

ВАРИАНТЫ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ЯЧЕЕК СТЕЛЛАЖЕЙ УПЛОТНЁННОГО ХРАНЕНИЯ ТОПЛИВА АЭС С ВВЭР И СПОСОБЫ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ

Д.В. Суров, В.Н. Чернышев, С.А. Кушманов

Для обеспечения ядерной безопасности при хранении ТВС в конструкции транспортно-технологического оборудования обращения с ядерным топливом (стеллажи бассейна выдержки, стеллажи для ТВС, пеналы герметичные) используются шестигранные борированные трубы (рисунок 1).



Рис. 1 Шестигранная борированная труба

В настоящее время шестигранные трубы для всех проектов АЭС с ВВЭР изготавливает монопольный поставщик ОАО «Челябинский трубопрокатный завод».

Перед деформацией (профилированием в шестигранник) заготовка подвергается расточке, обточке и термической обработке. Размеры и предельные отклонения труб, изготовленных по техническим условиям ТУ 14-3-1630-89 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наружный размер под ключ, мм	Толщина стенки граней, мм	Общая кривизна граней по длине трубы, не более, мм	Длина труб, мм	Скручивание граней, не более
257^{+2}_{-3}	6^{+2}_{-1}	3	4300^{+80}_{-20}	$2^{\circ}15'$

Массовое содержание бора в такой трубе составляет 1,3-1,8%.

Таким образом, данная технология изготовления шестигранных борированных труб предполагает достаточно низкую точность изготовления, а также высокую стоимость и металлоёмкость конечного изделия.

В настоящее время идёт существенное совершенствование топливных циклов и ТВС, в результате чего обогащение ТВС повышено до 5,0 %, возросла ураноемкость и высота топливного столба ТВС, уменьшено количество гафния в материале оболочек ТВЭЛ, масса конструктивных материалов и др. Для обеспечения ядерной безопасности при обращении с используемыми в настоящее время ТВС требуется применение шестигранных труб из бористой стали с улучшенными (оптимизированными) характеристиками. Принципиально данная задача имеет два пути решения:

- увеличение содержания бора (до 3%);
- улучшение геометрических характеристик шестигранных труб.

В данный момент сразу несколько предприятий ведут исследования в области изготовления шестигранных труб с повышенным содержанием бора. Сложностью в данной работе является то, что при повышении содержания бора ухудшаются механические свойства стали и она плохо обрабатывается.

Наряду с технологией трубного проката развивается технология центробежного литья заготовки с последующим профилированием трубы в шестигранник. Применение данного способа изготовления заготовок позволяет уменьшить металлоёмкость изделия, исключается разнотолщинность трубы и снижается её конечная стоимость. При этом наблюдается увеличенное содержание бора на внутренней поверхности трубы, по отношению к наружной поверхности. К примеру, предприятие ЗАО НПО «АХТУБА» имеет положительный опыт изготовления трубной заготовки, полученной методом центробежного литья из стали с содержанием бора до 3%.

Ряд исследований проводится для изготовления сварных шестигранных труб из листов бористой стали. Предполагается, что данная технология позволит решить задачу обеспечения ядерной безопасности топлива в стеллажах уплотнённого хранения даже при некотором снижении содержания бора в стали за счёт более точных геометрических характеристик (уменьшения допусков на изготовление) шестигранной трубы.

Среди производителей, использующих технологию сварки борированной стали можно выделить концерн Skoda JS a.s., который изготовил и поставил стеллажи с шестигранными борированными трубами на ряд АЭС с Российскими реакторами ВВЭР: АЭС Темелин, Дукованы, Моховце, Запорожская, Ровенская, Хмельницкая. Для сварки шестигранных труб Skoda JS a.s. использует технологию вакуумной сварки электронным лучом.

В России технология изготовления сварных шестигранных труб находится на этапе освоения.

Из способов изготовления шестигранных борированных труб, направленных на улучшение геометрических характеристик трубы можно отдельно отметить технологию сборки трубы из борированных листов с механическим креплением в шестигранник (рисунок

2). При этом исключается использование дорогостоящих сварочных установок, что удешевляет конечный продукт. Однако для получения продукции высокого качества и в достаточном объеме требуется отработанная технология сборки.

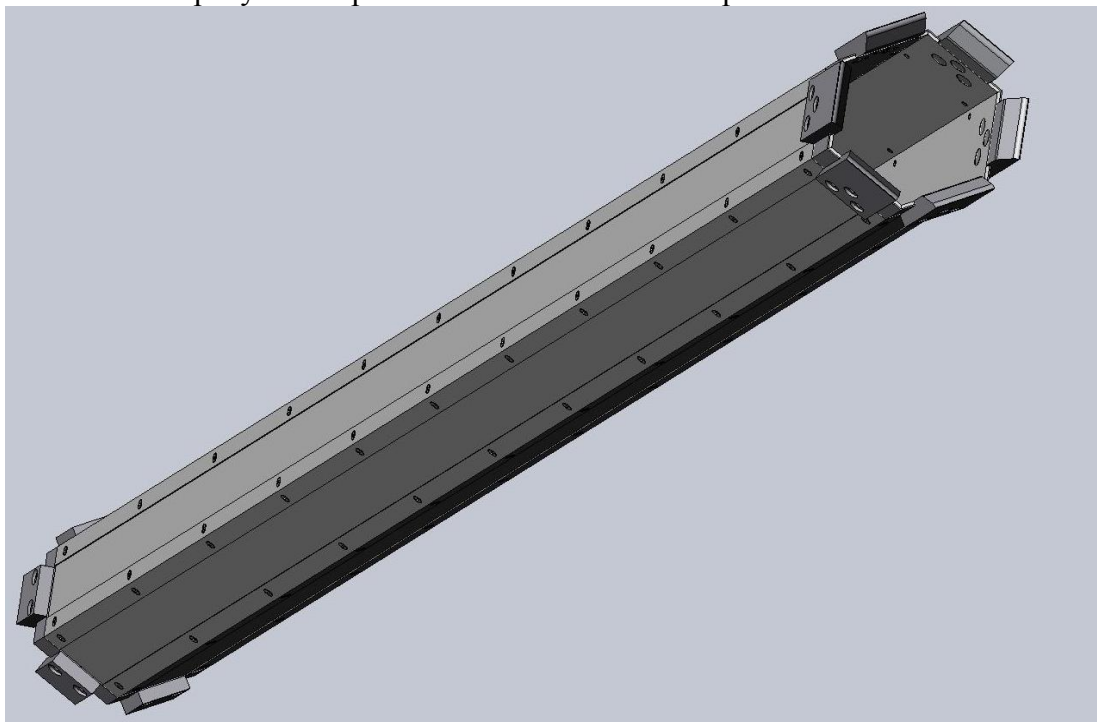


Рис. 2 Сборная шестигранная борированная труба

Для внедрения любой из вышеперечисленных технологий производство должно отвечать требованиям нормативных документов в области использования атомной энергии, а также необходимо разработать технические условия на трубы (на материал) и провести испытания для опытной партии шестигранных труб. Технические условия и результаты испытаний должны быть согласованы с головной материаловедческой организацией и с другими заинтересованными организациями.