

В.В. АТОЯН, В.А. ТОНОЯН

УСТАНОВКА ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ КАБЕЛЬНОЙ КАТАНКИ

Дано описание установки для непрерывного литья медной катанки, предназначенной для малых предприятий, выпускающих кабельную продукцию. Приведены теплотехнические характеристики для рабочей скорости вытяжки, полученные путем измерения параметров охлаждающей воды первичной и вторичной зон охлаждения. Рассчитаны значения коэффициента теплоотдачи при более высоких скоростях вытяжки и показано, что производительность установки возможно увеличить вдвое.

Ключевые слова: катанка, скорость вытяжки, кристаллизатор, производительность установки, температура, расход воды.

Существовавшая ранее в РА крупнотоннажная технология производства медной катанки (диаметр $d=7,5...8,5$ мм) для кабельного производства утрачена, и кабельные предприятия вынуждены завозить катанку извне, что сопряжено со значительными расходами и определенными трудностями. При наличии медного лома либо рафинированной меди эта задача может быть решена с помощью установки для непрерывного литья катанки, разработанной и изготовленной в технопарке НИИ “Андрон” совместно с кафедрой электроэнергетики ГИУА.

Схема установки приведена на рис. 1. Принцип ее работы заключается в следующем:

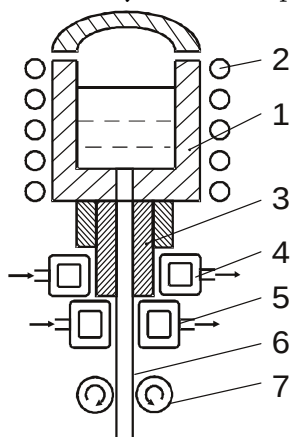


Рис. 1. Схема вытяжки и формирования катанки

графитовый теплоизолированный тигель 1 разогревается токами высокой частоты, вследствие чего расплавляется медь, помещенная в тигель. Индуктор 2 питается от электромашинного преобразователя либо от тиристорного преобразователя частоты. Последний предпочтительнее, т.к. обладает существенно более высоким КПД, нешумный и значительно проще в эксплуатации (разработан на кафедре электроэнергетики ГИУА). Жидкий металл из отверстия на дне тигля поступает в графитовый кристаллизатор 3, снабженный водоохлаждаемым кессоном 4, кристаллизуется и далее охлаждается напрямую водой в охладителе 5. Сформированный прут 6 (катанка) с помощью валиков 7 направляется к приемному барабану. Для снижения вероятности обрывов валики осуществляют возвратно-поступательное движение катанки с определенной скважностью.

Технологические испытания катанки, проведенные на различных предприятиях республики, показали ее высокое качество, не уступающее, а в ряде случаев и превосходящее импортные аналоги.

Установка малообъемна, поскольку загрузка графитового тигля не превышает 50 кг, и предназначена в основном для малых предприятий, выпускающих установочные провода и кабели. При необходимости расширения производства число установок может быть увеличено без особого труда, что обусловлено их компактностью и автономностью. В этих случаях может быть применена разливка жидкого металла от более крупной плавильной печи с помощью раздатчика. Такая схема существенно повышает производительность установок за счет того, что экономится время, необходимое для расплавления меди в тигле. Кроме указанного, производительность зависит от ряда других факторов и, в первую очередь, от скорости вытяжки катанки, которая во многом определяется эффективностью охлаждения в кристаллизаторе и охладителе. Кессон и охладитель представляют собой вихревые замкнутые камеры, снабженные входным и выходным штуцерами, что позволяет легко осуществлять как измерение и регулировку расхода воды, так и, при необходимости, измерение ее температуры.

