

УДК 621.771.23.669.71

А. В. Ноговицын, И. Р. Баранов

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

СКОРОСТЬ ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ И СТАЛЬНЫХ ПОЛОС НА ДВУХВАЛКОВЫХ МАШИНАХ

Проведен анализ влияния основных параметров процесса валковой разливки-прокатки на скорость разливки алюминиевой и стальной полосы. Представлены максимальные расчетные скорости разливки металла, показано сравнение их с промышленными машинами, эксплуатируемыми в настоящее время.

Ключевые слова: валковая разливка-прокатка, зоны кристаллизации и деформации, межвалковое пространство, пластическая деформация, фронт кристаллизации.

Проведено аналіз впливу основних параметрів процесу валкової розливки-прокатки на швидкість розливання алюмінієвої і сталевий смуги. Представлено максимальні розрахункові швидкості розливання металу, показано порівняння їх з промисловими машинами, які експлуатуються в даний час.

Ключові слова: валкова розливка-прокатка, зони кристалізації та деформації, міжвалковий простір, пластична деформація, фронт кристалізації.

This paper analyzes the influence of the main parameters of the process of casting a roll-on roll casting speed aluminum and steel strip. Also presented a maximum design speed metal casting and comparison with currently operating industrial machines.

Keywords: roller casting-rolling, crystallization zone, the zone of deformation, the roll space, plastic deformation, the crystallization front.

Непосредственное получение полосы с помощью двухвалкового литья стало обычной практикой в алюминиевой промышленности. По данным работы [1] около 170 двухвалковых машин сейчас находятся в эксплуатации. В сталелитейной промышленности исследования и разработки направлены на начало широкого внедрения двухвалковых установок для литья стальной полосы [2-3]. Важнейшим

Новые методы и прогрессивные технологии литья

параметром технологии валковой разливки, определяющим качество полосы и производительность установки, является скорость вращения валков-кристаллизаторов. Литературные данные о достигнутых и расчетных скоростях разливки весьма противоречивы. Так, в работе [1] отмечается, что в алюминиевой промышленности двухвалковые машины эксплуатируются со скоростью, которая в 40-60 раз меньше, чем предсказано теоретически. Существенно различаются данные и о достигнутых скоростях разливки стальных полос [2].

Отмеченные факты связаны с тем, что процесс получения полосы в валковом литейно-прокатном агрегате является своеобразным. Металл при валковой разливке-прокатке, согласно известным сложившимся представлениям [4], проходит три зоны в межвалковом пространстве (рис. 1).

В зоне I происходит интенсивная передача тепла от жидкого расплава к водоохлаждаемым валкам-кристаллизаторам. На начальном участке этой зоны при кон-

