



*In article the work of a line on manufacture of an aluminum rolled wire by a method of continuous casting is considered. The cooling conditions influence of an aluminum rolled wire on an output from the rolling mill on its strength is investigated.*

А. И. ШУЛЬГА, ЗАО «Завод алюминиевой катанки»,  
И. Ф. ЧЕРВОНЫЙ, С. Г. ЕГОРОВ,  
Запорожская государственная инженерная академия

УДК 621.74.047

## ПРОИЗВОДСТВО АЛЮМИНИЕВОЙ КАТАНКИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ CONTINUUS PROPERZI

### Введение

Развитие электротехники и микроэлектроники, с одной стороны, и увеличения объемов производства алюминия с другой – создают предпосылки замены в некоторых областях медных проводников на алюминиевые. За последние десятилетия в США и странах Европы (включая страны СНГ) медленно расширяется применение алюминиевой проводки, достигшей соответственно 14 и 12% от общего объема потребления металлических проводников. На Украине алюминиевую катанку для электротехнических целей путем непрерывного литья производят на специализированных линиях литейного производства ОАО «ЗАЛК». Диаметр катанки составляет от 9 до 15 мм. Лидером среди компаний, занимающихся изготовлением линий для производства алюминиевой катанки, является Continuus Properzi.

### Цель работы

Изучить производство алюминиевой катанки на линии компании Continuus Properzi в условиях ОАО «ЗАЛК» (г. Запорожье) и выявить технологические параметры, которые влияют на качество катанки, с целью их оптимизации.

### Основное содержание

Основными рабочими устройствами каждой линии по производству алюминиевой катанки компании Continuus Properzi [1], как правило, являются литейная машина 1 с замкнутым контуром водяного охлаждения 3, прокатный стан 2 и моталки различной конструкции (рис. 1). Для контроля технологических параметров и автоматизации процесса применяются различные датчики.

Линия работает по принципу непрерывной разливки металла – расплавленный металл из миксеров поступает на медное вращающееся литейное колесо (кристаллизатор), охлаждается по определенной схеме и кристаллизуется. Далее полученная заготовка проходит через ролики прокатного стана. Полученная алюминиевая заготовка требуемого диаметра наматывается на моталки.

Для производства алюминиевой катанки используется алюминий первичный технологической чистоты в жидком и твердом виде, соответствующий по химическому составу ГОСТ 1 1069-2001. В качестве легирующих добавок в производстве сплавов для выпуска на их основе катанки используются титан губчатый и титановые сплавы, никель, магний, медь, марганец, кремний. Основным отличием процесса Continuus Properzi от других процессов непрерывного литья является то, что технология Continuus Properzi представляет собой высокоскоростной непрерывный процесс литья – скорость составляет м/мин, в то время как для других аналогичных процессов кристаллизации скорость составляет см/мин. При прямой кристаллизации затвердевание происходит снизу

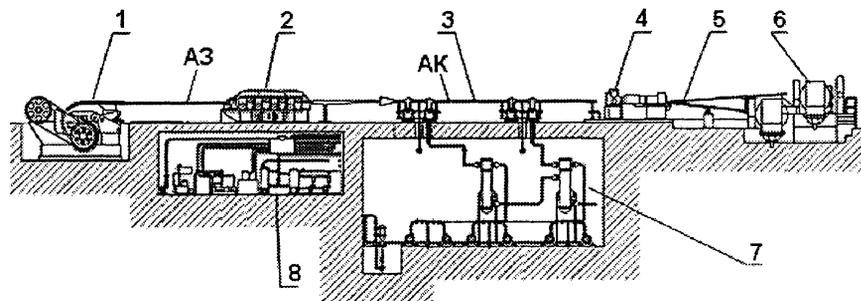


Рис. 1. Технологическая схема линии получения алюминиевой катанки: 1 – литейная машина; 2 – прокатный стан; 3 – линия охлаждения; 4 – ножницы делительные; 5 – проводка моталки; 6 – моталка; 7 – подвал линии охлаждения; 8 – масло-эмульсионный подвал; АЗ – алюминиевая заготовка; АК – алюминиевая катанка

вверх. Большая часть тепла переходит в только что затвердевший слиток. При этом образуется корка литья, в то время как непосредственно внутри изложницы перенос тепла происходит в боковых направлениях. Большая часть охлаждающей воды попадает на литье, когда оно уже находится вне изложницы. Отличие процесса Continuus Properzi от других процессов непрерывного литья заключается в том, что технология Continuus Properzi представляет собой непрерывный процесс литья с охлаждением.

