

ефективним трення, отриманим в ТС-1 в стані поставки;

– загальний вигляд поверхностей трення показує, що нароботанні трибологічні плівки на поверхнях трення, які працювали в обробленому ЕМП

авіаотопливні ТС-1 і бензині А-92, є більш рівномірними і щільними, порівняно з аналогічними параметрами зразків працюючих в цих же середовищах в стані поставки.

Література

1. Підвищення ресурсу технічних систем шляхом використання електричних і магнітних полів : монографія / Е. Е. Александров, І. А. Кравець, Е. П. Лысиков, О. В. Солов'єв, А. А. Тропіна. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2006. – 544 с.
2. Кравець, І. А. Ремонтна регенерація трибо систем / І. А. Кравець – Т.: Видавництво Березанського агротехнічного інституту, 2003. – 284 с.
3. Евдокимов, А.Ю. Смазочні матеріали і проблеми екології : навч. посібник / А. Ю. Евдокимов, І.Г. Фукс, Т.Н. Шабалина. – М.: ГУП Нефть і газ, 2000. 424 с.
4. Морозов, В.И. Вплив електрофізичного впливу на експлуатаційні властивості дизельного палива / В.И. Морозов, Я.Е. Белоконь, А.И. Окоча. // Исследования процессов подготовки, применения и контроля качества авиаГСМ и спецжидкостей. – 1992. № 5. – С. 94–98.
5. Баженов Ю.В. Трибоелектризація масла і дизельного палива // Ю.В. Баженов, Ю.А. Микипорис, А.Н Павлов // Треніє і смазка в машинах і механізмах. - 2006. № 10. - С. 24–27.
6. Трофімов, І. Л. Підвищення триботехнічних властивостей палив і олів електричним полем / І. Л. Трофімов // Вопросы химии и химической технологи. – №3/2010. – С. 132–137.
7. Trofimov, I. Study of antiwear properties of ts-1 jet fuel treated with electric field / I.L. Trofimov, N.N. Zakharchuk // Systems and means of motor transport (selected problems), by Politechnika Rzeszowska. – Rzeszow, Poland. – p. 295-301.
8. Пат.72848 Україна. F02M 27/00, F02M 27/04 (2006.01). Спосіб обробки палива / Андрієвський А.П., Матвєєва О.Л., Нечосов В.В.; заявники і власники Андрієвський А.П., Матвєєва О.Л., Нечосов В.В. – № u2012 03103; заявл. 16.03.2012; опубл. 27.08.2012, Бюл. №16.
9. Пат.72858 Україна. B01D 36/00, F02M 27/04 (2006.01). Фільтр-активатор палива / Андрієвський А.П., Матвєєва О.Л., Нечосов В.В.; заявники і власники Андрієвський А.П., Матвєєва О.Л., Нечосов В.В. – № u2012 03245; заявл. 19.03.2012; опубл. 27.08.2012, Бюл. №16.
10. Свирид, М.М. Комплекс для дослідження триботехнічних параметрів вузла тертя / М.М. Свирид, В.Г. Парашанов, А.В. Онищенко // Проблеми тертя та зношування. – 2006, № 45. – С. 204–209.

УДК 550.34.03.49

ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИНЕЙНОЙ УСАДКИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ АЛЮМИНИЯ

Ю. П. Таран

Инженер

ПАО «Запорожский

алюминиевый комбинат»

ул. Южное Шоссе, 15,

г. Запорожье, Украина, 69032

E-mail: upt2010@ukr.net

Швидкісний процес безперервного лиття алюмінію характеризується нерівномірним теплообміном по довжині злитку. В результаті утворюється лінійна усадка металу, змінюється довжина відливої заготовки. Існуючі системи автоматичного керування, що працюють по відхиленню довжини заготовки, не забезпечують потрібної якості регулювання, тому при удосконаленні системи автоматичного керування довжиною заготовки актуальним завданням є дослідження закономірностей утворення лінійної усадки

Ключові слова: алюмінієва катанка, лінійна усадка, система керування ливарно-прокатним модулем

Скоростной процесс непрерывного литья алюминия характеризуется неравномерным теплообменом по длине слитка. В результате образуется линейная усадка металла, изменяется длина отливой заготовки. Существующие системы автоматического управления, работающие по отклонению длины заготовки, не обеспечивают нужного качества регулирования, поэтому при совершенствовании системы управления длиной отливой заготовки актуальной задачей является исследование закономерностей образования линейной усадки