Рассмотрим вопрос повышения скорости вытяжки катанки (производительности установки), исходя из теплотехнических характеристик установки. Обычный рабочий режим вытяжки катанки характеризуется следующими параметрами: температура литья - $t_l=1200^{\circ}\text{C}$; температура катанки на выходе из вторичной зоны охлаждения - $t_0=40^{\circ}\text{C}$; скорость вытяжки катанки - $V_k=32 \text{ м/час}=0,0089 \text{ м/с}$; средний расход воды в кессоне кристаллизатора - $V_{\text{кк}}=0,093 \text{ л/с}$; средний расход воды в охладителе - $V_{\text{кв}}=0,151 \text{ л/с}$; температура воды как на входе кессона кристаллизатора, так и на входе охладителя - $t'_{\text{кк}} = t'_{\text{кв}} = 30,5^{\circ}\text{C}$; температура воды на выходе кессона кристаллизатора - $t''_{\text{кк}} = 35,2^{\circ}\text{C}$; температура воды на выходе охладителя - $t''_{\text{кв}} = 33,7^{\circ}\text{C}$; диаметр катанки - $d_k=7,5 \text{ мм}$, температура кристаллизации меди - $t_k=1083^{\circ}\text{C}$; энтальпия меди при температуре литья 1200°C - $q_k=0,7 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ [2]; удельная теплоемкость меди - $c_k=380 \text{ Дж/кг}^{\circ}\text{C}$; коэффициент теплопроводности меди - $\lambda_k=386 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$; плотность мягкой меди - $\rho_k = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; удельная теплоемкость воды - $c_v=4190 \text{ Дж/кг}^{\circ}\text{C}$ [3].

Массовая скорость вытяжки катанки равна

$$V_{\text{км}} = V_k \frac{\pi d_k^2}{4} \cdot 10^{-6} \rho_k = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}.$$

Количество тепла, отводимого от катанки за единицу времени при ее охлаждении до температуры 40°C , можно с достаточной точностью принять равным

$$Q_k = V_{\text{км}} \cdot q_k = 2450 \text{ Дж}.$$

Количество тепла, отводимого за единицу времени в кессоне кристаллизатора, равно

$$Q_{\text{кк}} = V_{\text{кк}} \cdot C_B (t''_{\text{кк}} - t'_{\text{кк}}) = 1816 \text{ Дж}.$$

Учитывая, что тепловое сопротивление от боковой поверхности катанки в окружающую среду достаточно велико, можно с некоторым приближением принять количество тепла, передаваемого за единицу времени в охладитель, равным

$$Q_{\text{ТВ}} = \frac{t_1 - t_o}{L} \cdot \lambda_k \cdot F_k = 131 \text{ Дж},$$

где L - расстояние от тигля до конца охладителя ($L=0,15\text{ м}$).

Количество тепла, отводимого за единицу времени в охладителе, равно

$$Q_{\text{КВ}} = V_{\text{КВ}} \cdot C_{\text{В}} (t''_{\text{КВ}} - t'_{\text{КВ}}) = 1980 \text{ Дж}.$$

Суммарное количество тепла, отводимого за единицу времени, равно

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{КК}} + Q_{\text{КВ}} = 3796 \text{ Дж}.$$

Разница: $Q_{\Sigma} - Q_{\text{К}} = 1346 \text{ Вт}$ - это то количество тепла, которое натекает на кессон кристаллизатора от тигля, минуя формирующуюся в кристаллизаторе катанку. Отсюда следует, что тепло, отводимое за единицу времени от канала кристаллизатора в кессон, равно: $Q'_{\text{КК}} = 470 \text{ Дж}$, т.е. 19% от количества всего тепла, отводимого от катанки. Это свидетельствует о невысокой эффективности охлаждения металла в кристаллизаторе, что объясняется наличием слоя графита между катанкой и кессоном, а также образованием зазора между затвердевшей поверхностью катанки и стенкой кристаллизатора вследствие линейной усадки во время кристаллизации. Применение существенно более эффективного медного водоохлаждаемого кристаллизатора (обычно используемого при литье заготовок большого диаметра или в технологиях электрошлакового переплава) в данном случае практически неосуществимо.

Изменение энтальпии меди от 1200°С до завершения процесса кристаллизации равно $q'_k = 245 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$, за единицу времени - $q''_k = V_{\text{КМ}} \cdot q'_k = 857 \text{ Дж}$ [2].

До поступления во вторичную зону охлаждения суммарное количество тепла, теряемого за единицу времени катанкой, равно

$$Q''_{\text{КК}} = Q'_{\text{КК}} + Q_{\text{ТВ}} = 601 \text{ Дж}.$$

Отсюда следует, что доля твердой фазы в катанке в момент поступления во вторичную зону охлаждения равна

$$a_{\text{тф}} = \frac{Q''_{\text{КК}}}{q''_k} = 0,7.$$

Существует критическое значение $a_{\text{тф}}$, при котором возникает опасность прорыва жидкого металла при выходе катанки из кристаллизатора. На рис 2 приведены расчетные картины продольных разрезов в момент выхода катанки из кристаллизатора.

