

УДК 621.7.014

М.Н. Верещагин, Н.М. Запускалов, И.В. Агунович

## ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СВЕРХБЫСТРОЙ ЗАКАЛКИ-ПРОКАТКИ РАСПЛАВА НА ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ТОНКОЙ ПОЛОСЫ

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого  
г. Гомель, Беларусь

Рассмотрено влияние некоторых технологических параметров сверхбыстрой закалки-прокатки расплава на формообразование тонкой полосы. Показано, геометрия сопла является одним из самых важных факторов, который влияет на распределение температуры в ванне расплава и как следствие, влияет на тепловой профиль бандаж вала. Установлено, что оптимизация толщины бандаж, диаметра и длины вала обеспечивает улучшение поперечного сечения и плоскостности быстрозакаленной ленты. Для получения лент со стабильной шириной и ровными кромками необходимо использовать валки с жесткими бандажными комплектами с боковыми ограничительными плитами.

### ВВЕДЕНИЕ

Быстрая кристаллизация металлических сплавов как основа получения материалов с таким комплексом свойств, который невозможно получить при использовании традиционной технологии получения полуфабрикатов из слитков методом непрерывного литья, находит все более широкое применение. Охлаждение расплавов со скоростями  $>10^5$  К/с приводит к появлению в быстрозакаленных сплавах метастабильных состояний: диспергированию всех структурных составляющих, расширению областей твердых растворов, появлению новых метастабильных фаз [1, 2]. Экономическая целесообразность новой технологии проявляется по мере увеличения сортамента продукции, объема производства, совершенствования и создания нового оборудования для осуществления быстрой закалки.

Целью данной работы является исследование влияния некоторых технологических параметров на формообразование тонкой полосы при двухвалковом методе быстрой закалки расплава.

**Постановка задачи.** Разработка метода двухвалковой закалки расплавленного металла вызвана стремлением повысить качество изготавливаемых лент при сохранении высокой скорости охлаждения. Однако, хотя при закалке в двух валках начальная скорость охлаждения несколько выше скорости охлаждения в процессе спиннингования расплава на охлаждаемую подложку, короткое время контакта ленты с валками-кристаллизаторами приводит к резкому падению ее скорости охлаждения после отделения от валков. Кроме того, для предотвращения неустойчивости подачи расплава и сохранения постоянства охлаждения требуется прецизионное управление струей расплава и вращением валков-кристаллизаторов. С точки зрения целесообразности и экономической выгоды нужна тонкая лента с минимальными искажениями геометрии и формы, позволяющими исключить последующую прокатку. Формообразование тонкой полосы является сложной функцией ряда факторов, зависящих от технологии, конструкции установки, систем электропривода и автоматизации. Возникает необходимость разработки обоснованной теоретически и пригодной для инженерной практики методики оптимальной настройки установок для получения качественных полос равной формы.



Рис. 1. Общий вид устройства для получения быстрозакаленных лент

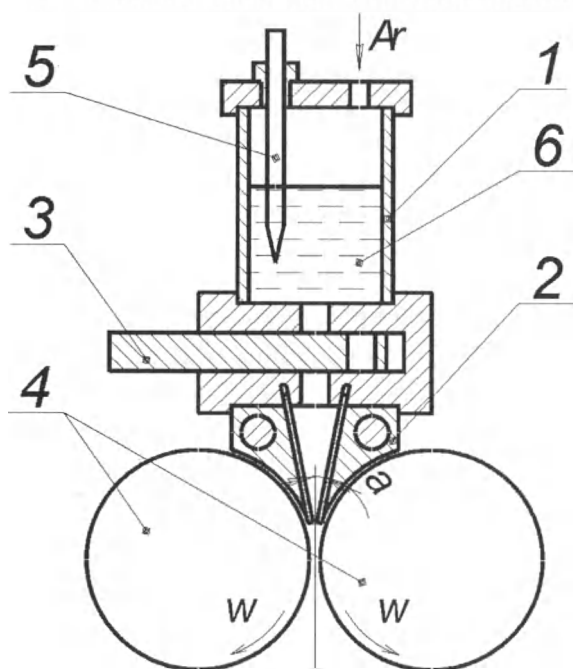


Рис. 2. Схема устройства для подачи расплава при получении быстрозакаленных лент: 1 – питатель для подачи расплава, 2 – насадка с керамическими направляющими, 3 – шибберный затворный механизм с отверстием для подачи расплава, 4 – валки кристаллизатора, 5 – термопара, 6 – расплав [3]

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1–2 представлены общий вид и схема устройства для подачи расплава при получении быстрозакаленных лент, позволяющего управлять скоростью подачи расплава и температурным режимом в сопле и бандаже валка-кристаллизатора [3].

