

УДК 669

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМОТКИ АМОРФНОЙ ЛЕНТЫ

Макаров Максим Владимирович

Студент 5 курса,

кафедра «Оборудование и технологии прокатки»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В. Иванов,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

Разработка новых материалов и технологий их получения в настоящее время общепризнано относят к так называемым «ключевым» или «критическим» аспектам основы экономической мощи и обороноспособности государства. Одним из приоритетных направлений является получение субмикрокристаллических, нанокристаллических, а также безкристаллических структур в металлах и сплавах. Последняя структура – аморфное состояние твердого тела считается одной из наименее изученных областей физики конденсированного состояния.

Существует несколько методов производства аморфных металлов: испарение металлов в вакууме и их конденсацию на охлаждаемую подложку, распыление путем бомбардировки атомами инертного газа, химическое и электроосаждение, ионная имплантация, быстрая закалка из жидкого состояния (спиннингование) и механическое получение методами порошковой металлургии [1-3].

В России наибольшее распространение получили методы закалки из жидкого состояния. Под таким общим названием объединены методы охлаждения металлов и сплавов с большими скоростями, позволяющими достигать высоких степеней переохлаждения жидкости, иными словами, «замораживать» жидкоподобное состояние. Термовременные интервалы стеклования сплава (рис. 1) ограничены С-образной кривой в координатах « $T - \tau$ » (τ – время), указывающей время, необходимое для начала процесса кристаллизации при различных температурах. Во избежание образования кристаллической фазы охлаждение расплава необходимо провести так, чтобы параметры процесса T и τ оставались за пределами С-образной кривой и к окончанию охлаждения попали в область, лежащую ниже ее.

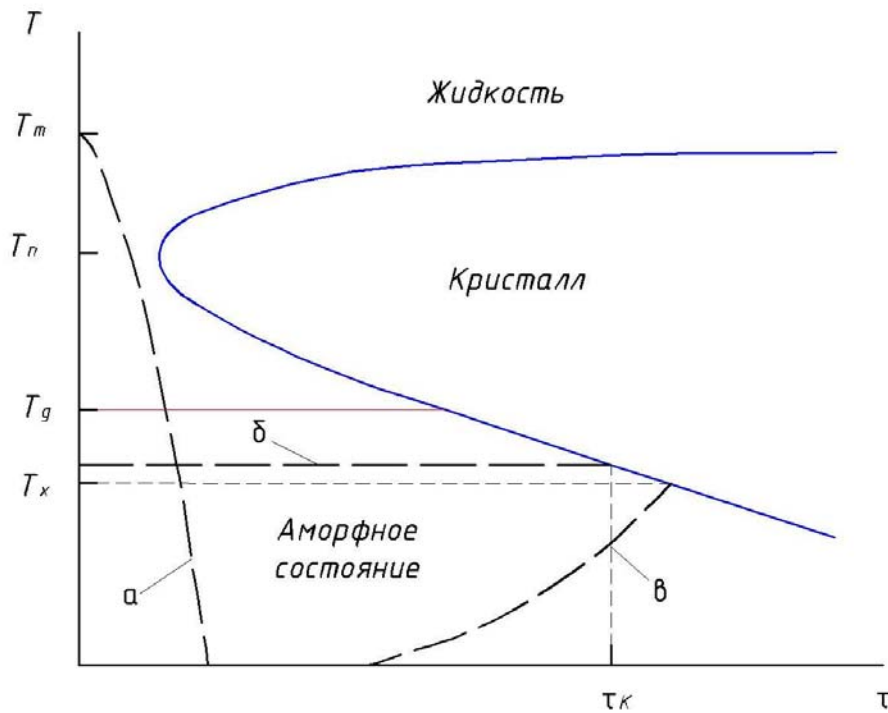


Рис. 1. Термовременная диаграмма процесса образования фаз в переохлажденном расплаве

Методами закалки из жидкого состояния получают аморфные сплавы в виде полосы, ленты, проволоки, порошков. Из лент или полос набирают пакеты необходимой для изготовления изделия толщины. Порошок — удобный материал для изготовления путем прессования деталей, форма которых близка к заданной [1, 2].

Чаще других для промышленного изготовления аморфных металлических сплавов используется метод спиннингования (намораживания), так как аморфная лента является наиболее востребованным продуктом.