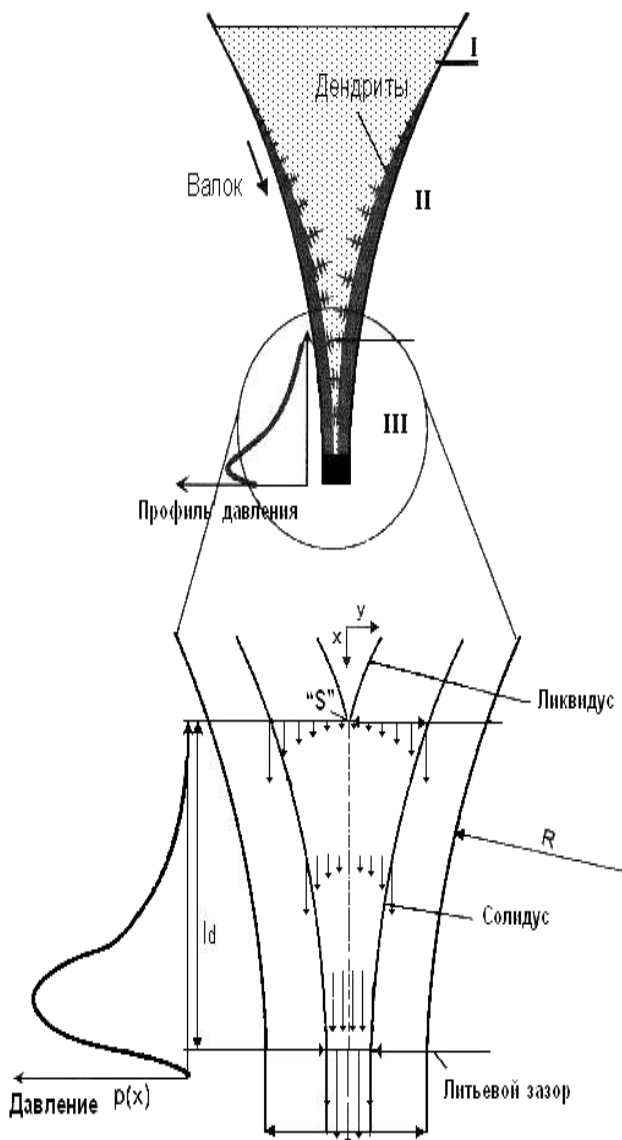


Рис. 1. Схема сечения межвалкового пространства при прохождении жидкого металла в процессе валковой разливки-прокатки по В. Клоусу [6]

также охлажденных валков с расплавом, перегретым выше температуры ликвидуса, не происходит формирование слоя затвердевшего металла на их поверхности. Эта подобласть характеризуется незначительной протяженностью и максимальными значениями скорости охлаждения по длине зоны кристаллизации-деформации.

В зоне II после образования на поверхности валка сплошной корки затвердевшего материала начинается участок, на котором со стороны обоих валков происходит ее рост. Для этой подобласти характерно уменьшение значения величины теплового потока на границе металл-валок до достижения его минимума. Во второй зоне выделяется подобласть, в которой металл находится в полужидком состоянии. Температура металла на этом участке лежит между температурами ликвидуса и солидуса. Зарождающиеся и растущие навстречу друг другу столбчатые дендриты стыкуются, определяя протяженность зоны кристаллизации. При контакте металла с валком из-за контакта между дендритами растет давление, что приводит к интенсификации теплоотбора к валкам-кристаллизаторам.

В зоне III происходит деформация кристаллов и начинается отрыв заготовки от поверхности валка-кристаллизатора. В зоне деформации жидкая фаза полностью отсутствует. Здесь по аналогии с процессом горячей прокатки листов осуществляется пластическое формоизменение металла между вращающимися валками.

Из приведенного следует, что процесс валковой разливки-прокатки включает в себя много сложных взаимодействующих физических явлений, таких как поток жидкости, теплообмен, затвердевание, воздушный зазор между валкам формирования полосы, а также механическая деформация, каждый из которых происходит в очень короткий период. Очень важной задачей является оценка влияния всех параметров процесса на производительность и качество конечного продукта.

При получении полос толщиной 10 мм из легкоплавких металлов с низким сопротивлением деформации, например, алюминия [5], протяженность зоны деформации вследствие заниженных скоростей разливки составляет 0,6-0,8 длины общей протяженности всех трех зон. Обжатие полосы в зоне деформации достигает 40-60 %.

При разливке стальных полос валки-кристаллизаторы не в состоянии обеспечить большие обжатия из-за недостаточной прочности и жесткости бандажей. Поэтому скорости разливки стальных полос на практике гораздо выше, чем у алюминиевых. Повышенные скорости разливки стальных полос приводят к уменьшению относительной протяженности зоны деформации до 10 %, а обжатие полосы в зоне деформации не превышает 15 %.

Важной характеристикой процесса формирования полосы в валковом кристаллизаторе является положение точки конца затвердевания относительно плоскости оси валков (точки «S»), см. рис. 1.

Идеальна ситуация, когда затвердевание завершается в плоскости осей валков. Если точка «S» значительно выше плоскости осей валков, усилие на валки резко возрастает и необходимо иметь более высокую установленную мощность привода и прочность конструкции валков-кристаллизаторов. Наоборот, если фронт кристаллизации (точка «S») соответственно ниже при литье сверху и выше при литье снизу, происходит образование жидкой лунки, что приводит к деформации с жидкой сердцевинкой и вытекающими отсюда последствиями – усилением ликвационных процессов в полосе.

