалкового розливання. Розглянуто технології її одержання, які відрізняються масою металу, що розливається за один цикл. Приведено опис відповідних установок. Організація виробництва швидкозагартованої стрічки вимагає певного досвіду і рівня знань, оскільки містить ряд «ноу-хау». Запропоновано оптимальний підхід до організації такого виробництва і його типова структура. Описано необхідні технічні й організаційні заходи на основних етапах виробництва. Показано, що технологія одержання стрічки з розплаву є новою металургійною наукомісткою, енергозберігаючою та перспективною технологією, яка дозволяє виробляти конкурентну на світовому ринку продукцію широкого сортаменту. Створення такого виробництва спричинить створення відповідної інфраструктури з новими робочими місцями. Крім цього, наявність такого перспективного виробництва піднімає престиж держави і відповідає плану його стратегічного розвитку.

## Ключові слова

Швидкозагартовані сплави, стрічка, розплав, одновалкове розливання, сортамент, енергозберігаюча технологія.

## Summary

Srebriansky G.

Practical recommendations on the organization of production of metal ribbon from a melt

The article provides an explanation of the term «rapidly-quenched alloys», their range and areas of application are indicated. It is shown that the most common assortment of these materials is a ribbon with a thickness of 20-100 microns, obtained by the single-roll casting method. The technologies of its obtaining, which differ by the mass of the casting metal in one cycle, are considered. The description of the relevant installations is given. The organization of production of a rapidly quenched ribbon requires a certain amount of experience and knowledge, as it contains a number of «know-how». An optimal approach to the organization of such production and its approximate structure are proposed. Necessary technical and organizational actions at the main production phases are described. It is shown that the technology of obtaining a strip from a melt is a new metallurgical high, energy-saving and promising technology that allows producing a wide range of products that are competitive on the world market. In addition, the presence of such a promising production raises the prestige of the country and meets the plan for its strategic development.

## Keywords

Rapidly quenched alloys, ribbon, melt, single-roll casting, assortment, energy-efficient technology.

Поступила 24.05.17