Метод спиннингования (рис. 2). Закалка расплава происходит при растекании струи металла по цилиндрической поверхности быстро вращающегося диска-холодильника (линейная скорость обода составляет ~30м/с), выполненного из стали или меди. Аморфная структура сплава формируется в непрерывной ленте или полосе (шириной несколько сантиметров) толщиной 20-80 мкм. Существуют модификации метода, которые позволяют получать полосы повышенной ширины (метод плоской струи), ленты и полосы переменной ширины, а также спиральные ленты и полосы, т.е. изделия с заданным радиусом кривизны. Стремление повысить среднюю скорость охлаждения инициировало разработку разновидности метода - закалки (прокатки) в валках, в которой затвердевающая лента проходит через зазор между двумя вращающимися валками. Это также обеспечивает более высокое качество поверхности ленты.

В России пионером в создании технологии и машин для производства аморфных сплавов является АХК ВНИИМЕТМАШ имени Академика А.И. Целикова.

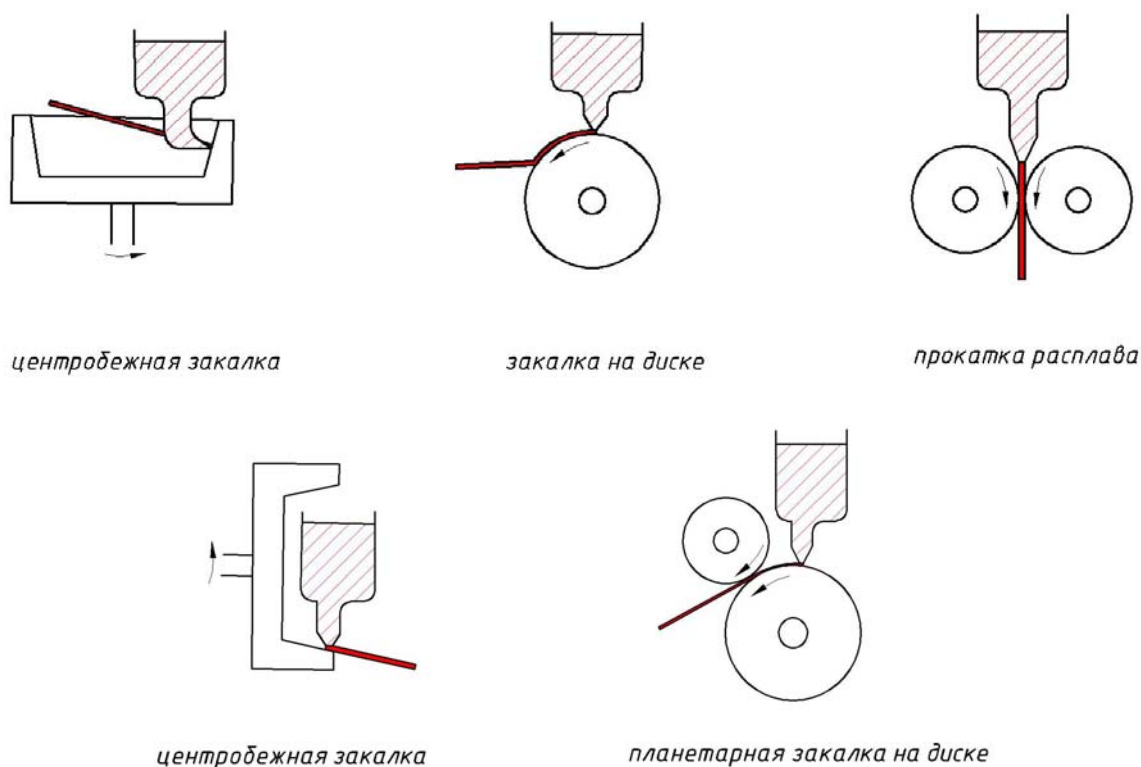


Рис. 2. Схемы получения АМС методом спиннингования

Во ВНИИМЕТМАШ аморфная лента изготавливается методом спиннингования расплава на полированную поверхность охлаждаемого водой вала (диска-холодильника) (рис. 3), движущуюся с линейной скоростью 20...30 м/с. Скорость охлаждения расплава на поверхности вала составляет примерно 10^6 °С в секунду.

