

УДК 621.771.06:669.71

Гридин А. Ю.

ВЛИЯНИЕ НАЛИПАНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА НА ПРОФИЛЬ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ БЕССЛИТКОВОЙ ПРОКАТКЕ

Технология производства тонких полос из стали и сплавов алюминия и магния валковой разливкой-прокаткой является на сегодняшний день одной из наиболее перспективных с точки зрения обеспечения энерго- и ресурсосбережения, а также улучшения экологичности [1, 2]. Как и при других процессах обработки металлов давлением, бесслитковая прокатка характеризуется интенсивным взаимодействием материала с инструментом. Одной из характерных особенностей, присущей как процессам горячей деформации так и валковой разливке-прокатке, является локальное сваривание частичек деформируемого металла с инструментом, известное в технической литературе как налипание. В результате данного эффекта искажается геометрия поверхности инструмента и, как правило, ухудшается качество поверхности продукта.

Из технической литературы известно, что профиль рельефа поверхности подложки-кристаллизатора оказывает существенное влияние на образование зародышей кристаллизации в расплаве и на интенсивность теплообмена между жидким и твердым материалами. При валковой разливке-прокатке задача обеспечения стабильного формирования бездефектных тонких полос за отрезок времени, ограниченный долями секунд, является первостепенной. В свою очередь оптимизация топографии рабочего инструмента представляет собой одно из направлений по улучшению условий кристаллизации в межвалковом пространстве и связанного с ними качества получаемого плоского продукта. Первое предложение по созданию детерминированного профиля бандажей для агрегатов бесслитковой прокатки было запатентовано японскими исследователями в 1992 году [3]. Примерно в это же время свет увидел ряд патентов, представленных американскими и японскими специалистами, где идея предварительного микропрофилирования рабочей поверхности валков получила свое развитие [4, 5, 6]. При этом структурирование поверхности инструмента предлагалось выполнять либо путем нанесения локальных углублений глубиной от 5 мкм до 100 мкм [3, 4], так и в виде множества повторяющихся по ширине бочки бандажа канавок глубиной не менее 10 мкм, выполняемых как параллельно оси валка [5], так и в тангенциальном направлении [6]. Теоретические выкладки, посвященные изучению взаимодействия расплавленной стали с профилированной поверхностью водоохлаждаемых валков-кристаллизаторов были предложены к рассмотрению в более поздних работах [7, 8]. Вместе с тем, в рассмотренных источниках отсутствуют какие-либо сведения об изменении топографии бандажей при валковой разливке-прокатке в ходе эксплуатации инструмента в условиях налипания на него обрабатываемого материала.

Снижение адгезии металла к валкам возможно путем организации непрерывного нанесения на поверхность бандажей тонкого разделяющего смазочного слоя [9, 10]. С другой стороны, разделяющий слой уменьшает теплоотбор от металла к водоохлаждаемым бандажам, снижает скорость формирования полосы из расплава и не всегда приемлем к использованию.

Целью данной работы является экспериментальный анализ эволюции топографии бандажа при валковой разливке-прокатке на примере обработки высокопрочного термостойкого сплава 6082 системы Al-Mg-Si в условиях реализации процесса без разделительного смазочного слоя.

Для проведения экспериментов использовалась оригинальная лабораторная установка валковой разливки-прокатки с интенсифицированным охлаждением, конструкция и технические характеристики которой подробно рассмотрены в работе [11]. Рабочий инструмент

оборудования – водоохлаждаемые изнутри бандажированные валки-кристаллизаторы – изготовлен из теплостойкой штамповой стали X38CrMoV5-3, имеет внешний диаметр равный 370 мм и ширину бочки валка 200 мм. Разработанная установка бесслитковой прокатки позволяет производить полосы толщиной от 1 мм до 5,5 мм со скоростью до 8 м/мин.

