



Use of electroslag crucible remelting with accumulation of liquid metal allows to reduce considerably the requirements to accuracy of keeping up of electric parameters and in that way to provide possibility of use of consumable electrodes..

В. А. ЗЕМЦОВ, Д. А. МЕШКОВ, И. О. САЗОНЕНКО, ИТМ НАН Беларуси

УДК 621.74.047

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЛАВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Все возрастающие требования, предъявляемые к служебным свойствам металлов и сплавов, используемых в машиностроении, приводят к необходимости применения технологий, обеспечивающих минимальное содержание посторонних включений в их микро- и макроструктуре. Наиболее перспективным направлением в металлургии, обеспечивающим получение металлов и сплавов с высокими механическими характеристиками, является использование технологии электрошлакового переплава. В настоящее время наибольшее распространение получил процесс электрошлакового переплава металла в водоохлаждаемый кристаллизатор. Схема электрошлакового переплава в водоохлаждаемый кристаллизатор приведена на рис. 1.

При прохождении электрического тока через шлаковую ванну в ней выделяется тепло, необходимое для расплавления расходуемого электрода,

поддержания в расплавленном и перегретом состоянии шлаковой и металлической ванн [1]. Расплавленный шлак является эффективным рафинирующим средством: в результате электрошлаковой обработки металла он очищается от серы, кислорода, неметаллических включений. Кроме того, шлак – это источник образования тонкой шлаковой прослойки – шлакового гарнисажа между внутренней поверхностью кристаллизатора и наружной поверхностью слитка. Наличие этого гарнисажа – необходимое средство обеспечения гладкой поверхности слитка, позволяющее в последующем осуществлять горячий передел электрошлаковых слитков без всякой зачистки поверхности. Данная схема позволяет получать качественные отливки в основном круглого и прямоугольного сечения. Обычно высота отливки равна нескольким диаметрам или нескольким десяткам диаметров отливки. По схеме электрошлакового переплава в водоохлаждаемый кристаллизатор нецелесообразно отливать плоские детали, в которых высота значительно меньше остальных размеров. Другим фактором, сдерживающим широкое применение электрошлакового переплава, является проблема расходуемых электродов. Существующая практика электрошлакового переплава, отслуживших свой срок штампов и другой оснастки, предполагает предварительную их проковку либо использование сортового проката для получения расходуемых электродов. Это вызвано в первую очередь тем, что при электрошлаковом переплаве в водоохлаждаемый кристаллизатор необходимо обеспечить равномерное сечение расходуемого электрода по всей его длине с коэффициентом заполнения кристаллизатора, обычно не превышающим 0,6. Вследствие этих причин экономически целесообразно использовать электрошлаковый переплав

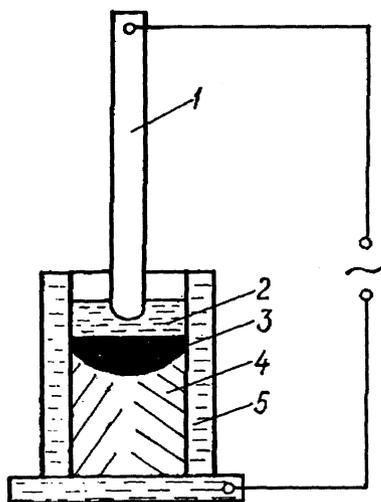


Рис. 1. Схема проведения электрошлакового переплава в водоохлаждаемый кристаллизатор: 1 – расходуемый электрод; 2 – шлаковая ванна; 3 – расплавленный металл; 4 – отливка; 5 – кристаллизатор

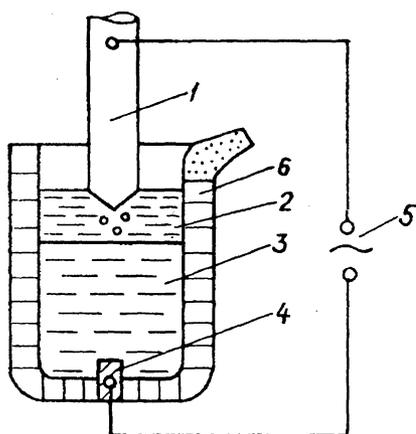


Рис. 2. Схема проведения электрошлаковой тигельной плавки: 1 – расходный электрод; 2 – шлаковая ванна; 3 – расплавленный металл; 4 – подовый электрод; 5 – источник тока; 6 – огнеупорный тигель

в водоохлаждаемый кристаллизатор для получения отливок массой свыше 200 кг, где они успешно могут конкурировать с аналогичными поковками.