Кристаллизация в литейном колесе заканчивается к моменту, когда литье удаляется из изложницы. Около 93–95% теплообмена происходит в боковых направлениях, т.е. перпендикулярно к основным осям литья (и направлению вращения колеса). Точные очертания “V”, особенно ее заостренность, а также длина зависят от температуры металла или сплава и скорости вращения охлаждающего колеса литейной машины. Определяющими характеристиками металла являются скорость кристаллизации, текучесть, теплопроводность как в жидком, так и твердом состоянии, химические свойства, такие, как способность образования оксидов и их природа, температура плавления и т.д. Все эти характеристики влияют на скорость теплообмена с внутренними стенками изложницы, а также на способ или тип механизма кристаллизации.

Литейное колесо условно разделено на зоны охлаждения, которые представляют собой дуги по длине изложницы (рис. 2) [1]. В каждой зоне свой режим подачи воды на охлаждение. За точку отсчета зон взята точка положения прижимного ролика ленты.

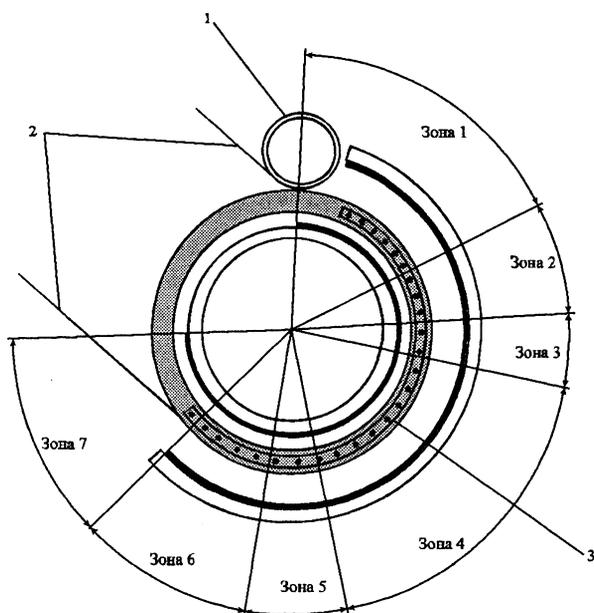


Рис. 2. Общая схема медного кристаллизатора литейной машины: 1 – прижимной ролик; 2 – стальная лента; 3 – медная изложница

### Описание зон кристаллизатора литейной машины

Зона 1 – критическая зона охлаждения.

Зона 2 – переходная зона охлаждения (от резкого охлаждения к более равномерному).

Зоны 3, 4 – зоны, охлаждение в которых зависит от назначения алюминиевой катанки.

Зона 5 – начало охлаждения дна изложницы.

Зона 6 – начало охлаждения боковой стенки изложницы и охлаждения стальной ленты.

Зона 7 – завершающее охлаждение нижней части изложницы.

Условия охлаждения в зоне 1 в значительной степени влияют и фактически определяют механизмы кристаллизации и скорость усадки в изложнице. Усадка в изложнице обычно происходит сначала на плоской стороне (лента), а затем в верхней части боковых стенок (около 1/3 расстояния вниз от кромок изложницы). Дальнейшая усадка происходит по бокам колеса и в то же время заготовка начинает сама отделяться от нижней части изложницы. Охлаждения в зонах 1, 2 и 3 дополняют друг друга. Неправильное охлаждение в зоне 1 влечет за собой неправильное охлаждение в зонах 2 и 3. И, наоборот, охлаждение может быть адекватным в первой зоне и неправильным в последующих зонах, что также негативно скажется на качестве алюминиевой заготовки. Неправильное охлаждение здесь может привести к созданию ряда проблем, таких, как плохой и неравномерный теплообмен, большие температурные колебания литейной заготовки, шероховатая или задиристая поверхность, трубчатые пустоты, трещины или разрывы.