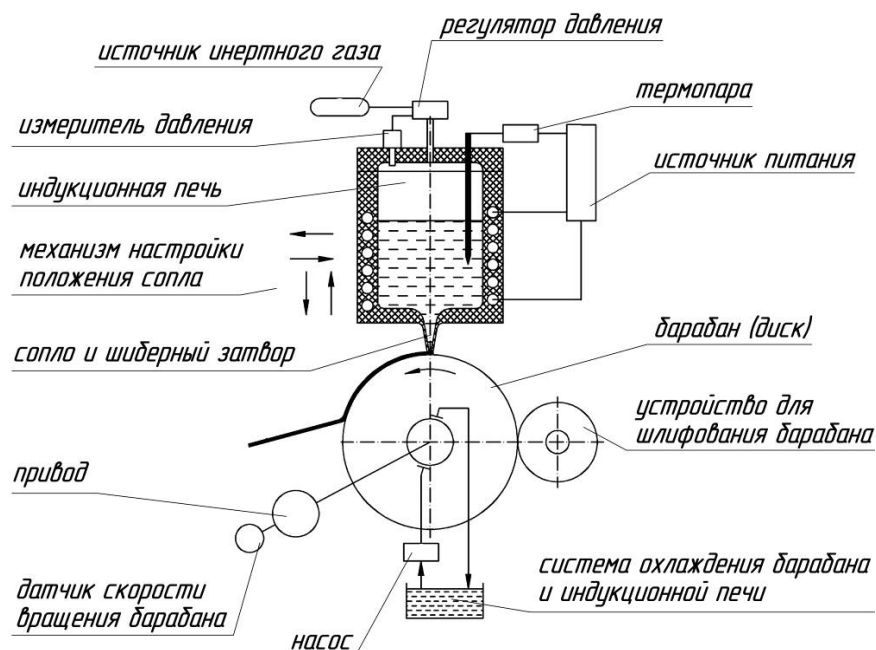


Рис. 3. Схема получения аморфной ленты

Технологический процесс получения аморфной ленты осуществляется в два этапа. На первом этапе в вакуумных индукционных печах выплавляют заготовку – исходный аморфизующийся сплав необходимого состава, а на втором производится плавление порции заготовки и получение аморфной ленты на машинах разливы.

Порцию исходного сплава в кристаллическом состоянии загружают в плавильный тигель разливочной машины (см. рис. 3) и вторично расплавляют, нагревая до необходимой для разливы температуры и производят разливу. Разливка осуществляется через калиброванную щель разливочного сопла, изготавливаемого из аморфного кремнезема.

Длина щели разливочного сопла определяется шириной ленты, которую надо получить, и обычно находится в пределах от 3,0 до 80,0 мм. Ширина щели составляет 0,45...0,65 мм и является одним из важнейших регулируемых параметров разливы, связанным со многими другими (линейной скоростью движения поверхности разливочного вала, зазором между соплом и поверхностью вала, составом сплава, температурой расплава, давлением газа и другими). Можно, например, отметить, что зазор между соплом и поверхностью вала изменяется в пределах 0,15...0,30 мм с шагом 0,05 мм в зависимости от других параметров разливы.

После расплавления сплава в плавильной емкости разливочной машины и нагрева до необходимой температуры в плавильную емкость подают инертный газ, который выдавливает расплав из плавильного объема к поверхности закалочного вала. Смачивая поверхность вала, расплав движется вместе с ней, формируя на поверхности аморфную ленту. От поверхности вала лента отделяется потоком воздуха, подаваемого на съемник ленты. Съемник устанавливается с зазором от 100 до 300 мкм от поверхности вала.

Управляя расходом расплава через щель сопла путем изменения температуры расплава, ширины щели сопла и величины давления, а также скоростью вращения вала можно управлять процессами формирования ленты. Толщина получаемой ленты зависит от совокупности технологических факторов – температуры расплава, ширины щели сопла, скорости вращения вала, давления газа, физико-химических свойств расплава (вязкость, поверхностное натяжение), материала диска, а также величины зазора между соплом и поверхностью вала и составляет 25 ± 5 мкм.

Изделия, изготовленные из аморфной ленты, требуют проведения обязательной термической или термомагнитной обработки, с помощью которых свойства сплавов можно варьировать в широких пределах. Так, например, в одних случаях получают рекордные значения магнитной проницаемости в узком диапазоне частот, а в других относительно невысокие значения проницаемости, практически не зависящие от частоты в очень широком интервале. Все это позволяет эффективно использовать аморфные ленты из различных сплавов в изделиях разнообразного назначения [4-6].

Однако широкому распространению аморфной ленты препятствует ряд проблем технологического характера. Так, например, высокие скорости

литья, малая площадь поперечного сечения ленты, явное отсутствие зон разлива и съема ленты с диска-холодильника, большая (как правило, более 5000 м) длина ленты затрудняют смотку ленты во время процесса литья на моталку. В связи с тем, что при отсутствии моталки смотка ленты в рулон осуществляется после литья практически вручную, то значительно возрастает трудоемкость процесса, себестоимость продукции, часто происходит разрыв ленты.

Технологии смотки аморфной ленты

Автоматическая смотка аморфной ленты является серьезной проблемой, которая до сих пор не решена. Например, в Японии смотка производится не сразу после схода аморфной ленты с литейной машины. Захват ленты осуществляется со специально подготовленного пола. Большие размеры отполированного пола, позволяют накопить необходимый запас ленты, не спутывая ее. При этом исключается возможность отрыва ленты от зоны разлива.

Во ВНИИМЕТМАШ смотка производится похожим образом. Однако из-за малых размеров цеха и не подготовленной поверхности (в лучшем случае сбор ленты осуществляется на куске картоне) лента может запутаться, что затрудняет полностью автоматическую смотку с пола. Смотка ленты производится 2-3 рабочими, с помощью простейших установок. Они представляют собой электродвигатель с намоточным барабаном на валу. Смотка ведется практически в ручном режиме, т.к. оператор вынужден постоянно контролировать процесс, периодически прерывая его из-за перекосов или спутывания ленты.

ВНИИМЕТМАШем имени Академика А.И. Целиков было предложено провести анализ вариантов конструкций моталок, разработанных российскими и зарубежными конструкторами, представить варианты моталок собственной разработки и выбрать наиболее оптимальную конструкцию для завода ВНИИМЕТМАШ.

Обзор возможных конструкций моталок

Вариант №1 – конструкция фирмы SMS.

Моталка (рис. 4) содержит оправку, подающий элемент для подачи металлической ленты по касательной к оправке и, по меньшей мере, три установочных элемента, в каждом из которых расположены прижимные ролики с осями для обвода металлической ленты вокруг оправки, причем прижимные ролики расположены вокруг оправки с возможностью подвода к оправке посредством установочных приводов, при этом установочные элементы при подведенных к оправке моталки прижимных роликах выполнены с возможностью поворота вокруг осей поворота, параллельных осям прижимных роликов, причем ось поворота совпадает с осью соответственно самого переднего прижимного ролика или расположена

вблизи нее. Данная моталка обеспечивает возможность легкой и надежной намотки тонких лент, в том числе при высокой скорости намотки. [8]

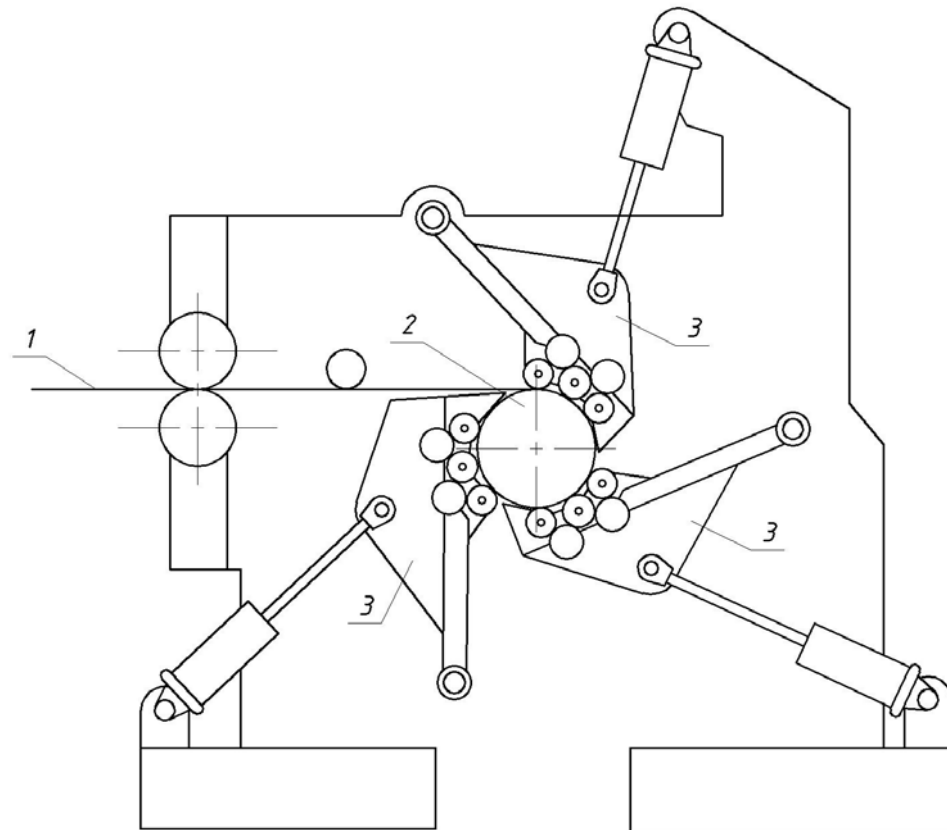


Рис. 4. Общий вид моталки фирмы SMS:

1 – аморфная лента; 2 – намоточный барабан; 3 – установочный элемент

Основным достоинством данной схемы является возможность смотки в плотные рулоны, без дополнительной перемотки за счет пары натяжных роликов перед намоточным барабаном и установочных элементов. Более того, моталки такого типа используются на листовых станах холодной прокатки.

Главный недостаток – громоздкость и сложность конструкции.

Вариант №2 – пат. № 2116159.

Устройство для смотки полосы (рис. 5), содержащее корпус, наматывающий барабан и ролики, снабжено магнитным захватным основанием в наматывающем барабане и бесконечной лентой на роликах, размещенной с упругим натягом по дугам рабочего валка и основания наматывающего барабана. Бесконечная лента выполнена из магнетонейтрального материала, а натяжной ролик на выходе из пары бесконечная лента - рабочий валок выполнен с магнитной поверхностью. Ось наматывающего барабана расположена подпружиненно в пазах стойки [9].

Наличие магнитного захватного основания на барабане бесконечной ленты, контактирующей с натягом по дугам рабочего валка и

наматывающего барабана, натяжного ролика с магнитной поверхностью позволяет синхронизировать скорости поверхностей рабочего валка и наматывающего барабана и произвести надежный магнитный захват переднего конца тонкой аморфной полосы, обладающей ферромагнитными свойствами.

На рис. 5. представлено устройство для смотки полосы, общий вид.

Устройство включает: корпус 1, в котором размещены наматывающий барабан 2 с магнитным основанием, бесконечная лента 3 на роликах 4, выходной ролик 5 с магнитной поверхностью, стойка 6, в пазу которой расположена пружина 7, подпружинивающая опору 8 оси наматывающего барабана 2, рабочий валок 9. На чертеже также показаны печь 10, расплавленный металл 11, полоса 12.

На вращающийся рабочий валок 9 из печи 10 льется расплавленный металл 11. Застывшая с большой скоростью тонкая полоса металла 12 увлекается валком и втягивается между бесконечной лентой 3 и рабочим валком 9 по дуге окружности. На выходе из контакта бесконечной ленты 3 и рабочего валка 9 ферромагнитная полоса 12 увлекается магнитной поверхностью натяжного ролика 5 через поверхность магнитонейтральной бесконечной ленты 3 и втягивается в наматывающий барабан 2 с магнитным основанием, к которому притягивается и наматывается. Барабан 2 приводится во вращение бесконечной лентой 3, которая в свою очередь перемещается поверхностью рабочего валка 9. Пружина 7, расположенная в пазу стойки 6, упираясь в опору 8 оси барабана 2, создает необходимый натяг бесконечной ленты 3, обеспечивающий одинаковую скорость поверхности рабочего валка 9, бесконечной ленты 3, полосы 12 и основания барабана 2. Наматываясь на основание барабана 2, полоса 12 увеличивает его диаметр и барабан 2 отжимается бесконечной лентой 3 вдоль паза стойки 6, сжимая пружину 7 опорой оси 8. При этом скорости поверхности основания наматывающего барабана 2, полосы 12, бесконечной ленты 3 и поверхности рабочего валка 9 остаются одинаковыми.

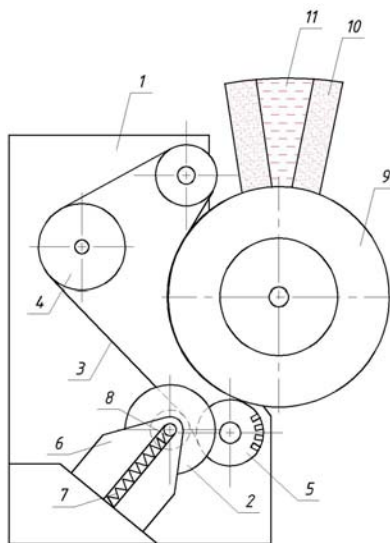


Рис. 5. Общий вид моталки, предложенной в пат. № 2116159

Устройство работает следующим образом.

При умеренных скоростях перемещения ферромагнитной полосы 12 наматывающий барабан 2 с магнитным основанием может сматывать ферромагнитную полосу непосредственно с поверхности рабочего валка 9.

Данная конструкция достаточно компактна и позволяет сматывать плотные рулоны, но ограничивается свойствами материалов. Из-за магнитного барабана можно вести смотку только ферромагнитных материалов.