Более приемлемой схемой проведения электрошлакового переплава для получения фасонных отливок массой 20–200 кг является электрошлаковая тигельная плавка (ЭШТП) [2]. Схема электрошлаковой тигельной плавки показана на рис. 2.

Существенным отличием электрошлаковой тигельной плавки от плавки в водоохлаждаемый кристаллизатор является накопление жидкого металла в объеме тигля в течение всего процесса плавления расходного электрода и последующего совместного слива шлака и металла в кокиль. Как правило, ЭШТП ориентирована на переплав скрапа в виде сваренных между собой отработавших деталей машин и механизмов, обрезки и т. п., т. е. на переплав электродов, имеющих резко меняющееся по их длине сечение. При использовании схемы ЭШТП отпадает необходимость в строгом контроле постоянства электрических параметров процесса в течение всего времени плавки. Достаточным условием стабильности протекания процесса является поддержание электрических параметров на уровне, при котором общее количество тепла, выделившееся в шлаковой ванне, позволяет обеспечить плавление расходного электрода и поддержание металла в жидком состоянии. Сохраняя все преимущества рафинирующего взаимодействия жидкого металла и шлака, характерные для электрошлакового переплава в водоохлаждаемый кристаллизатор, тигельный переплав после накопления жидкого металла позволяет отливать в кокиль различного рода фасонные детали.

При заливке формы шлакометаллической струей в ее полость первым поступает шлак [2]. В свя-

зи с тем что температура стенок формы значительно ниже температуры затвердевшего шлака, он кристаллизуется на стенках, образуя шлаковый гарнисаж, который в дальнейшем отделяет расплавленный металл от непосредственного контакта с материалом литейной формы. Из-за низкой теплопроводности шлаков в твердом состоянии (0,6–1,2 Вт/(м·К)) толщина затвердевающего слоя невелика и в начальный период заливки основная масса шлака остается в жидком состоянии. В общем случае толщина первоначально закристаллизовавшегося слоя шлака зависит от физических свойств шлакового расплава, разности температур шлака, формы и скорости ее заполнения. Температурная зависимость вязкости шлаков, используемых для ЭШТП, не имеет резких перегибов. Поэтому к закристаллизовавшемуся слою шлака с внутренней стороны непосредственно примыкает слой вязкого малоподвижного шлака, в котором также происходит значительное снижение температуры. Практически весь перепад температур между стенкой литейной формы и ядром шлакометаллического потока приходится на эти два тонких шлаковых слоя.

Жидкий металл, поступающий в полость литейной формы за первыми порциями шлака, благодаря большей плотности оттесняет часть вязкого шлакового слоя от уже закристаллизовавшегося. Но полного вытеснения этого слоя не происходит [3]. Толщина оставшейся прослойки определяется разностью плотностей металла и шлака и адгезией шлака к металлу. Кроме того, она зависит от высоты слоя залитого металла. По мере общего снижения температуры металла и шлака, поступившего в полость формы, неоттесненная прослойка затвердевает и образует вместе с ранее закристаллизовавшимся на поверхности формы шлаком окончательный гарнисаж, отделяемый от заготовки только после ее извлечения из формы. Таким образом, толщина сформировавшегося на поверхности заготовки гарнисажа при неподвижной литейной форме определяется местом его расположения относительно свободной поверхности (чем дальше от нее, тем тоньше).