Устройство, разработанное в ГГТУ им. П.О. Сухого, содержит питатель для подачи расплава, выполненный в виде резервуара круглого или прямоугольного поперечного сечения, насадку с двумя продольными и боковыми керамическими стенками, шибберный затворный механизм с отверстием для подачи расплава в полость насадки, установленные с образованием в месте контакта их боковых поверхностей очага деформации вблизи сопла насадки. Продольные керамические стенки установлены в направляющие с возможностью независимого их перемещения. Насадка располагается на автономной раме, направляющие выполнены прямолинейными. Угол наклона направляющих к продольной оси насадки составляет  $15\text{--}45^\circ$ . Боковая поверхность продольных керамических стенок может быть изогнута в осевом направлении, при этом отношение длины проекции изогнутой боковой поверхности продольной стенки на ось насадки к половине максимального ее прогиба  $L/x$  составляет  $16\text{--}24$  (рис. 3). Такое соотношение обеспечивает стабилизацию истечения расплава из сопла и однородность скорости движения расплава. Стенки насадки могут также быть изготовлены из материала с большим омическим сопротивлением.

Возможность независимого перемещения керамических стенок позволяет управлять скоростью подачи расплава и температурным режимом в сопле, устраняет неоднородность скорости перемещения расплава, а также колебания его потока внутри сопла. Сходящийся канал создает соответствующее давление у стенок и придает ускоренное движение потоку, которое ограничивает толщину пограничного слоя стекающего вниз металла. Это

исключает, или, по крайней мере, сводит к минимуму одну из причин неоднородности скорости потока металла, т.е. влияние поверхности стенок на поток расплава. Изменение размеров поперечного сечения сопла путем независимого перемещения керамических стенок расширяет технологические возможности процесса двухвалковой быстрой закалки расплава. Выполнение боковых стенок под углом обеспечивает максимальную глубину подачи расплава в очаг деформации, исключая возможность преждевременного замораживания расплава до момента начала процесса быстрой закалки-прокатки, а также обеспечивает получение плоскостности струи расплава. Последнее обстоятельство устраняет причину образования поверхностных дефектов лент из-за возможной потери продольной устойчивости плоского потока расплава. Изогнутость в осевом направлении боковой поверхности керамических стенок позволяет стабилизировать истечение расплава из сопла путем исключения колебаний потока расплава внутри его и получения однородности скорости перемещения расплава за счет уменьшения сил трения о поверхность стенок. Подогрев стенок обеспечивает возможность поддерживать постоянную температуру расплава в сопле, устраняет неравномерность и позволяет управлять температурным режимом в последнем, расширяет технологические возможности процесса.

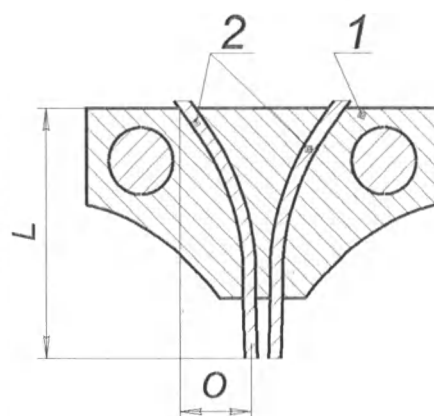


Рис. 3. Насадка с изогнутыми керамическими направляющими: 1 – насадка, 2 – керамические направляющие

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в развитии процесса двухвалковой быстрой закалки расплава [4–7], форма поперечного сечения получаемой ленты остается наиболее значимым критерием данного процесса, т.к. получаемый профиль должен отвечать стандартам, которым соответствуют изделия после горячей листовой прокатки металла. При этом характеристики формы ленты в отношении волнистости, коробоватости и серповидности являются основными показателями качества изделий. Температурное поле расплава и профиль валков могут оказывать существенное влияние на профиль и геометрическую стабильность быстрозакаленной ленты.

Геометрия сопла, вероятно, является одним из самых важных факторов, который влияет на распределение температуры в ванне расплава и как следствие, влияет на тепловой профиль банджа валка. Экспериментально установлено, что увеличение расхода расплава металла через сопло увеличивает температуру ванны расплава и тем самым, увеличивает тепловое расширение банджа валка (рис. 4).