Вариант №3 – пат. № 2021075

В моталке, конструкция которой представлена на рис. 6, подачу переднего конца ленты осуществляют по криволинейной проводке, которую затем смещают с образованием зазора относительно прямолинейной проводки, складывают ленту вдвое и осуществляют ее захлестывание на намоточный барабан, после чего производят обрезку переднего конца [10].

Устройство содержит намоточный барабан 3 с захлестывателем 4, подающую проводку 1 и криволинейную проводку 2, последняя установлена с возможностью поворота вокруг центра ее кривизны. Кроме того, передняя кромка криволинейной проводки 2, прилегающая в начальный момент к подающей проводке 1, выполнена заостренной.

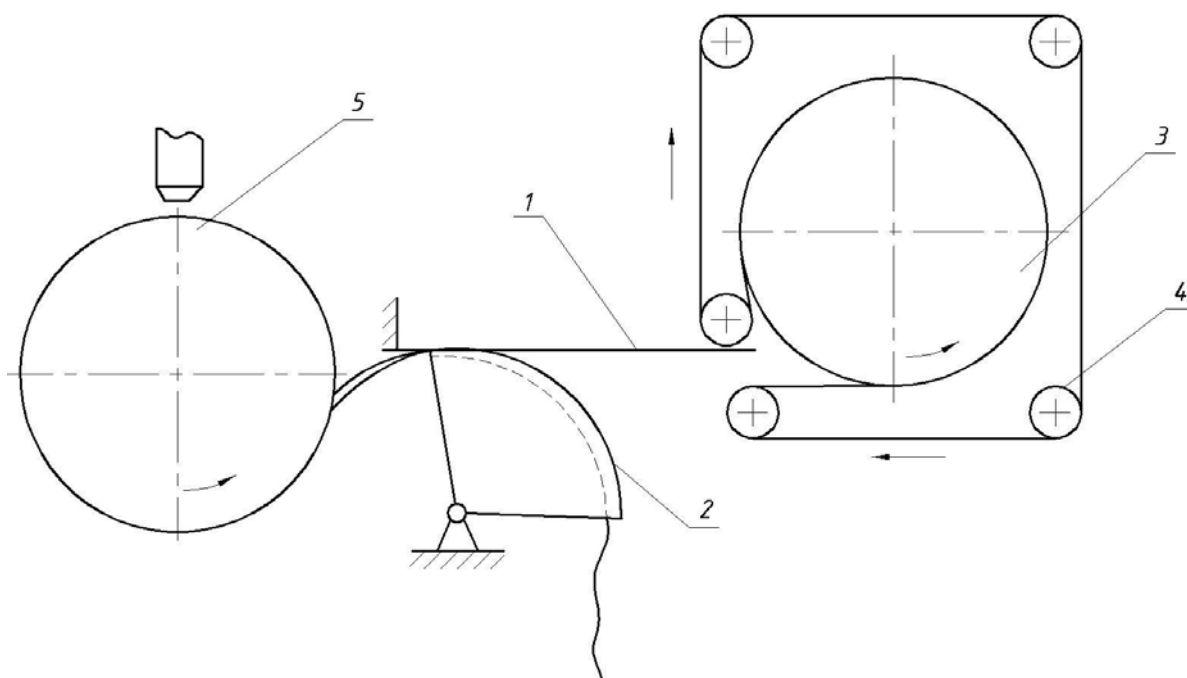


Рис. 6. Общий вид моталки, предложенной в пат. № 2021075

Вариант №4 – пат. № 2256519

В моталке (рис. 7) реализован способ намотки тонкой ленты посредством намоточного барабана и системы проводок включает подачу

переднего конца ленты в намоточный барабан и захват его на стенке намоточного барабана посредством захватывающего средства. Ленту посредством системы проводок перед входом в намоточный барабан поворачивают примерно на 90° вокруг ее продольной оси, затем передний конец ленты разворачивают и выпускают внутри намоточного барабана в его центральной части таким образом, что кромки ленты были параллельны дну намоточного барабана, а плоскость ленты примерно параллельна его стенке. Передний конец ленты захватывают на внутренней поверхности стенки намоточного барабана посредством захватывающего средства и продолжают намотку ленты в рулон, в направлении от стенки намоточного барабана к его центру до получения рулона требуемого размера [11].

В устройстве система проводок выполнена с возможностью приема ленты с литейного барабана, разворота ленты в 90° , так как обычно ленту производят на литейном барабане с образующей параллельной горизонтали, а стенка намоточного барабана ей перпендикулярна, и подвода ленты внутрь намоточного барабана таким образом, чтобы кромки ленты были параллельны дну намоточного барабана, а ее поверхность примерно параллельна стенке намоточного барабана.