В зависимости от требуемой марки алюминиевой катанки применяют следующие режимы охлаждения.

1. Струйное охлаждение, представляющее собой узкую струю воды шириной от 10 до 15 мм, вытекающую с малой скоростью и падающую вниз на середину ленты или лицевую поверхность кольцевой изложницы. Такая небольшая порция охлаждения способствует образованию тонкой пленки и препятствует перегреву ленты, который проявляется в появлении на ней голубых полос, дефектов литья или изгибании ленты.

2. Легкое конусное охлаждение, где ширина каждой струи воды из распыляющего сопла увеличивается (от 15 мм шириной вначале до ширины ленты или кольцевой изложницы). Интенсивность охлаждения довольно слабая.

3. Интенсивное охлаждение – увеличивается расход охлаждающей воды.

4. Конусное охлаждение – применяется около выходной точки соприкосновения ленты для контроля температуры ленты и изложницы, а также вдоль внутренней задней стороны изложницы для выравнивания температуры.

После кристаллизатора алюминиевую заготовку направляют в прокатный стан, из которого выходит алюминиевая катанка заданного диаметра, которую продолжают охлаждать. Условия охлаждения алюминиевой катанки также влияют на ее свойства.

С целью определения зависимости между условиями охлаждения катанки и ее свойствами были проведены две серии экспериментов: №1 и №2. В экспериментах серии №1 катанка охлаждалась эмульсолом «Випол-232» (температура жидкости, поступающей на охлаждение, составляла  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), после чего обдувалась сжатым воздухом. В экспериментах серии №2 охлаждение осуществлялось водой (температура составляла  $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) с последующим обдувом катанки сжатым воздухом. При этом фиксировали температуру

алюминиевой катанки до охлаждения, внутри и снаружи бухты. В качестве контролируемого механического параметра выступал предел прочности катанки ( $\sigma_B$ ). Химический состав катанки серий экспериментов №1 и №2 приведен в табл. 1, анализ результатов плавок – в табл. 2.

Результаты проведенных экспериментов представлены на рис. 3. Из рисунка видно, что прочность алюминиевой катанки зависит не от температуры заготовки, а от условий охлаждения – изменение величины предела прочности обратно пропорционально средней температуре бухты катанки, а не заготовки (рис. 3, б, в). Максимальные значения предела прочности соответствуют минимальной средней температуре бухты катанки (что характерно для всех экспериментальных серий).

Таблица 1. Химический состав катанки

Номер эксперимента	Содержание элементов, %			
	Fe	Si	Ti	Al
1	0,16	0,08	0,005	остальное
2	0,13	0,07	0,005	остальное

Таблица 2. Контролируемые параметры катанки

Номер эксперимента	Температура, $^{\circ}\text{C}$			Предел прочности $\sigma_B$ , МПа	Изменение удельного электросопротивления ЛУДС
	заготовки	внутри бухты	снаружи		
1	473–493	297–320	284–298	92,70–97,73	$0,83 \cdot 10^{-4}$
2	455–475	170–295	152–308	90,01–107,91	$51,75 \cdot 10^{-4}$