На рис. 5 и 6 представлены экспериментальные данные влияния

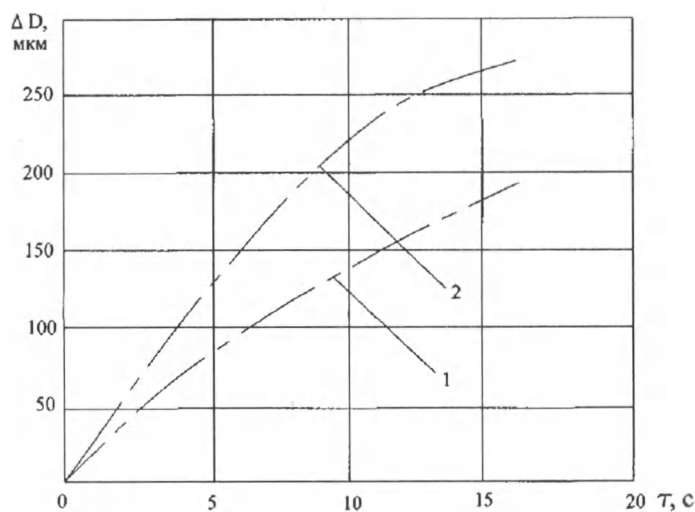


Рис. 4. Изменение диаметра валка в ходе процесса: 2 – в середине; 1 – у края валка

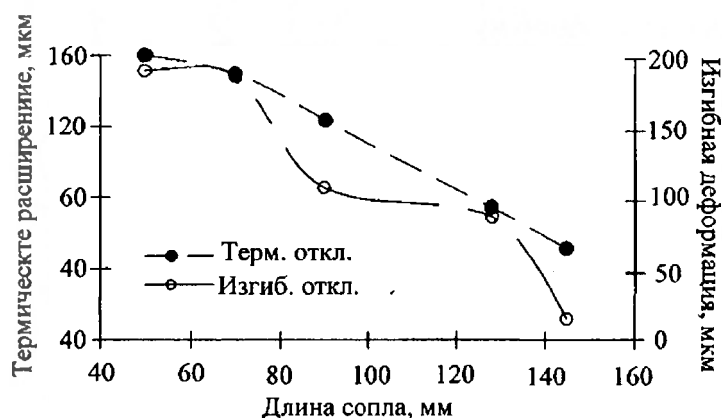


Рис. 5. Влияние длины сопла на термическое и изгибное отклонения

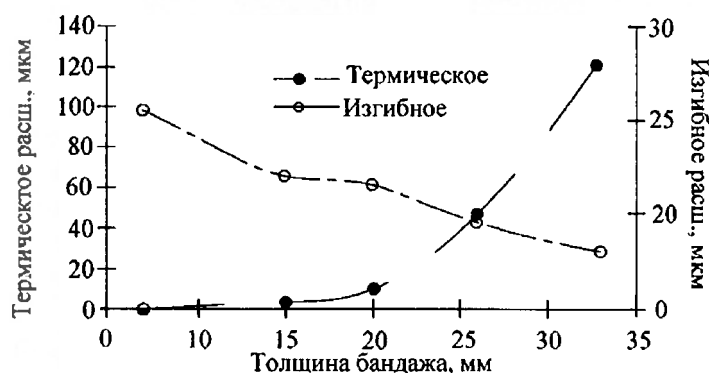


Рис. 6. Влияние толщины бандажа валка на термическое и изгибное отклонение профиля валка

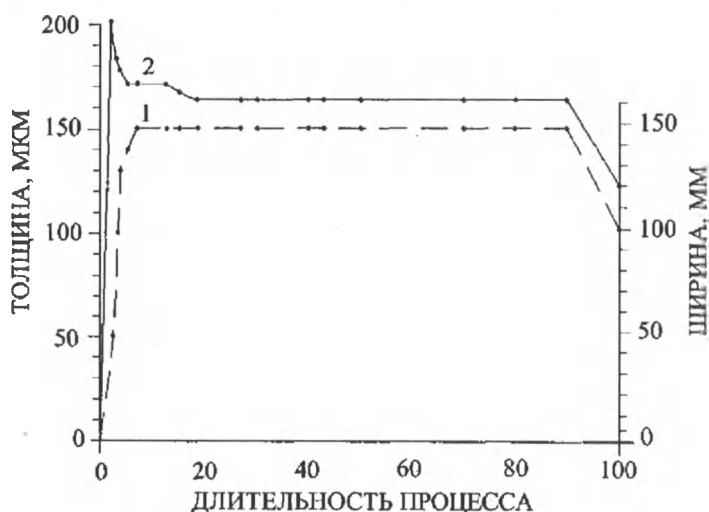


Рис. 7. Изменение геометрических параметров ленты в ходе процесса при использовании жестких бандажей: 1 — изменение ширины ленты и 2 — толщины (длительность всего процесса принята за 100 %)