Известно, что образование и рост металлической корки во второй зоне межвалкового пространства с достаточной степенью достоверности можно описать функцией квадратного корня

$$\delta = k\sqrt{\tau}, \quad (1)$$

где k – коэффициент кристаллизации, мм/с^{0,5}; τ – время, с.

Новые методы и прогрессивные технологии литья

В предыдущих работах авторами был получен простой математический метод определения протяженности зоны кристаллизации-деформации, а также коэффициенты кристаллизации для алюминия ($k = 7,4 \text{ мм/с}^{0,5}$) и стали ($k = 4 \text{ мм/с}^{0,5}$), максимально приближенные к экспериментальным данным. Для анализа и оценки полученных результатов были использованы данные исследований А. Касама и других [5], для валковой разливки-прокатки стали – С. Берковича [7], для алюминия – А. Ю. Гридина [8].

Располагая данными различных параметров машин валковой разливки-прокатки и коэффициентами кристаллизации металла, в данной работе провели анализ влияния этих параметров на скорость разливки.

В работе [9] указано, что степень деформации, обеспечивающая хорошее качество металла при обработке стали, должна составлять не менее 15 %. Для алюминия и его сплавов согласно данным [10] затвердевшую полосу в валковом кристаллизаторе необходимо обжечь как минимум на 20-30 %.

На рис. 2 показаны результаты расчета скоростей разливки стальных и алюминиевых полос различной толщины от 1 до 5 мм с обжатием 15 и 30 % при различных значениях диаметра валков. Из полученных данных следует, что валковая разливка-прокатка с относительным обжатием приводит к заметному снижению скорости разливки. Так, для алюминиевой полосы толщиной 1 мм при обжатии 30 % в валках

