

## СПЕЦИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ БУДУЩЕГО



Международный симпозиум в честь 100-летия со дня рождения академика НАН Украины Бориса Израилевича Медовара — ученого-металлурга, сварщика и металловеда, выдающегося представителя Патоновской научной школы, верного соратника Евгения Оскаровича и Бориса Евгеньевича Патонов прошёл в Киеве 7–10 июня 2016 г. Между-

народный организационный комитет включил в тематику симпозиума не только электрошлаковые процессы, но и другие направления деятельности ученого. В частности, были представлены доклады по технологии сварки низко-, средне- и высоколегированных сталей и сплавов, управлению затвердеванием слитков и отливок, созданию новых металлических материалов.

Работа симпозиума состояла из 8-ми пленарных заседаний и завершилась открытой дискуссией по проблеме получения крупных кузнечных слитков и тяжелых поковок ответственного назначения, в частности, для энергетики.

Открыл симпозиум академик НАНУ К. А. Ющенко (ИЭС им. Е. О. Патона, г. Киев) приветствием специалистов из Австрии, Германии, Китая, Польши, США и Украины. Он коротко рассказал о творческом наследии Б. И. Медовара и его работе в ИЭС им. Е. О. Патона.

С докладом о развитии идей Б. И. Медовара в области ЭШП выступил Л. Б. Медовар (ИЭС им. Е. О. Патона, г. Киев). В докладе освещены достижения в области ЭШП титана и показано, что при всех известных ограничениях ЭШП может найти место в современной промышленности для очистки титана от остроугольных нитридных включений, а также при реализации давней мечты «титанистов» — непрерывной или полунепрерывной разливки титана в заготовки небольших сечений. Приведены результаты новых исследований процесса получения заготовок под прокатку особо высокого металлургического качества на основе комбинирования ЭШП и непрерывной разливки, предложенного Б. И. Медоваром более полувека назад. Сегодня разработка комбинированного процесса МНЛЗ + ЭШП ведется с целью повышения

качества рельсов за счет подавления осевой неоднородности, свойственной блюмам непрерывной разливки, получаемых даже на самых современных МНЛЗ.

На первом заседании, проходившем под председательством президента фирмы «CONSARC» (США) Р. Робертса, неоднократно встречавшегося с Борисом Израилевичем лично, были представлены доклады основных участников международного рынка в области специальной электрометаллургии, включая фирмы «CONSARC», «INTECO» (Австрия) и «ALD» (Германия). Все эти доклады посвящены основному направлению развития ЭШП на современном этапе — получению крупных кузнечных слитков массой вплоть до 300 т и более, прежде всего для нужд энергетического машиностроения. В каждом из них содержалось немало новой информации. Например, в докладе фирмы «CONSARC» представлены расчетные данные, свидетельствующие о влиянии частоты тока на профиль и, что принципиально важно, глубину жидкометаллической ванны и двухфазной зоны слитка ЭШП.

Доклад компании «ИНТЕКО» о промышленном опробовании предложенной Б. И. Медоваром технологии управления затвердеванием крупных слитков ЭШП за счет отдельного подвода тепла в шлаковую ванну через расходоуемый и нерасходоуемый электроды представил исполнительный директор фирмы господин А. Шериау. Показано, что такая схема ЭШП обеспечивает значительное расширение возможных пределов производительности переплава и позволяет уменьшить скорость формирования слитка на 25...30 % и, соответственно, уменьшить глубину двухфазной зоны. Опыты проводили на слитках ЭШП диаметром 750 мм из стали X12CrNiMoV типичной для современных материалов роторов паровых турбин на рабочую температуру 650 °С. Исследования макро- и микроструктуры слитков, выплавленных при обычных и пониженных скоростях, показали заметное ослабление основных видов сегрегации. Отмечено также, что применение двухконтурной схемы ЭШП позволило за счет обогрева поверхности слитков через нерасходоуемый электрод-токоподводящий кристаллизатор избежать ухудшения качества поверхности слитков, сопровождающее снижение скорости переплава. Заметим, что замечательное изобретение — токоподводящий кристаллизатор, разработан сотрудниками ИЭС им. Е. О. Патона более 40 лет назад<sup>1</sup>. Заключительный доклад на этом заседании представил

<sup>1</sup>Г. В. Ксендзык, И. И. Фрумин, А. С. Ширин, USA patents № 4, 185,682 и 4, 305,451.