Описанная выше схема образования гарнисажа на внутренней поверхности формы при заливке ее шлакометаллической струей, конечно, в определенной мере идеализирована. В действительности, в некоторых местах литейной формы (особенно в месте падения металлической струи или в месте резкого изменения сечения формы) может происходить не только полное оттеснение жидкой шлаковой прослойки от первоначально закристаллизовавшегося слоя шлака, но и частичное или полное

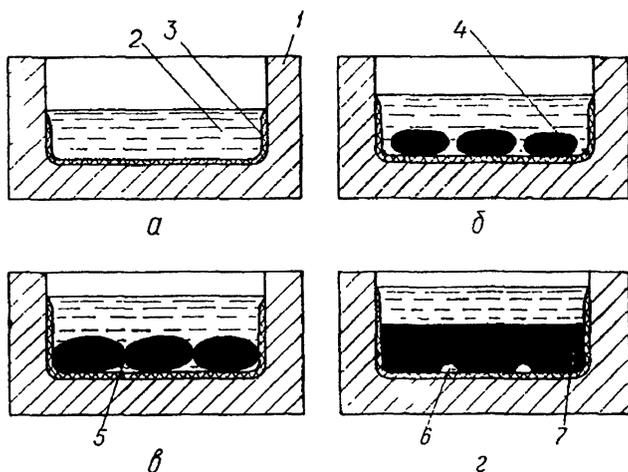


Рис. 3. Схема образования впадин на обращенных вниз горизонтальных плоскостях заготовок ЭКЛ: а–г – различные стадии заполнения формы шлакометаллическим расплавом (1 – литейная форма; 2 – жидкий шлак; 3 – шлаковый гарнисаж; 4 – струи расплавленного металла; 5 – застойные шлаковые зоны; 6 – впадины, заполненные шлаком; 7 – тело отливки)

расплавление этого слоя и даже подплавление стенки формы. В этом случае возможна местная приварка выплавляемой заготовки к литейной форме, приводящая к неустраняемому браку. Для того чтобы избежать подобных дефектов, необходимо правильно конструировать литейные формы и защищать место падения струи тугоплавкими материалами или покрытиями.

Заполнение литейной формы гетерогенной шлакометаллической струей имеет специфические особенности, не учет которых при проектировании формы может привести к получению некачественной отливки. Если литейная форма имеет горизонтально расположенные части, которые в поперечном сечении сужаются книзу (сечение представляет собой трапецию, овал, круг и т. п.), то при заполнении такой формы шлакометаллическим расплавом жидкий металл течет по этой поверхности сплошной струей, как по желобу. Он легко оттесняет расплавленный шлак от гарнисажа и при затвердевании заготовки образуется ровная, гладкая поверхность. При наличии у литейных форм относительно широких горизонтально расположенных плоскостей при ее заливке возможны такие режимы течения жидкого металла, когда металлический поток разделяется по ширине такой плоскости на несколько параллельных струй, которые могут вновь сливаться в некоторых точках у края формы. На рис. 3 показана схема образования наиболее часто встречающегося поверхностного дефекта на отливках.

В пространстве между струями металла возникают застойные зоны, в которых шлак под действием поверхностных сил разделяется на капли.

При определенных условиях силы межфазного натяжения жидкий шлак – затвердевший гарнисаж, действующие по периметру основания шлаковой капли, лежащей на поверхности гарнисажа, превышают выталкивающие силы, создаваемые разницей плотностей расплавленного шлака и металла. Поэтому такие шлаковые капли не могут всплыть на зеркало металла и при кристаллизации заготовки образуют на ее поверхностях, обращенных к горизонтальным плоскостям, формы, полусферические впадины, своего рода линзы, заполненные затвердевшим шлаком. Глубина таких впадин может достигать 10–12 мм, а диаметр основания – 15–20 мм. Для предотвращения поверхностных дефектов такого типа необходимо обеспечить неразрывность металлического потока, движущегося по горизонтальной плоскости под шлаком.

В ИТМ НАН Беларуси на экспериментальной установке (рис. 4) проводили исследования по получению фасонных отливок с использованием электрошлаковой тигельной плавки лома инструментальных и нержавеющей сталей.

Питание электрошлаковой тигельной печи осуществляли по однофазной монофилярной схеме. В качестве источника питания использовали трехфазный трансформатор типа А-481 мощностью 570 кВа. Трансформатор с номинальным током вторичных обмоток 3000 А (трехфазный вариант) подключали по двухфазной схеме с увеличением номинального тока до 6000 А.

Обработку режимов получения литых заготовок из инструментальной стали 6ХВ2С производили с использованием двух типоразмеров кокилей и водоохлаждаемого поддона.