Для облегчения условий кристаллизации расплава на рабочей поверхности бандажей по винтовой линии были выполнены периодические продольные канавки глубиной около 10 мкм и шириной около 300 мкм. Измерение изменения топографии валков-кристаллизаторов осуществлялось при помощи мобильного конфокального оптического микроскопа фирмы Keyence, оснащенного телескопическим объективом с диапазоном увеличения от 20-ти до 200-кратного. Данный прибор позволяет контролировать рельеф поверхностей с точностью до 0,1 мкм. Измерения топографии инструмента проводились до и после экспериментов по валковой разливке-прокатке в одном и том же месте на рабочей поверхности бандаж. Для обеспечения точности повторной установки микроскопа в одно и то же положение на бандаж были нанесены керновые отпечатки, между которыми и проводились соответствующие замеры.

Первая серия измерений по контролю рельефа поверхности валка-кристаллизатора реализовывалась в ходе проведения экспериментов по производству полосы толщиной 3 мм из термоупрочняемого алюминиевого сплава 6082. Основными легирующими элементами алюминиевого сплава 6082 являются магний, кремний и марганец, содержание которого может достигать 1 %. Дополнительное легирование марганцем в данном сплаве вызывает замедление процессов рекристаллизации при горячей пластической деформации и способствует формированию мелкозернистой структуры материала. Наряду с относительно высоким для сплавов системы Al-Mg-Si содержанием других легирующих элементов, это приводит к росту предела прочности сплава в результате упрочняющей термической обработки до величин более 310 МПа. Химический состав использованного для проведения экспериментов материала приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав использованного сплава 6082

Легирующие элементы	Si, %	Fe, %	Cu, %	Mn, %	Mg, %	Cr, %	Zn, %	Другие, %	Al, %
Содержание	1,12	0,391	0,084	0,51	0,77	0,03	0,068	0,073	96,954

Подробное описание использованных технологических режимов получения полос из данного сплава валковой разливкой-прокаткой описано в работах [12]. Основными неизменяемыми параметрами бесслитковой прокатки в данном случае являлись температура разливки, равная 700 °С, скорость разливки, которая составила 3,5 м/мин, а также общая протяженность зоны кристаллизации-деформации, установленная на уровне 45 мм. После каждого эксперимента фиксировалась длина произведенного плоского продукта, а также осуществлялся замер топографии бандаж в контрольной области. Очистка поверхности инструмента между опытами не проводилась. В результате проводимых измерений были получены увеличенные фотографии поверхности валка со следами налипания обрабатываемого материала (см. рис. 1), а также данные о высоте профиля рельефа бандаж вдоль линии, выделенной на рис. 1 красным цветом.

Как видно из рис. 1, после валковой разливки-прокатки полос из сплава 6082 общей длиной 16 м периодический продольный рельеф на поверхности инструмента сохраняется. Следует отметить, что подобная картина являлась характерной для каждого из произведенных на мобильном конфокальном оптическом микроскопе снимков. Кроме того, незначительные следы налипания на бандаж материала наблюдаются на исходной очищенной

рабочей поверхности инструмента, что, вероятно, является свидетельством недостаточной эффективности выбранного метода химической очистки валков-кристаллизаторов при помощи 15 %-го раствора щелочи NaOH.