Ключевые слова: алюминиевая катанка, линейная усадка, система управления литейно-прокатным модулем

1. Введение

Производство алюминиевой катанки методом непрерывного литья и проката металла является одним из самых эффективных способов получения данной продукции. Процесс непрерывного литья алюминия характеризуется получением заготовки неограниченной длины. Благодаря непрерывности литья при кристаллизации алюминия достигается полная равномерность структуры слитка по его длине, повышается качество металла. Однако эти показатели хуже, чем у металла, подвергнутого последующей обработке давлением, т.е. прокатке. В связи с этим процессы непрерывного литья и прокатки были объединены в одном агрегате - литейно-прокатном модуле - ЛПМ.

Литейно-прокатный модуль - это высокоэффективный металлургический агрегат непрерывного действия, объединяющий в себе литейную машину роторного типа, на которой реализуется направленный скоростной процесс слиткообразования алюминия и прокатный стан, где из отлитой заготовки вытягивается проволока. После прокатки, полученная катанка попадает на автоматизированное наматывающее устройство, где формируются бунты заданного веса [1, 2, 3].

Количество выпускаемой продукции на технологических линиях непрерывного литья и проката алюминия диктуется потребностями мирового рынка в электротехнической катанке и включает в себя широкий спектр разновидностей проволоки по твердости и диаметру. В тоже время, конкурентоспособность получаемой продукции зависит от ее качества и производительности технологической линии. Данные обстоятельства привели к появлению более жестких требований к качеству управления ЛПМ.

2. Анализ исследований и публикаций

Непременным условием процесса непрерывного литья и проката алюминия является соблюдение закона равенства секундных объемов металла проходящего через литейное колесо и прокатный стан:

$$Q_L V_L = Q_L V_{in} = Q_{out} V_{out} (1 + \chi_{out}),$$

где V_L — скорость движения металла на выходе литейной машины; V_{in} — скорость движения металла при входе в прокатный стан; V_{out} — скорость движения металла на выходе из прокатного стана; χ_{out} — опережение металла в последней клетки стана; Q_L — площадь сечения слитка после литья; Q_{out} — площадь сечения катанки после прокатки.

Поэтому скорости движения металла при литье, прокате и намотке должны быть строго синхронизированы, а отклонение длины отлитой заготовки Δl_n минимально:

$$\Delta l_n = (V_L - V_{out}) t_z \rightarrow 0,$$

где t_z — время прохождения металлом расстояния между литейной машиной и прокатным станом.

Однако многолетняя эксплуатация технологической линии по производству алюминиевой катанки выявила нестабильность длины заготовки в процессе

непрерывного литья и проката металла [4]. При регулировании длины заготовки возникают колебания скорости вращения привода прокатного стана, что является причиной сбоев в работе наматывающего устройства и значительного снижения производительности всей технологической линии [5].

С целью совершенствования системы автоматического управления литейно-прокатным модулем на Запорожском алюминиевом комбинате, на базе ЛПМ производства компании «Continuous Properzi S.P.A.», проводились исследования влияния процесса литья на скорость движения отлитой заготовки. А т.к. при проведении исследований необходимо обрабатывать сигналы от различных датчиков была разработана информационно-измерительная система, которая применялась во всех последующих экспериментах [6].

Вопросам непрерывного литья и прокатки металлов, а также автоматизации этих процессов посвящены работы Целикова А. И., Никитина Г. С., Смирнова В. С. и др. ученых. Однако на сегодняшний день отсутствуют работы, в которых бы приводились исследования влияния работы помехонасыщенных узлов литейно-прокатного модуля на длину заготовки и качество управления ЛПМ.

3. Формирование целей и задач исследований

Особенности конструкции литейно-прокатного модуля и технологии производства катанки показывают, что равенство секундных объемов алюминия, проходящего через литейное колесо и клетки прокатного стана, не зависит от влияния каких-либо внешних факторов, а полностью определяется работой составляющих устройств этого агрегата.

Целью данной работы является исследование влияния неравномерности теплообменных процессов по длине изложницы литейного колеса на длину получаемой алюминиевой заготовки и скорость её движения.

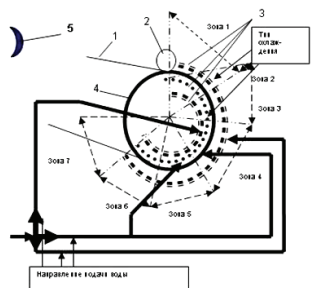
Для достижения этой цели необходимо провести анализ особенностей кристаллизации алюминия при его непрерывном литье. Установить закономерности изменения температурных деформаций длины слитка в условиях действия возмущающих факторов работы литейной машины.