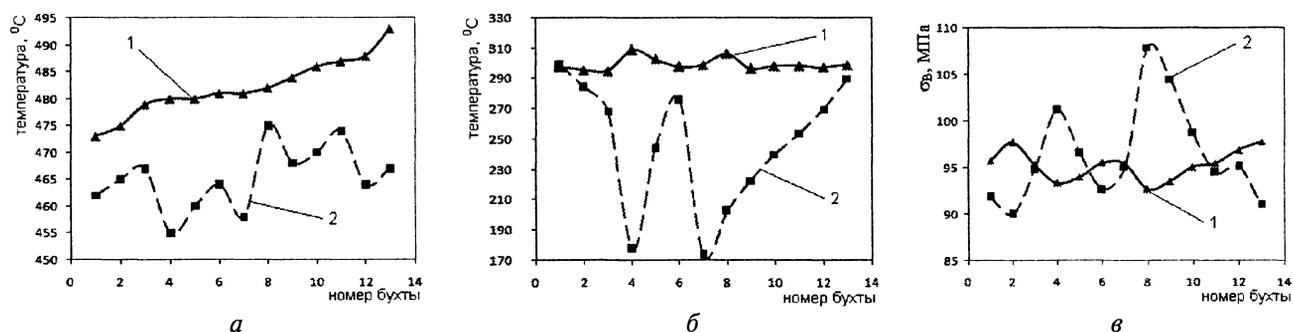


Рис. 3. Изменение температуры алюминиевой заготовки (а), средней температуры бухты катанки (б) и предела прочности алюминиевой катанки (в): 1 – серия экспериментов №1; 2 – серия экспериментов №2

Несмотря на то что в серии экспериментов №1 температура заготовки была выше и температура охлаждающей жидкости ниже, чем в серии экспериментов №2, диапазон изменения температуры бухты и предела прочности алюминиевой катанки оказался меньшим (табл. 2): величина перепада температуры между внутренними и наружными витками бухт в экспериментах серии №1 не превышала  $2\text{--}27\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в то время как в экспериментах серии №2 она составляла  $8\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При этом катанка экспериментов серии №1 имеет значительно более стабильные свойства по сравнению с экспериментами серии №2.

Анализ результатов экспериментов позволил сделать заключение о том, что технология охлаждения катанки проточной водой в существующем

узле малоэффективна и не гарантирует стабильности механических свойств. В связи с этим для использования проточной воды необходимо проведение конструкторско-технологических работ по совершенствованию существующего узла охлаждения катанки. Причинами нестабильности свойств являлось неравномерное охлаждение катанки по длине и периметру, что приводило к торможению процесса рекристаллизации на отдельных участках и фиксированию деформированной структуры после прокатки. В ходе исследования стало очевидным, что из-за несовершенной конструкции узла охлаждения катанка частично проходит его в «паровой рубашке» без контакта с водой, в то время как другие ее участки могут быть полностью погружены в воду. Это приводит к значи-

тельному температурному перекоосу по длине и диаметру катанки, что в свою очередь вызывает возникновение высокого уровня остаточных термических напряжений и обуславливает неравномерность протекания процессов рекристаллизации. Применение в качестве охлаждающей жидкости эмульсола позволит решить некоторые существующие проблемы.

Установлено, что факторами, определяющими конечный уровень механических свойств катанки, являются:

- 1) степень рафинирования и модифицирования металла плавки;
- 2) уровень металла и его температура в расплавленной камере перед подачей в кристаллизатор;
- 3) стабильность температуры литой заготовки после выхода ее из кристаллизатора;
- 4) расход проточной воды, которая подается на колесо кристаллизатора и в узел охлаждения катанки;
- 5) расход эмульсии на каждой клети прокатного стана;
- 6) конструкция узла охлаждения катанки.

Для стабилизации механических свойств катанки рекомендуется:

- 1) производить тщательный контроль полноты и качества рафинирующей обработки жидкого

металла каждой плавки, а также состояния желобов, по которым жидкий металл транспортируется в кристаллизатор с целью предотвращения попадания в металл нежелательных включений;

- 2) осуществлять жесткий контроль за температурой заготовки перед входом ее в прокатный стан;

3) провести исследования по оптимизации условий охлаждения катанки в новом узле;

- 4) снизить температуру катанки перед ее намоткой в бухты.

### Выводы

В ходе проведенных исследований были определены факторы, влияющие на свойства алюминиевой катанки. Для получения катанки с заданными свойствами необходимо следить и контролировать условия охлаждения как в самом кристаллизаторе (литейной машине), так и на выходе алюминиевой катанки из прокатного стана. Рекомендуется изменить конструкцию охлаждающего узла алюминиевой катанки и применять для охлаждения эмульсол.

### Литература

1. Техническая документация технологической линии по производству алюминиевой катанки «Continuous Properzi S.P.A.». 1992.