Расходуемый электрод собирали из вышедших из строя ножей с помощью полуавтоматической сварки, которые предварительно подвергали отжигу при температуре 800 °С и механической зачист-

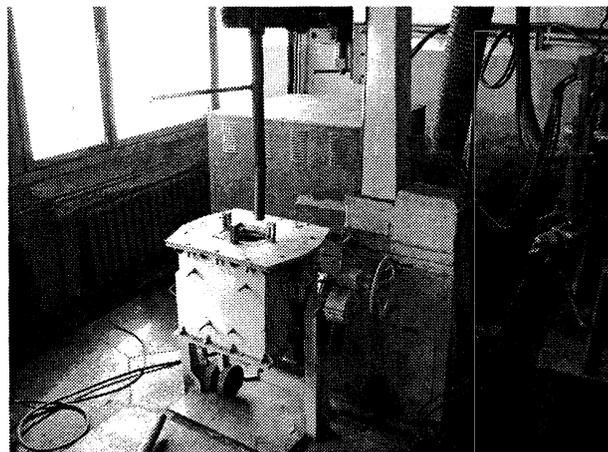
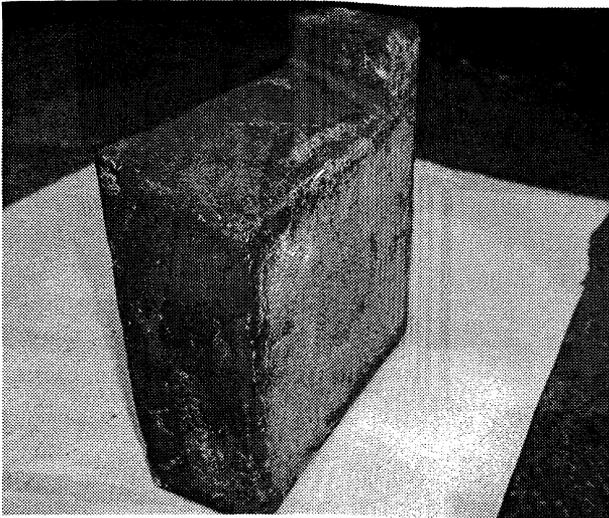
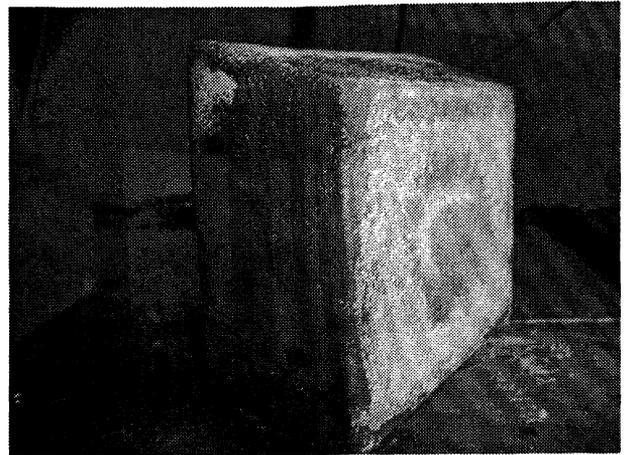


Рис. 4. Экспериментальная установка электрошлаковой тигельной плавки



а



б

Рис. 5. Отливки заготовок ножей (сталь 6ХВ2С): а – отливка заготовки ножа с «выступом»; б – отливка заготовки ножа

ке для удаления поверхностного окисленного слоя. Электрошлаковый переплав осуществляли на переменном токе при напряжении $U_p = 40$ В и силе тока $I_p = 2500 \pm 500$ А. После сплавления расходомерного электрода жидкий металл вместе с расплавленным шлаком сливали в кокиль посредством переворота тигельной печи на 180° . Полученные в результате проведения экспериментов отливки показаны на рис. 5. При использовании тепловой надставки в виде слоя расплавленного флюса толщиной приблизительно 60 мм на отливке высотой 100 мм наблюдалась усадочная раковина глубиной не более 5 мм.

Отлитые заготовки ножей после смягчающего отпуска при 740° С были предварительно механически обработаны с припуском на последующее окончательное шлифование. В процессе механической обработки с отливок был удален литейный припуск величиной от 3,5 до 5,0 мм. На механически обработанной поверх-

ности отсутствуют раковины и не наблюдаются различного рода неметаллические включения. На рис. 6 показаны ножи после механической обработки.