4. Основная часть исследований

Анализ процесса непрерывного литья алюминия показал, что это скоростной процесс, при котором кристаллизация до 95 % объема металла осуществляется в 7 - ми зонах дуги изложницы, с разной интенсивностью аэрозольного охлаждения, рис. 1.

Для этого процесса характерна нестабильность теплового обмена в изложнице. Потеря равномерности может носить как периодический, так и устойчивый характер, и приводит к образованию линейной усадки, т.е. увеличению объема слитка относительно его размера принятого за модель. Изменяется длина слитка как характерный размер для тела такой формы. Этот факт зафиксирован при измерении отклонения длины заготовки в течении одного часа наблюдений, рис. 2,

при отключенной системе управления длиной заготовки.



----- струйное охлаждение (вода распыляется струей);
 конусное охлаждение (вода распыляется конусом)

Рис. 1. Общая схема охлаждения литейной машины:
 1 — обжимная стальная лента; 2 — прижимной ролик;
 3 — кристаллизатор; 4 — изложница литейного колеса;
 5 — изменения интенсивности охлаждения

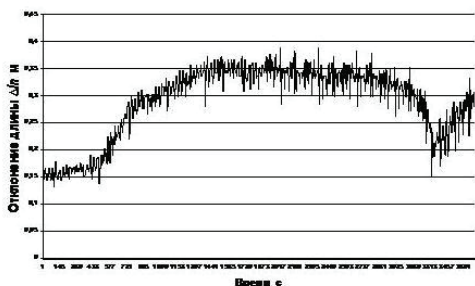


Рис. 2. Отклонения длины заготовки за час наблюдений

Анализ теплообменных процессов в литейной машине показал, что основной отвод тепла происходит в боковых направлениях, интенсивность аэрозольного бокового охлаждения изложницы возрастает в начале литья, (направление теплового поля показано стрелками), рис. 3.

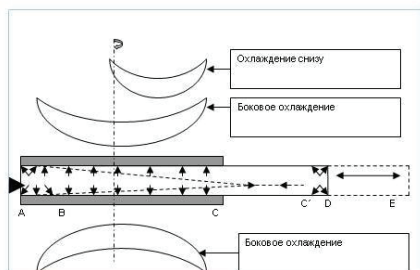


Рис. 3. Схема охлаждения изложницы и распределения температурного поля металла при непрерывном литье алюминия

Это необходимо для форсирования процесса кристаллизации расплавленного алюминия. Фронт кристаллизации движется от т. В (начало образования скелета заготовки с температурой около 600 °С) к т. С (выход слитка из изложницы, где температура 300 °С – 320 °С) и имеет форму латинской буквы “V”. Затем интенсивность бокового охлаждения уменьша-

ется, и слиток начинает отделяться от дна изложницы, чему способствует усиление охлаждения дна изложницы. При выходе из зоны влияния кристаллизатора, на участке СС', интенсивный отвод тепла от фронта кристаллизации прекращается. Происходит “прямая кристаллизация”, при которой металл затвердевает от боковых стенок отливки к её середине, и большая часть тепла переходит в только что затвердевший слиток. После завершения полного процесса кристаллизации, на участке С'D наблюдается выравнивание температуры по краям и внутри тела до 450 °С. Затем наступает установившийся режим, участок DE.

На технологической линии проведен планируемый эксперимент, в ходе которого установлено, что температура заготовки не зависит от изменений температуры жидкого металла, а в условиях стабильной работы системы аэрозольного охлаждения литейного колеса наблюдаются периодические колебания избыточной температуры слитка (разностная температура металла и изложницы) на выходе из литейной машины, период колебаний которых совпадает с периодом вращения изложницы, 17 с, рис. 4.