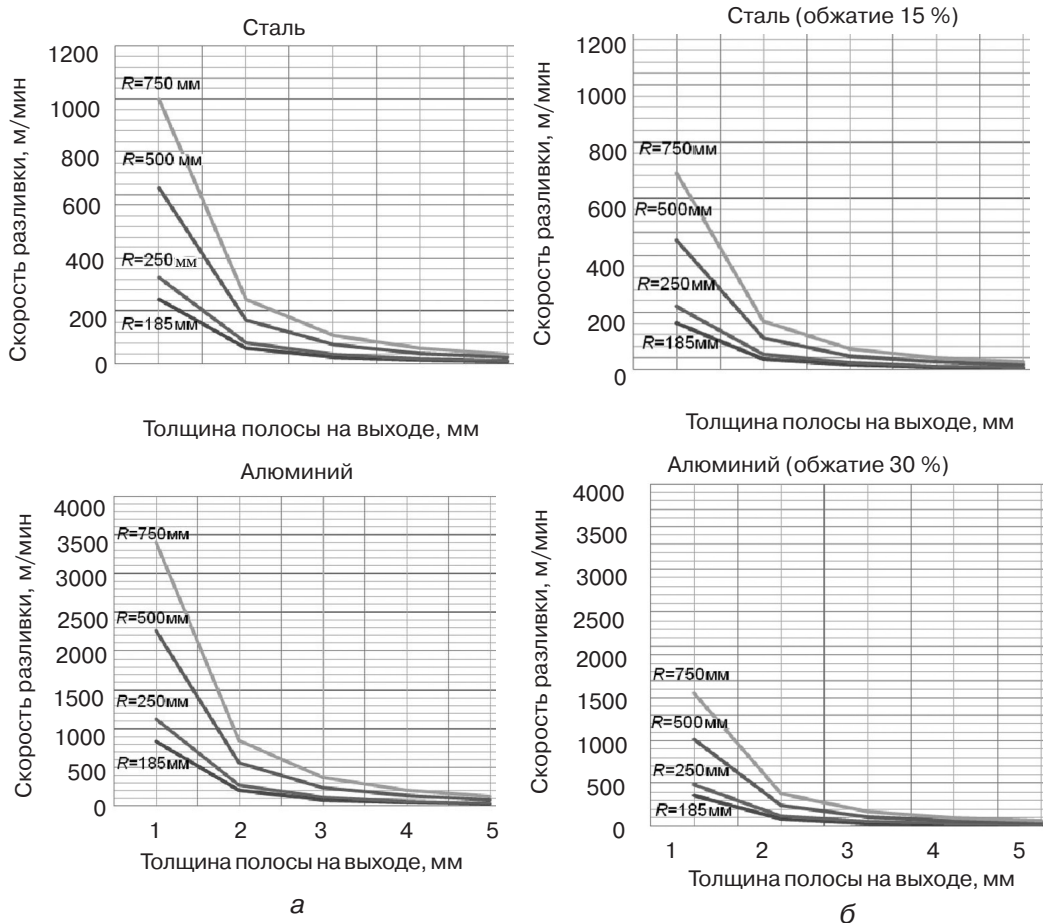


Рис. 2. Зависимость расчетной максимальной скорости разливки металла от толщины выходной полосы для различных диаметров валков: а – с обжатием; б – без обжатия

диаметром 500 мм скорость разливки снижается с 1125 до 484 м/мин, а для стальной полосы толщиной 2 мм при обжатии 15 % – с 164 до 52 м/мин.

На рис. 3 приведены зависимости расчетной скорости разливки стальных полос различной толщины (h_n) в валках-кристаллизаторах с радиусом $R = 500$ мм при значениях угла контакта металла с валком $\alpha = 10, 20$ и 30° без деформации и с деформацией 15 %. Как видно из полученных данных, увеличение угла контакта металла с валком α (уровня заливки металла) приводит к росту максимальной расчетной скорости разливки-прокатки. Для полосы толщиной 1 мм, полученной как с нулевым обжатием так и с обжатием 15 %, увеличение угла кристаллизации-деформации на 10° приводит к росту максимальной предельной скорости в 2 раза.

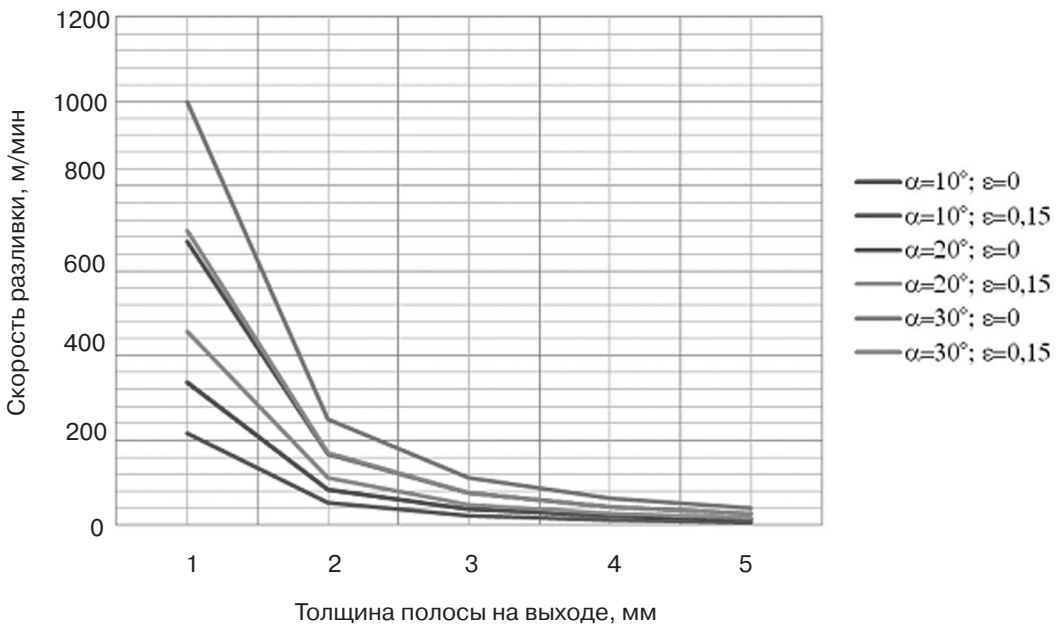


Рис. 3. Зависимость расчетной максимальной скорости стальных полос ($K = 4$ мм/с)^{0,5} различной толщины (h_n) от угла зоны кристаллизации – деформации α , для радиуса валков $R = 500$ мм и различной степени деформации