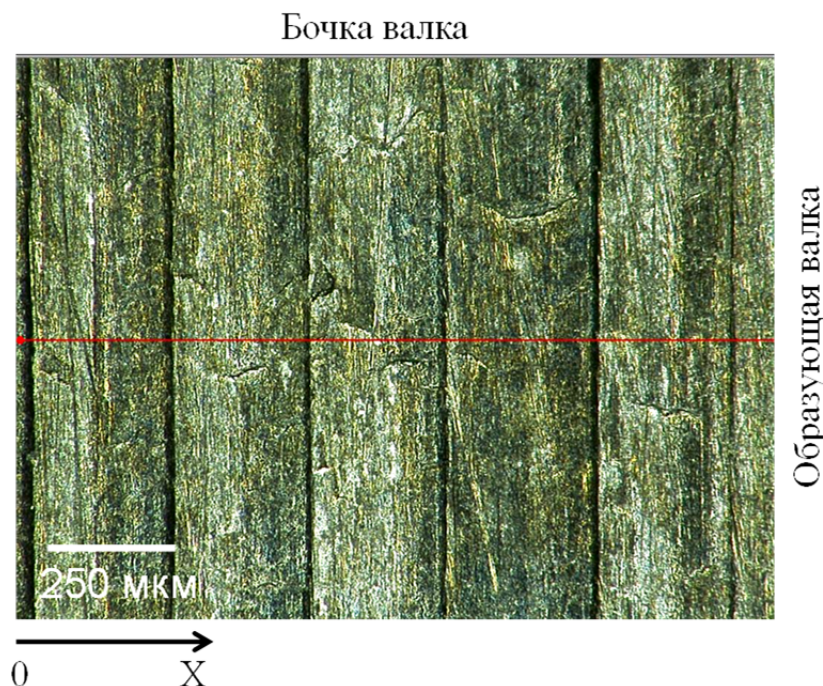


Рис. 1. Рельеф поверхности валка-кристаллизатора в контролируемой области после производства полос толщиной 3 мм из сплава 6082 общей длиной 16 м

На рис. 2 и 3 приведены примеры измерений топографии бандажей валков до валковой разливки-прокатки и после валковой разливки-прокатки полос из сплава EN AW-6082 общей длиной 23,54 м.

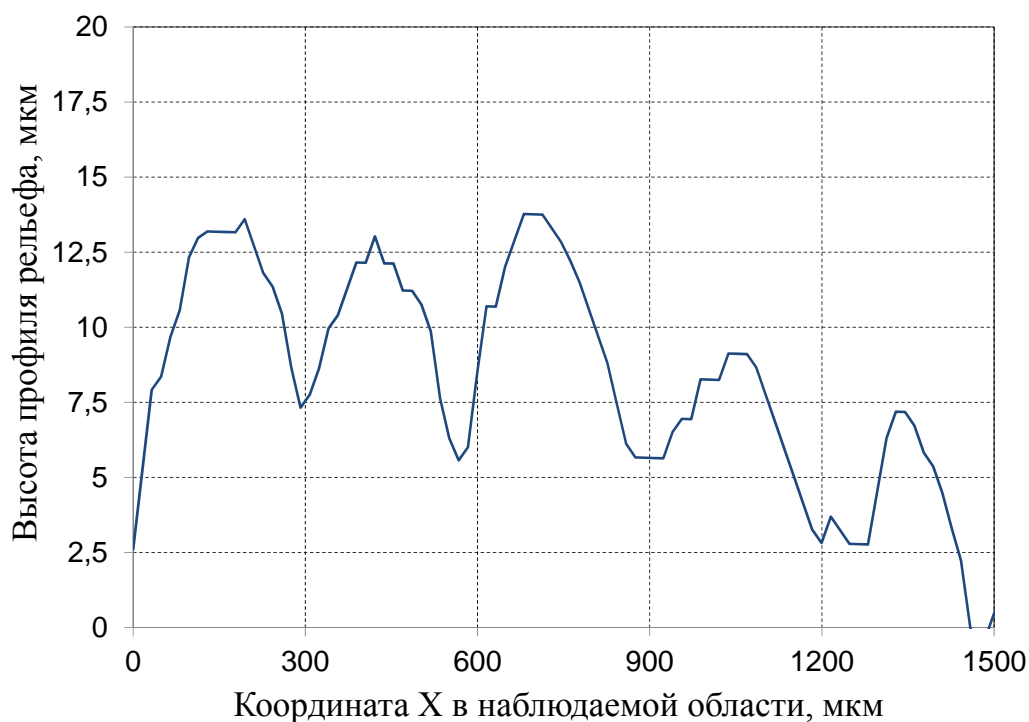


Рис. 2. Топография валка-кристаллизатора в наблюдаемой области вдоль бочки бандажа перед экспериментами по валковой разливке-прокатке