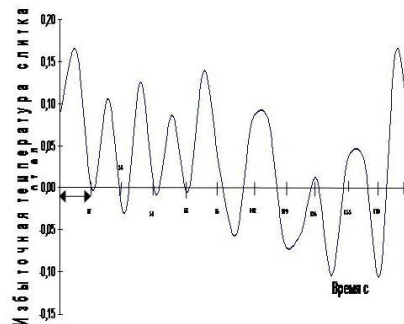


Рис. 4. График изменения избыточной температуры слитка на выходе литейной машины в относительных единицах

Логика организации исследований образования линейной усадки состоит в том, что скорость кристаллизации при литье, определяется отводом тепла от фронта кристаллизации и зависит от избыточной температуры слитка [7]:

$$U = \frac{4\xi(t_1 - t_2)}{\zeta\gamma R}, \tag{1}$$

где U – скорость кристаллизации металла;
 ξ – коэффициент теплопроводности;
 t₁ – температура поверхности металла;
 t₂ – температура поверхности изложницы;
 ζ – теплосодержание;
 γ – удельный вес металла;
 R – радиус получаемого при литье слитка.

Из уравнения (1) видно, что при прочих равных условиях, скорость кристаллизации металла зависит от разности температур металла и изложницы, которая представляет собой избыточную температуру слитка θ в любой его точке при охлаждении:

$$\theta = t_1 - t_2.$$

Её распределение по длине слитка определяется законами регулярного теплового режима, которые установил Кондратьев [8]. Регулярный тепловой режим 1-го рода характерен тем, что при неравномерном теплообмене избыточная температура тела θ во времени изменяется по экспоненциальному закону [9]:

$$\theta = Ge^{-m\tau} \text{ или} \\ \ln \theta = -m\tau + G,$$

и определяется относительной скоростью изменения избыточной температуры в теле, темпом регулярного теплового режима m ,

$$m = \frac{\ln \theta_B - \ln \theta_C}{\tau},$$

где G – постоянная, зависящая от формы тела и начального распределения температур; τ – временной интервал действия регулярного теплового режима; θ_B – избыточная температура в изложнице в начале формирования скелета заготовки; θ_C – избыточная температура в изложнице при выходе слитка.

Принимая во внимание, что между условиями теплообмена и температурным удлинением заготовки существует прямая взаимосвязь, можно предположить, что эти деформации описываются уравнениями, которые подобны уравнениям регулярного теплового режима. Установленная взаимозависимость линейного температурного удлинения слитка и темпа регулярного теплового режима, позволила получить выражение для определения линейной усадки 1-го рода в диапазоне рабочих температур литейной машины 450 °C – 520 °C [10]:

$$\Delta L_{d1} = 0,053e^{-94m},$$

где ΔL_{d1} – линейная усадка при регулярном тепловом режиме 1-го рода;

Регулярный режим 3-го рода реализуется, когда температура любой точки тела колеблется около своего среднего значения с тем же периодом, что и температура окружающей среды:

$$\theta = \theta_{da} \cos(\omega t),$$

где θ_{da} – среднее амплитудное значение избыточной температуры при регулярном тепловом режиме 3-го рода.

Тогда:

$$\Delta L_{d3} = \Delta L_{da} \cos(\omega t),$$

где ΔL_{d3} – линейная усадка при регулярном тепловом режиме 3-го рода; ΔL_{da} – среднее амплитудное

значение температурных деформаций за оборот изложницы; ω – угловая скорость вращения изложницы; t – время.

Получаемую в результате процесса непрерывного литья заготовку длиной L_c , можно представить в виде суммы мерных отрезков, каждый из которых образуется в результате одного оборота изложницы. При этом каждый отрезок суммы состоит из слитка базового размера L_b , который соответствует длине окружности изложницы и линейной усадке 1-го рода:

$$L_c = \Delta L_{d3} + \sum_1^n (L_b + \Delta L_{d1}).$$

Усадка 3-го рода самокомпенсируется при непрерывном литье металла.

Результаты сравнения измеренной температурной деформации заготовки и её расчетного значения показали их полную идентичность.

Скорость металла после литья V_L , необходимая для расчёта отклонения длины заготовки Δl_n , определяется выражением:

$$V_L = \frac{(\pi D_L + \Delta L_{d1})n_L}{60i_L},$$

где D_L – диаметр изложницы; i_L – передаточное отношение редуктора электропривода литейного колеса; n_L – скорость вращения электропривода литейного колеса.

Проведённые исследования показали, что зная температуру изложницы и металла в точках начала кристаллизации алюминия и выхода слитка из литейного колеса, можно рассчитать темп регулярного температурного режима и по его величине предсказать температурную деформацию заготовки на предстоящие несколько оборотов литейного колеса, что позволит существенно повысить качество управления производством алюминиевой катанки.

По результатам исследований предложен способ управления формированием литейной заготовки [11].