Следует отметить, что полученные результаты расчетных предельных скоростей разливки-прокатки для стальных полос соотносятся с рабочими параметрами существующей коммерческой установки компании Nucor, запущенной в эксплуатацию в 2002 г. Так, рабочий диаметр валков установки Castrip составляет 500 мм, толщина полосы – 1,6 мм, основная рабочая скорость разливки – 80 м/мин. Приняв во внимание данные параметры, с помощью графиков, приведенных на рис. 2, можно увидеть, что литье полосы происходит примерно с 15 %-ным обжатием.

По итогам проведенного анализа влияния различных параметров процесса валковой разливки-прокатки на скорость разливки можно сделать следующие выводы:

- скорость валковой разливки-прокатки металлических полос наиболее существенно зависит от толщины получаемых полос, диаметра валков-кристаллизаторов, соотношения протяженности зон кристаллизации и деформации – величины обжатия затвердевшего металла;
- уровень заливки металла (угол кристаллизации-деформации) в значительной степени влияет на производительность процесса;
- полученные результаты анализа могут быть использованы при проектировании валковых литейно-прокатных агрегатов (ВЛПА) и разработке технологий получения на ВЛПА металлических полос толщиной 1-5 мм.



Список литературы

1. *B. Q. Li*. Producing thin Strips by Twin-roll Casting Part I: Process Aspects and Quality Issues. // *Journal of Metals*. – 1995. – № 5. – P. 29-33.
2. *Матвеев Б. Н.* Непрерывная отливка тонких полос на микрозаводах с применением валковых кристаллизаторов // *Производство проката*. – 2004. – № 3. – С. 44-47; 2004. – № 4. – С. 33-41.
3. The Castrip Process – an Update on Process Developed at Nucor Steel’s First Commercial Strip Castility / *V. Schueren, P. Campbell, W. Blegde et. al.* // *Iron & Steel Technology*. – 2008. – № 7. – P. 64-70.
4. Twin-drum Casting Process for Stainless Steel Strip: International Conference on New Smelting Reduction and Near-Net-Shape Casting Technology for Steel / *A. Kasama, S. Tanaka, Y. Itohi et. al.* – 1990. – P. 643-652.
5. *Черняк С. Н., Коваленко П. А., Симонов В. Н.* Бесслитковая прокатка алюминиевой ленты. – М.: *Металлургия*, 1976. – 136 с.
6. *Klos W.* *Dunnbandgießen mit variablem Gießspalt* // *Zugl.:Aachen, Techn. Hochsch., Diss 2004.* – S. 29-33.
7. *Berkovici S. J.* *Optimisation of 3C Roll Caster by Automatic Control* // *Proc. of Conference “Light Metals”, TMS.* – New York, 1985. – P.1285-1299.
8. *Гридин А. Ю.* Экспериментальный метод определения длины зоны деформации при непрерывной валковой разливке-прокатке // *Вестник национального технического университета «ХПИ».* – 2010. – Вып. 42. – С. 48-58.
9. *Бровман М. Я., Николаев В. А., Полухин В. П.* Протяженность зоны пластической деформации и допустимая скорость при бесслитковой прокатке // *Металлы.* – 2007. – № 1. – С. 44-49.
10. *Ferry M.* *Direct Strip Casting of Metals and Alloys.* – Cambridge: *Woodhead Publishing Limited*, 2006. – 292 p.

Поступила 18.02.2013

Уважаемые подписчики!

*Подписаться на журнал «Процессы литья»
через Интернет
можно на сайте ГП «Пресса» www.presa.ua
с помощью сервиса «Подписка On-line».*