длины сопла и толщины бандажа валка на термическое и изгибное отклонение профиля валка. Увеличение длины сопла при прочих равных условиях ведет к уменьшению неравномерности термического расширения валка и уменьшению изгибных деформаций профиля последнего. Это дает возможность получения более качественной с точки зрения плоскостности быстрозакаленной ленты. С другой стороны, увеличение толщины бандажа валка уменьшает изгибные деформации, однако увеличивает термическое набухание валка. Таким образом, при двухвалковой быстрой закалке расплава тепловой профиль бандажа определяет вогнутый профиль быстрозакаленной ленты, а изгибные деформации вследствие сжимающих сил и обеспечивающих устойчивость процесса прокатки замороженного металла и максимально возможный отвод тепла — выпуклый профиль ленты. Это говорит о необходимости поиска оптимальной толщины бандажа, диаметра и длины валков, а также усилий их сжатия, что обеспечит возможность управления профилем и геометрической стабильностью получаемой ленты.

Использование валков с жесткими бандажами в комплекте с боковыми ограничительными плитами (БОП), удерживающие расплав с торцов валков, позволяет увеличить высоту ванны и демпфировать колебания расхода [8]. Лента в этом случае получается со стабильной шириной (рис. 7) и ровными кромками, однако, форма поперечного сечения изменяется в начале процесса с чечевицеобразной на вогнутую.

Поверхность ленты в краевых участках имеет окалину, ширина которой увеличивается по мере протекания процесса. Такие изменения формы сечения ленты и ширины окалины на ее поверхности являются результатом большего температурного «набухания» в середине валка, придавая ему по мере протекания процесса бочкообразный профиль.

При получении ленты в вальках с гибкими бандажами, вальки, сплющиваясь в ходе процесса, создают возмущения и колебания ванны расплава, приводящее к пилообразным кромкам ленты (рис. 8). При этом, как видно из рис. 9, ширина ленты уменьшается по мере протекания процесса из-за уменьшения высоты расплава в печи и его подачи (его расхода) в створ вальков. Сравнение средней толщины с шириной (рис. 9) показывает большую чувствительность ширины к колебаниям ванны и изменению подачи расплава. Растекание расплава в створе вальков и дугообразный изгиб бандаж создает по всей длине чечевицеобразный профиль ленты и плохой контакт расплава с поверхностью валька в краевых участках. В результате на поверхности ленты в краевых участках образуется окалина (рис. 8).