5. Выводы

Линейная усадка алюминия образуется в условиях потери равномерности теплового обмена в изложнице литейного колеса и определяется скоростью изменения избыточной температуры металла при его непрерывном литье. Она может быть рассчитана до своего фактического появления, что позволяет внести упреждающие действия в процесс управления производством алюминиевой катанки, организовать управление технологическим процессом не только по отклонению длины заготовки, но и по возмущениям со стороны литейного колеса.

Литература

1. Technical description of casting and rolling equipment for the production of aluminum products. Milan. Continous Properzi. – 1992. – С.12 - 23.
2. History of “Continous Properzi” [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: www. Properzi.com.

3. Brocato, C.M. The Properzi Method for Producing Primary or Secondary Aluminium Ingots. 8th Aluminium Cast House Technology Conference at Brisbane. – 2003. – С. 27.
4. Таран, Ю.П. Совершенствование управления скоростными режимами работы технологической линии по производству катанки [Текст] // Ю.П.Таран, А.Н Николаенко. Металлургия. Научные труды Запорожской Государственной Инженерной Академии.– 2007. – Т.16. – С. 139 - 144.
5. Таран, Ю.П. Исследования динамических режимов процесса литья и проката на технологической линии по производству алюминиевой катанки [Текст] // Ю.П.Таран, А.Н Николаенко. – Доклады 15 международной конференции по автоматическому управлению. 2008 г. Одесса. – С.586 - 590.
6. Таран, Ю.П. Локальная информационно-измерительная система для контроля параметров технологического процесса [Текст] // Ю.П.Таран, А.Н Николаенко. Металлургия. Научные труды Запорожской Государственной Инженерной Академии. – 2007. – Т.16. – С. 145 - 146.
7. Добаткин, В.И. Слитки алюминиевых сплавов [Текст] / В.И. Добаткин. – Свердловск: Metallurg-издат, 1960. – С.112.
8. Кондратьев, Г.М. Регулярный тепловой режим [Текст] / Г.М. Кондратьев. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы. – 1954г. – С. 26.
9. Нащекин, В.В. Техническая термодинамика и теплопередача [Текст] / В.В. Нащекин. М.: Высшая школа. – 1989. – С.346.
10. Таран, Ю.П. Исследование температурных деформаций алюминиевой заготовки при её непрерывном литье [Текст] // Ю.П.Таран, А.Н Николаенко. – Запорожье: Металлургия. Научные труды Запорожской Государственной Инженерной Академии. – 2010. – Т.22. – С. 174-181.
11. Таран, Ю.П. Способ управления формированием алюминиевой заготовки [Текст] // Ю.П.Таран, А.Н Николаенко. – Сборник научных трудов Кировоградского Государственного Технического Университета. – 2012. – Т 25. – С. 286 -291.

УДК 621.762; 616-089.843; 616.31

Показано, що застосування спеціальної обробки біосумісних порошків перед плазмовим запиленням, що полягає в закріпленні дрібних частинок на великих гранулах, сприяє підвищенню рівномірності пористої структури, міцності, відкритої пористості покриття і більш розвиненій морфології його поверхні, а також збільшенню площі контакту дотичних поверхонь (ендопротез і кісткова тканина) при його додатковому наноструктуруванні

Ключові слова: біосумісні матеріали, пористість, кристалічна структура, плазмове запилення, гідроксиапатит, оксид алюмінію, термомеханічна обробка

Показано, что применение специальной обработки биосовместимых порошков перед плазменным напылением, заключающейся в закреплении мелких частиц на крупных гранулах, способствует повышению равномерности пористой структуры, прочности, открытой пористости покрытия и более развитой морфологии его поверхности, а также увеличению площади контакта соприкасаемых поверхностей (эндопротез и костная ткань) при его дополнительном наноструктурировании

Ключевые слова: биосовместимые материалы, пористость, кристаллическая структура, плазменное напыление, гидроксипатит, оксид алюминия, термомеханическая обработка

IMPROVING THE QUALITY OF BIOCOMPATIBLE PLASMA-SPRAYED INTRAOSSEOUS IMPLANT COATING

I. Melnikova

Candidate of Science, Associate Professor*
E-mail: kafbma2011@yandex.ru

A. Lyasnikova

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of Department*
E-mail: kafbma2011@yandex.ru

V. Lyasnikov

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of Department**
E-mail: fmtm@sstu.ru

*Department of "Biotech and
Medical Devices and Systems"

**Department of "Physical Materials Science
and Technology of New Materials"

Gagarin Saratov state technical University
str. Polytechnique, 77, Saratov, Russia, 410054