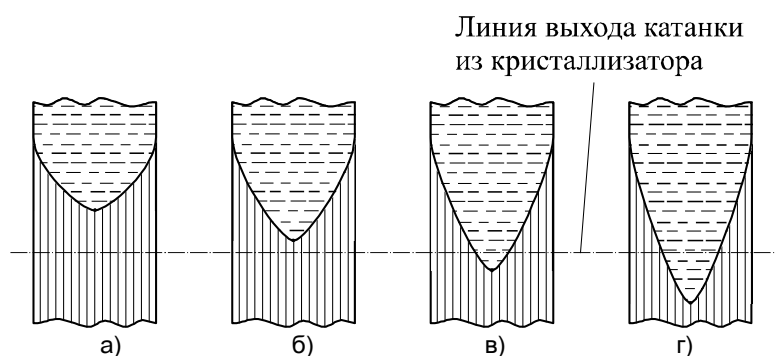


Рис 2. Соотношение жидкой и твердой фаз при различных скоростях вытяжки катанки: а - 32 м/ч; б - 40 м/ч; в - 50 м/ч; г - 60 м/ч

Из рисунка видно, что, начиная со скорости примерно 48 м/ч, поступающая в кессон вторичной зоны охлаждения катанка содержит в себе определенную долю жидкой фазы. По мере увеличения скорости вытяжки толщина перемычки между поверхностью катанки и жидкой фазой будет уменьшаться до тех пор, пока механическая прочность ее окажется недостаточной и произойдет разрыв, сопровождающийся истечением жидкого металла в виде бесформенной струи. Опираясь на результаты наших исследований и опыт других работ [1], можно утверждать, что при скорости 60 м/ч ($a_{\text{тф}} = 0,37$) указанная опасность не возникнет, но в то же время она близка к предельной.

Переходя к теплотехническим расчетам, прежде всего отметим, что при увеличении скорости катанки количество тепла $Q'_{\text{кк}}$ и $Q_{\text{тв}}$ изменяется слабо, т.к. средняя температура поверхности предположительно остается в пределах 1000°C, а продольное тепловое сопротивление катанки практически не изменяется. Отметим, что точное определение этой температуры весьма сложно. Обычно применяемые зонды-термопары в случае катанки столь малого диаметра, к тому же движущейся с достаточно большой скоростью внутри графитового кристаллизатора, не позволили получить сколь-нибудь достоверного результата (применялись термопары вольфрам-рений с диаметром термоэлектродов 0,3 мм, впаянные в кварцевую трубку диаметром 3 мм).

В таблице приведены расчетные характеристики для разных скоростей катанки.

Как видно из данных таблицы, подавляющая часть тепла, содержащегося в катанке, отводится в охладителе.

Согласно закону Ньютона-Рихмана, тепловой поток, отводимый от поверхности, омываемой потоком жидкости, равен

$$Q_{\text{кв}} = \alpha F(t_{\text{ст}} - t_{\text{ж}}),$$

где F - площадь охлаждаемой поверхности, м^2 ; $t_{\text{ст}}$, $t_{\text{ж}}$ - соответственно температуры охлаждаемой стенки (поверхности) и охлаждающей жидкости; α - коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/\text{м}^2\text{ }^\circ\text{C}$.

Таблица

$V_k,$ м/ч	$V_{км},$ кг/с	$Q_k,$ Вт	$Q'_{кк},$ Вт	Q Вт	$Q_{кв},$ Вт	$a_{тф}$
32	$3,5 \cdot 10^{-3}$	2450	470	131	1980	0,7
40	$4,4 \cdot 10^{-3}$	3080	470	131	2470	0,56
50	$5,7 \cdot 10^{-3}$	3990	470	131	3889	0,45
60	$6,6 \cdot 10^{-3}$	4620	470	131	4019	0,37

Для рассматриваемого случая это уравнение имеет вид

$$Q_{кв} = \alpha_{ср} \cdot \pi d \cdot h(t_{ст} - t_{ж}),$$

где d – диаметр катанки, м; h – расстояние, проходимое катанкой в охладителе за единицу времени; $\alpha_{ср}$ характеризует теплоотдачу с учетом парообразования на поверхности катанки.