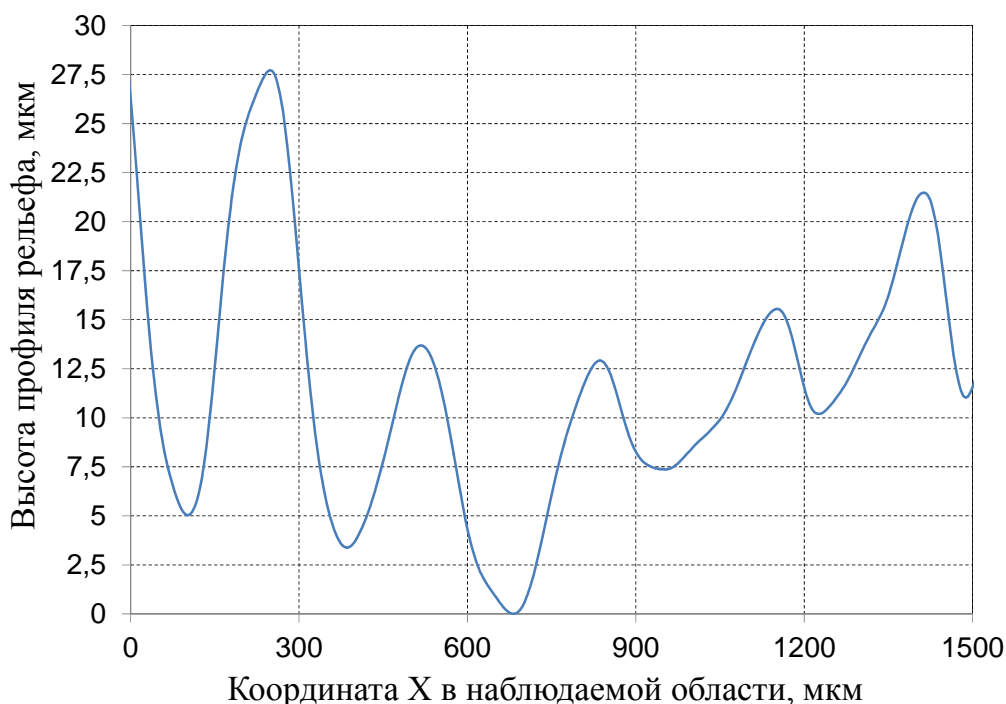


Рис. 3. Топография валка-кристаллизатора в наблюдаемой области вдоль бочки бандажа после валковой разливки-прокатки полос общей длиной 23,54 м

Из графиков видно, что профиль рельефа действительно является периодическим, причем данный характер рельефа сохраняется и после налипания на валки-кристаллизаторы алюминиевого сплава. Ширина одного периодического элемента составляет около 300 мкм. Глубина рельефа колеблется на валке, подвергнутом очистке, от 6,3 до 10,6 мкм. Средняя ее величина составила 7,9 мкм. После осуществления на лабораторной установке серии валковых разливок-прокаток полос общей длиной 23,54 м колебания глубины продольного рельефа увеличились от минимальной величины 8,1 мкм до максимального значения 25,8 мкм. Средняя глубина периодических также канавок увеличилась до 11,54 мкм. Обобщенная по результатам измерений топографии рабочей поверхности инструмента зависимость изменения поперечного – вдоль бочки бандажа наблюдаемой области - профиля рельефа бандажа от налипания на него алюминиевого сплава 6082 в ходе производства полос соответствующей общей длины приведена на рис. 4.

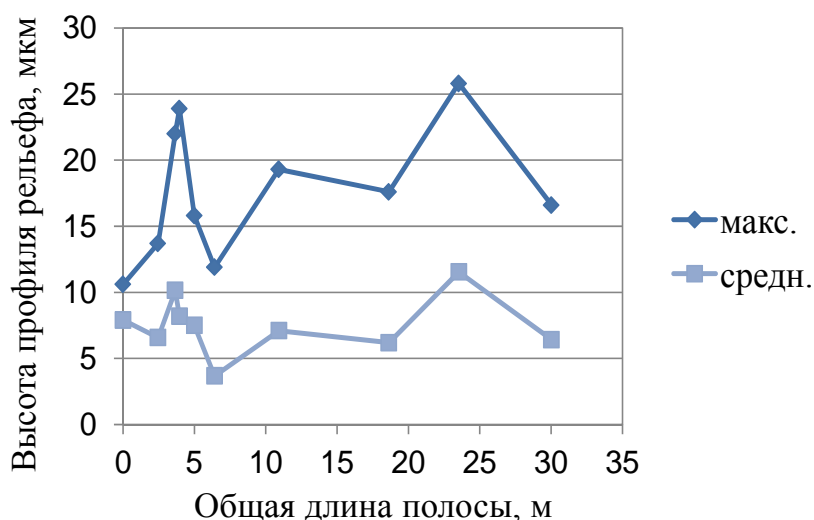


Рис. 4. Изменение топографии бандажа при валковой разливке-прокатке полос из алюминиевого сплава 6082