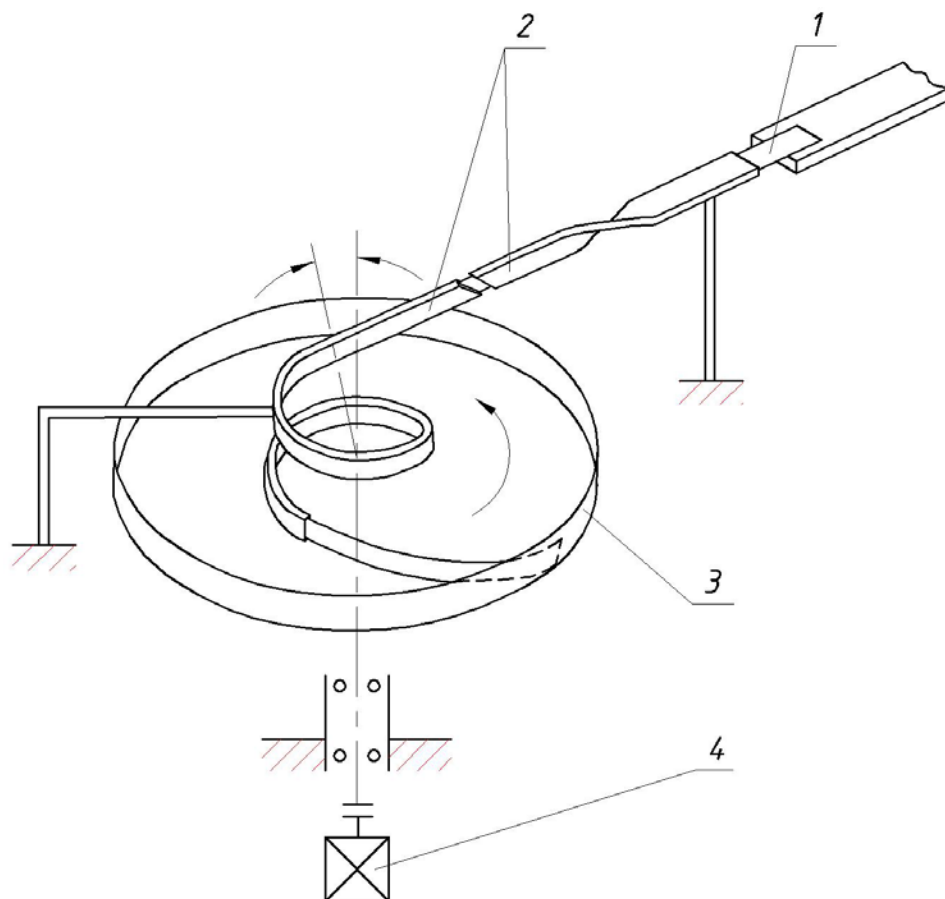


Рис. 7. Общий вид моталки, предложенной в пат. № 2021075:
1 – аморфная лента; 2 – криволинейные проводки; 3 – намоточный барабан;
4 – электродвигатель.

Данная моталка позволяет поддерживать скорость вращения намоточного барабана в пределах $\pm 5\%$ от заданной скорости и таким образом обеспечивает получение рулона тонкой ленты при сохранении технологических свойств аморфной структуры ее материала.

Основными недостатками данной схемы является ограниченность ширины ленты (при изменении ширины необходимо менять проводки) и необходимость дальнейшей перемотки в плотный рулон.

Анализ вариантов предложенных конструкций моталок и выбор оптимального из них

Для выбора оптимального варианта был проведен анализ по нескольким наиболее важным критериям. Достоинства и недостатки предложенных конструкций сведены в таблицу 1. На основании характеристик процесса производства аморфной ленты во ВНИИМЕТМАШ (таблица 2) выбран наиболее оптимальный вариант, таким оказался вариант описанный в а/с № 1740126

Таблица 1. Сводная таблица сравнения вариантов моталок

№ п/ п	Критерий оценки						
	Компакт-ность конструкции	Простота синхронизации барабана	Простота конструкции	Смотка без петли	Плотность смотки	Универсальность захвата	Смотка ленты разных размеров
1	-	-	-	-	+	+	+
2	+	+	-	+	+	-	+
3	+	-	+	-	+	+	+
4	+	-	+	+	-	+	-

Таблица 2. Основные характеристики процесса производства аморфной ленты во ВНИИМЕТМАШ

Характеристика	Значение
Объем плавки, кг	50
Ширина ленты, мм	50
Толщина ленты, мкм	25
Длина ленты, м	5200
Скорость вылета ленты, м/с	20-30
Температура разливки, °C	1530
Температура съема, °C	200

Выводы

1. Аморфные сплавы являются материалами с уникальными свойствами. По мнению компании LiquidMetal, внедрение аморфных сплавов – это третья революция в области материалов, наряду со сталью и пластиком. Применение аморфных сплавов уже сейчас столь обширно, что составляет серьезную конкуренцию остальным материалам [7].