Поскольку, с другой стороны, количество тепла, отводимое водой из охладителя, равно $Q_{кв} = V_{кв} C_B(t''_{кв} - t'_{кв})$, а $h=V_k$, то $\alpha_{ср} \cdot \pi d V_k (t_{ст} - t'_{кв}) = V_{кв} \cdot C_B(t''_{кв} - t_{кв})$, откуда $\alpha_{ср} = \frac{V_{кв} \cdot C_B(t''_{кв} - t_{кв})}{\pi d V_k (t_{ст} - t_{кв})}$ (здесь принято $t_{ж} = t'_{кв}$).

Принимая $t_{ст} = t_{срст} = 520^0\text{C}$ и подставляя значение скорости $V_k=32 \text{ м/ч}=0,0089 \text{ м/с}$, получим $\alpha_{ср} = 18,17 \text{ кВт/м}^2\text{C}$. Нетрудно убедиться, что при скорости вытяжки 60 м/час это значение $\alpha_{ср}$ позволяет удалить возрастающее почти вдвое количество тепла, поступающего в охладитель от катанки.

Оценим теперь производительность установки при скорости $V_k=60 \text{ м/ч}$. Массовая скорость для катанки стандартного диаметра $d=8 \text{ мм}$ будет равна $26,7 \text{ кг/ч}$. При трехсменной работе суточная производительность составит $\Pi=640 \text{ кг}$. В принципе, из одного тигля возможна вытяжка двух параллельных катанок через отдельные или сдвоенные кристаллизаторы. В этом случае производительность удвоится $\Pi=1280 \text{ кг/сут}$.

Для учета времени загрузки шихты, разогрева тигля и плавки шихты, различного рода простоев и перерывов в работе введем коэффициент использования времени $K_{и}$, который оценивается величиной $K_{и}=0,6...0,7$.

Следовательно, расчетная максимальная производительность одноручьевой установки будет: $\Pi_{р1}=380...450 \text{ кг/сут}$, двухручьевой – $\Pi_{р2}=770...900 \text{ кг/сут}$.

Хотя полученная производительность принята нами как предельная, существуют решения конструктивного и технологического характера, осуществление которых может увеличить ее еще на $40...50\%$. Обсуждение этих вопросов выходит за пределы данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кац, А.М., Шадек Е.Г.** Теплофизические особенности непрерывного литья слитков цветных металлов и сплавов. - М.: Энергия, 1983. - 207 с.
2. **Ватрушин Л.С., Осинцев В.Г.** Бескислородная медь. - М.: Энергия, 1982. - 185 с.
3. **Назмеев Ю.Г., Лавыгин В. М.** Теплообменные аппараты ТЭС.- М.: МЕН, 2005.-260с.
4. Հովհաննիսյան Լ.Ս. Ջերմազանգվածափոխանակություն. - Երևան: Լույս, 1988. -
5. 343 էջ:

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.10.2007.

Վ.Վ. ԱԹՈՅԱՆ Վ.Ա. ՏՈՆՈՅԱՆ

ՄԱԼՈՒԽԱՅԻՆ ՄԵՏԱՂԱԼԱՐԻ ԱՆՇՆԴՀԱՏ ՁՈՒԼՄԱՆ ՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔ

Բերված են մալուխային արտադրանք թողարկող փոքր ձեռնարկությունների համար նախատեսված պղնձալարի անընդհատ ձուլման տեղակայանքի նկարագրությունը, ինչպես նաև սառեցման առաջնային և երկրորդային գոտիների սառեցնող ջրի պարամետրերի չափման միջոցով ստացված ձգման աշխատանքային արագության համար տեղակայանքի ջերմաֆիզիկական բնութագիրը: Հաշվարկվել են ջերմանջատման արժեքները առավել բարձր արագությունների դեպքում և որոշվել սահմանային արժեքը, ինչը հնարավորություն է տալիս մեծացնել տեղակայանքի արտադրողականությունը:

Առանցքային բառեր. բյուրեղաքար, մետաղալար, ձգման արագություն, ջերմաստիճան, ջրի ծախս, տեղակայանքի արտադրողականություն:

V.V. ATOYAN, V.A. TONoyAN

A SETUP FOR CONTINUOUS CASTS OF CABLE ROD

The description of a setup for copper rod casts for small enterprises producing cable products is given. Thermal physical characteristics of the setup for operating drawing speed obtained by measurement of cooling water parameters for primary and secondary cooling zones are considered. Collective heat exchange values at the highest speed and definitely its limited value allowing to increase twice the setup productivity are calculated.

Keywords: crystallizator, rod, drawing speed, temperature, water consumption, setup productivity.