Анализ изменения глубины рельефа профиля валка вследствие налипания на его поверхность обрабатываемого материала показывает, что топография банджа претерпевает изменения циклического характера. Наблюдается «самоочищение» рабочей поверхности инструмента, происходящее в результате локального роста на элементах периодического профиля рельефа слоя налипшего алюминиевого сплава до некоторых критических значений, после достижения которых напряжения адгезии между налипшим слоем и формируемой полосой превышают напряжения сцепления между налипшим материалом и валком. Таким образом, при производстве полос толщиной 3 мм из алюминиевого сплава 6082 выбранный для облегчения кристаллизации металла профиль рельефа поверхности банджа работает в условиях близких к оптимальным. Дополнительные операции промежуточной очистки в данном случае не требуются.

ВЫВОДЫ

В ходе проведения серии экспериментов по валковой разливке-прокатке полос толщиной 3 мм из термоупрочняемого алюминиевого сплава 6082 впервые были экспериментально проанализированы закономерности налипания обрабатываемого материала на рабочую поверхность банджей и его влияние на топографию валков. Установлено, что изменение рельефа поверхности инструмента от налипания металла носит при получении плоского продукта из сплава 6082 циклический характер, а периодический профиль рельефа сохраняется.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ge S. *Progress of strip casting technology for steel; historical development* / S. Ge, M. Isac, R.I.L. Guthrie // *ISIJ International*. – 2012. – Vol. 52(№12). – P. 2109–2122.
2. Коновалов Ю. В. *Настоящее и будущее литейно-прокатных агрегатов* / Ю. В. Коновалов // *Производство проката*. – 2010. – № 1. – С. 21–38.
3. Minamida K. *Cooling drum for casting thin cast piece; device for and method of forming dimples on peripheral surface of said drum* / K. Minamida, M. Kido, F. Nishizawa // EP0577833A. – Published 23.07.1992.
4. *Method and apparatus of continuously casting a metal sheet* / Furuya T., Kasama A., Takeuchi H., Fujii M., Oka H., Matsumura S., Itoh Y., Sasaki K., Yamamoto K. // EP0409645B1. – Published 3.11.1993.
5. Yukumoto M. *A pair of cooling rolls for a twin-roll type cooling apparatus for producing rapidly solidified strip* / M. Yukumoto, M. Ozawa, H. Yamane // EP0396862B1. – Published 4.05.1994.
6. Mahapatra R. *Casting stainless steel strip on surface with specified roughness* / R. Mahapatra, J. Freemann, L. Strezov // WO095/13889. – Published 26.05.1995.
7. Badowski M. *Die Primärerstarrung beim Dünnbandgießen – Einfluss auf die Bandbildung und Produktqualität. Umformtechnische Schriften. Band 129. – Aachen: Shaker Verlag, 2005. – 182 s.*
8. Lauscher J. *Verbesserung der Oberflächenqualität von Gießrollen für das Dünnbandgießen nach dem Zwei-Rollen-Verfahren. Umformtechnische Schriften. Band 144. – Aachen: Shaker Verlag, 2008. – 138 s.*
9. Yun M. *Twin roll casting of aluminium alloys* / M. Yun, S. Loky, J. D. Hunt // *Materials Science and Engineering A*. – 2000. – Vol. 280. – P. 116–123.
10. Basson F. *Aluminium twin roll casting transfers benefits to magnesium* / F. Basson, D. Letzig // *Aluminium International Today*. – 2010. – Nr. 12. – P. 19–21.
11. Экспериментальная установка валковой разливки-прокатки тонких полос / А. Ю. Гридин, И. К. Огинский, В. Н. Данченко, Фр.-В. Бах // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – № 5. – С. 46–51.
12. Гридин А. Ю. *Получение полос из высокопрочных алюминиевых сплавов валковой разливкой-прокаткой* / А. Ю. Гридин, М. Шапер, В. Н. Данченко // *Обработка металлов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 3(28). – С. 184–194.*

Гридин А. Ю. – канд. техн. наук, доц. НМетАУ.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: grydin@gmail.com

Статья поступила в редакцию 22.10.2013 г.