2. Основные ограничения применения АМС сейчас – это высокая стоимость их производства (порядка 33\$ за 1 кг) и отсутствие технологий изготовления больших конструкционных деталей. Разработка технологий снижающих стоимость сплавов на порядок позволят повсеместно использовать АМС вместо обычных сплавов.

3. В России наибольшее распространение получила аморфная лента, необходимая для изготовления витых магнитопроводов и сердечников индуктивных компонентов взамен ферритов, пермаллоев и других магнитомягких материалов, а также для резистивных элементов. Пионером в создании технологии и машин для производства аморфных сплавов является АХК ВНИИМЕТМАШ имени Академика А.И. Целикова.

4. Широкому распространению аморфной ленты препятствует ряд проблем технологического характера. Так, например, высокие скорости литья, малая площадь поперечного сечения ленты, явное отсутствие зон разливки и съема ленты с диска-холодильника, большая (как правило, более 5000 м) длина ленты затрудняют смотку ленты во время процесса литья на моталку. В связи с тем, что при отсутствии моталки смотка ленты в рулон осуществляется после литья практически вручную, то значительно возрастает трудоемкость процесса, себестоимость продукции, часто происходит разрыв ленты.

5. Представлено несколько вариантов решения проблемы

автоматической смотки аморфной ленты. В ходе сравнительного анализа было выявлено, что оптимальным вариантом в условиях ВНИИМЕТМАШ является вариант №2.

Литература

1. Жукова Л.А. Строение и свойства двойных металлических сплавов в жидком и аморфном состоянии. – Екатеринбург.: Изд-во ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. – 74 с.
2. Глезер А. М. Аморфные и нанокристаллические структуры: сходства, различия, взаимные переходы // Российский химический журнал. – 2002. Т. XLVI, №5. – С. 57-63.
3. Петров А.Л., Гаврилюк А.А., Зубрицкий С.М. Структура и свойства неупорядоченных твердых тел: Учеб. пособие. – Иркутск.: Изд-во ИГУ, 2004. – 70 с.
4. Осипьян Ю.А., Аморфные металлы и сплавы: Научное сообщение в Президиуме Академии СССР, 1987. – 11 с.
5. Libermann H. and Graham C. (1976). "Production Of Amorphous Alloy Ribbons And Effects Of Apparatus Parameters On Ribbon Dimensions". IEEE Transactions on Magnetics (6): 921.
6. Roy R., A.K. Majumdera (1981). "Thermomagnetic and transport properties of metglas 2605 SC and 2605". Journal of Magnetism and Magnetic Materials 25: 83-89.
7. Интернет ресурс <http://www.liquidmetal.com>
8. Способ альтернативной работы моталок и устройство для намотки лент: пат. 2181312 Рос. Федерация : МПК⁷ B21B1/22 / Кнеппе Г., Браун М.; Заявитель и патентообладатель СМС ШЛЕМАНН ЗИМАГ АГ. – №97102192/02; заявл. 13.02.1997 ; опубл. 20.04.2002.
9. Устройство для смотки полосы: пат. 2116159 Рос. Федерация : МПК⁷ B22D11/06 / Дикалов Б.А.; Заявитель и патентообладатель Новгородский государственный университет. – № 96100194/02; заявл. 04.01.1996 ; опубл. 27.07.1998.
10. Способ подачи тонкой ленты к намоточному барабану и устройство для его осуществления пат. 2021075 Рос. Федерация : МПК⁵ B22D11/06, B21C47/00 / Дунаевский В.И., Запара Б.М., Смычков А.С., Некраш Э.Б., Гридневский В.И.; Заявитель Украинский науч.-исслед. институт металлургического машиностроения – №4844223/02, патентообладатель – Филиал ВНИИМЕТМАШ им. А.И. Целикова; заявл. 29.06.1990 ; опубл. 15.10.1994.
11. Способ намотки тонкой ленты в рулон и устройство для его осуществления пат. 2256519 Рос. Федерация : МПК⁷ B21B47/00 / Некипелов В.С.; Заявитель и патентообладатель Некипелов Владимир Станиславович. – №2004103270/02, заявл. 05.02.2004 ; опубл. 20.07.2005.