Отработку режимов электрошлаковой тигельной плавки лома нержавеющей сталей 08Х18Н10Т и 08Х17Н13М2Т производили с целью получения литых заготовок звеньев конвейерной цепи. Расходуемые электроды собирали с помощью полуавтоматической сварки из пришедших в негодность деталей оборудования химической промышленности. Крупногабаритные куски лома разрезали дуговой сваркой на более мелкие фрагменты. Электрошлаковую тигельную плавку осуществляли на переменном токе при напряжении $U_p = 37$ В и силе тока $I_p = 3000 \pm 500$ А.

После отливки заготовок они подвергались механической обработке без всяких промежуточных термических операций. На рис. 7 показан фрагмент звена конвейерной цепи.

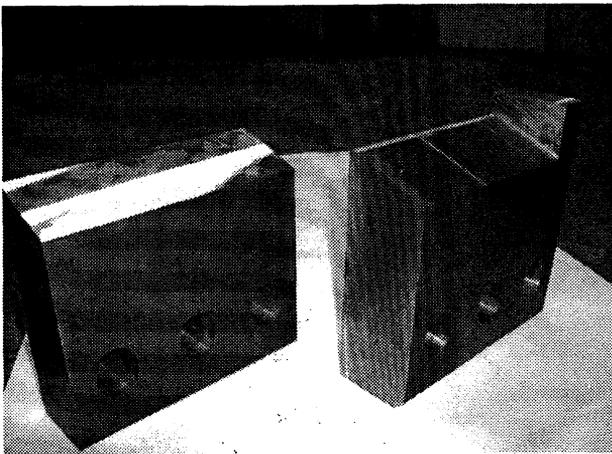


Рис. 6. Заготовки ножей после механической обработки

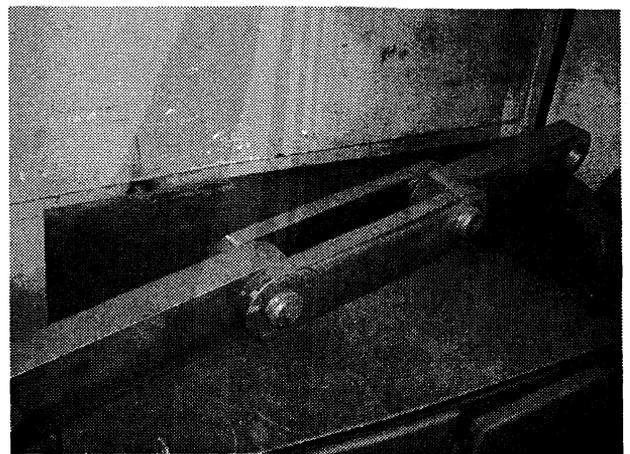


Рис. 7. Фрагмент звена конвейерной цепи

Правилами приемки конвейерной цепи предусматривается процедура механических испытаний наиболее нагруженного элемента. Регламентируемое усилие разрыва составляет 1078 кН. Усилие разрыва элемента цепи, изготовленного из отливки, полученной электрошлаковым тигельным переплавом, составило 1117 кН.

Выводы

1. Применение электрошлакового тигельного переплава с накоплением жидкого металла позволяет существенно снизить требования к точности поддержания электрических параметров проведения процесса и тем самым обеспечить возмож-

ность использования расходуемых электродов, имеющих резко меняющееся по их длине сечение.

2. Учет гидродинамических особенностей течения гетерогенной шлакометаллической струи при конструировании кокиля позволяет устранить поверхностные дефекты на всех типах отливок и тем самым сократить припуски на последующую механическую обработку.

3. Эффект тепловой надставки от использования достаточного объема жидкого шлака над затвердевающим металлом позволяет получать незначительные размеры усадочной раковины на поверхности отливки.

Литература

1. Электрошлаковые печи / Под ред. Б. Е. Патона, Б. И. Медовара. Киев: Наукова думка, 1976.
2. Электрошлаковая тигельная плавка и разливка металла / Б. И. Медовар, В. Л. Шевцов, В. М. Мартын и др.; Под ред. Б. Е. Патона, Б. И. Медовара. Киев: Наукова думка, 1988.
3. Шарпов А. А., Волков С. Е. Расчет толщины жидкого слоя шлаковой корочки при переплаве под слоем шлака // Теория металлургических процессов. 1974. Вып. 2. С. 193–195.