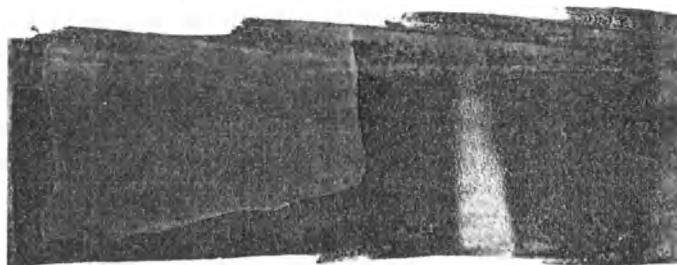


Рис. 8. Вид ленты, полученной в гибких бандажах, толщиной  $\delta=10$  мм

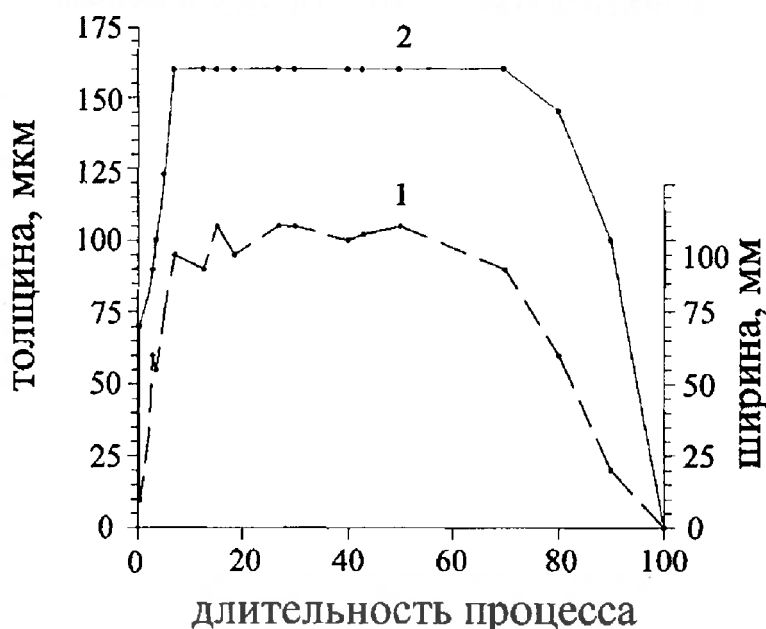


Рис. 9. Изменение геометрических параметров ленты в ходе процесса при использовании гибких бандажей: 1 – ширина ленты; 2 – толщина ленты; толщина бандаж  $\delta=10$  мм

### ВЫВОДЫ

Геометрия сопла является одним из самых важных факторов, который влияет на распределение температуры в ванне расплава и как следствие, влияет на тепловой профиль бандаж валька.

Изменение размеров поперечного сечения сопла путем независимого перемещения керамических стенок, а также выполнение боковых стенок под углом значительно расширяет технологические возможности процесса двухвальной быстрой закалки расплава для получения качественной ленты. Подогрев стенок обеспечивает возможность поддерживать постоянную температуру расплава в сопле, устраняет неравномерность и позволяет управлять температурным режимом в последнем.

При двухвалковой быстрой закалке расплава тепловой профиль бандаж определяет вогнутый профиль быстрозакаленной ленты, а изгибные деформации вследствие сжимающих сил и обеспечивающих устойчивость процесса прокатки замороженного металла и максимально возможный отвод тепла – выпуклый профиль ленты, что говорит о необходимости поиска оптимальной толщины бандаж, диаметра и длины валков, а также усилий их сжатия для обеспечения возможности управления профилем и геометрической стабильностью получаемой ленты.

Для получения лент со стабильной шириной и ровными кромками необходимо использовать валки с жесткими бандажами в комплекте с боковыми ограничительными плитами.

### Список использованных источников

1. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния. М.: Металлургия, 1982, 168 с.
2. Добаткин В.И., Елагин В.И., Федоров В.М. Быстрозакристаллизованные алюминиевые сплавы. М.: ВИЛС, 1995, 341 с.
3. Верещагин М.Н., Серебрянский Г.А., Холмогоров А.В. / Патент РФ № 424 6.05.1995. SV1788658 A1.
4. Литтершайдт Г., Хаммер Р., Шнайдер К. и др.; Литье полосы в двухвалковых кристаллизаторах – современный уровень развития фирмы Тиссен шталь // Черные металлы, 1991, № 3, стр. 46–51.
5. Yukumoto M., Shibuya K., Kan T. et al. in S.Steeb and H. Warlimont (eds), Analysis of the Solidification process in the roller quenching method, // Rapidly Quenched metals: North Holland, Amsterdam, 1985, p. 91–94.
6. Kasama A., Mizoguchi S., Miyazawa K. et al. A consideration on the rapid solidification of steels -solidification of steel by twin-roll caster-V/Fifth international Iron and Steel Congress, Steelmarking proceedings, Washington, 1986, book 1, vol. 69, p. 849–853.
7. Молотиллов Б.В., Запускалов Н.М., Сивин А.Н. Структура и свойства быстрозакаленного Fe-Si сплава. //Металловедение и термическая обработка металлов. 1992, № 9, с. 8–11.
8. Рубинштейн Л.И. Проблема Стефана. Рига.: Зайгзне, 1967, 457 с.

УДК 621.74

В.А. Калиниченко, А.С. Калиниченко, В.Я. Кезик

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКИХ ПЛОТНОСТЕЙ ЭНЕРГИИ

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Беларусь

*The machining of the metallic foam is rather difficult process due to the strict non-uniformity of the material. It is very complicated to obtain the certain form and the size as the high porosity and very small thickness of the pore's walls make the process of the mechanical machining very unstable. One of the processes to overcome problems of sizing is electrochemical treatment applying high density of energy. The process is enable to machine the aluminium foam without any crumpling of material.*