руководитель исследовательского департамента фирмы «ALD» господин Г. Брукманн. В его докладе суммирован многолетний опыт фирмы по созданию оборудования и технологии ЭШП кузнечных слитков в коротких кристаллизаторах с вытяжкой. Компания «ALD» первая в мире запустила в 1971 г. (Германия) в работу печь ЭШП, позволявшую получать кузнечные слитки диаметром до 2500 мм и массой до 165 т. Эта печь и сегодня после модернизации успешно работает на фирме «Saarschmiede» (г. Саарбрюкен), производя слитки массой до 220 т. Интересно, что давнюю проблему ЭШП с вытяжкой слитка (определение местонахождения границы раздела «шлак–металл») фирма «ALD» решила установкой в стенке кристаллизатора термопар, позволяющих по изменению температуры определять это местоположение с точностью  $\pm 5$  мм, что вполне достаточно для практических целей.

Уже эти первые доклады показали, что интерес мировых лидеров рынка оборудования и технологий ЭШП сосредоточен на нуждах энергетики и, прежде всего, связан с производством крупных кузнечных слитков из сложнолегированных сталей и т. н. суперсплавов. По этой же теме представил доклад доктор Лиу Джонгли (Университет Циндао, КНР), посвященный применению ЭШП для нужд атомной энергетики Китая. Отметим, что сегодня в Китае построена самая большая в мире печь ЭШП, спроектированная для производства кузнечных слитков массой до 450 т. Из этого обзорного доклада стало понятно, что КНР делает ставку на ускоренное развитие атомной энергетики. Более того, докладчик отметил, что после аварии на АЭС в г. Фукусима многие проекты строительства новых АЭС приостановлены, но сегодня им вновь дан «зеленый свет». Обратил на себя внимание участников примечательный технический факт из этого доклада. Специалистам атомного машиностроения хорошо известны трудности, связанные с изготовлением различных толстостенных труб для АЭС, изготавливаемых, как правило, с внутренней плакировкой из нержавеющей сталей. Сегодня фирма «ТНМ» (г. Яньай, КНР) изготавливает такие трубы целиком из нержавеющей стали свободной ковкой из слитков ЭШП массой 80...100 т.

Интересно, что практически все последующие доклады по специальным способам плавки были посвящены сталям и сплавам для энергетики. Это вполне объяснимо, т.к. в последнее время все больше ощущается разрыв между потребностями мировой экономики в электроэнергии и известны-

ми ограничениями традиционных циклов ее производства, а также возможностями металлургов удовлетворить спрос энергетического машиностроения на стали и сплавы для работы при все более высоких температурах и давлениях. В частности, во время открытой дискуссии по проблеме крупного кузнечного слитка американские коллеги упомянули, что планировавшийся на 2016 г. пуск в эксплуатацию опытного блока ТЭС с рабочей температурой пара 700 °С отложен из-за того, что не решена проблема ротора паровой турбины на ультра сверхвысокие параметры. Всеобщий интерес вызвал доклад А. И. Балицкого (ФМИ им. Г. В. Карпенко, Украина), в котором сделан подробный обзор материалов для современной энергетики.

Именно информация о новых сталях и сплавах стала связующим звеном между металлургами и сварщиками, принимавшими участие в симпозиуме. Ряд докладов, представленных ведущими специалистами по сварке ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, вызвал неподдельный интерес и у металлургов. Это касается исследований свариваемости никелевых суперсплавов (доклады К. А. Ющенко и Н. О. Червякова), высокопрочных сталей (В. Д. Позняков) и сварки в энергетическом машиностроении (В. Ю. Скульский). Особенно интересной была четко проведенная в этих докладах взаимосвязь между металлургическим качеством (чистотой) сталей и сплавов и их свариваемостью.

Практически каждый доклад вызывал немало вопросов к выступающим и постоянные дискуссии стали основой для оживленных обсуждений проблемы получения крупного качественного кузнечного слитка. Одним из интересных результатов этих обсуждений стало поддержанное многими специалистами заключение о том, что на новом этапе при изготовлении все больших и больших машин возможно появление комбинированной технологии изготовления многотонных деталей сваркой из поковок сравнительно небольшой массы из новых материалов.

В ходе этого обсуждения специалист в области ЭШП тяжелых листовых слитков А. Г. Богаченко предложил учредить премию имени его Учителя — Б. И. Медовара для награждения авторов лучших работ по ЭШП, широко представляемых на международных конференциях по специальной электрометаллургии. Это предложение одобрили коллеги из США, где будет проходить следующая конференция в 2017 г. На правах организаторов они обещали включить такое награждение в ее работу.

*А. П. Стовпченко*

*С трудами симпозиума «Proceedings of the Medovar Memorial Symposium»  
можно ознакомиться в библиотеке ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины*