

Анализ аварийных ситуаций при плавке алюминиевых сплавов

Студенты группы 10405220 Рукина К.А., Ключко Д.А., Меркуль И.Д.

Научные руководители - Неменёнок Б.М., Довнар Г.В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Основными аварийными ситуациями при использовании жидкого металла на объекте являются взрывы, связанные с контактом расплава с водой при загрузке влажных шихтовых материалов в плавильные печи, запрессовкой расплава в непрогретые или неплотно сомкнутые пресс-формы, разрушением футеровки плавильных печей или разливочных ковшей и попаданием расплава на влажный пол или влажный приямок. Причиной этих ситуаций, как правило, является нарушение требований безопасности, технологических инструкций и инструкций по охране труда, а также отказ в работе оборудования или отсутствие технических средств по контролю за состоянием футеровки и систем охлаждения плавильных печей, отказ систем блокировок и управления машин литья под давлением. Основными поражающими факторами указанных взрывов являются: ударная волна, выброс (разлёт) продуктов плавки (жидкого металла, шлака, шихты), задымление, загазованность, пожар в случае контакта расплава с горючими материалами.

При работе с жидким металлом категорически запрещается загружать в расплав влажные, обледеневшие материалы (шихту), использовать влажный неочищенный и непрогретый инструмент, заливать расплав, используя непросушенный непрогретый ковш, или непрогретые пресс-формы, изложницы, скачивать шлак в неокрашенные и непросушенные короба (шлаковницы), работать на неисправном оборудовании.

Наиболее характерной аварией в литейных цехах является взрыв (физическая детонация), связанный с взаимодействием высокотемпературного металлического расплава и воды, когда температура жидкого расплава значительно превышает температуру кипения воды.

Наибольшую опасность представляют случаи, когда вода попадает в объем расплава и ее перегрев происходит без возможности свободного пароудаления.

В специальной литературе рассматривается несколько механизмов этого явления:

1. При смешивании расплава с водой происходит процесс фрагментации капель расплава, обеспечивающий быстрый теплоотвод, перегрев и мгновенное (взрывное) испарение воды. 1 литр воды увеличивается в объёме до $1,25\text{ м}^3$ пара. В результате возникает ударная волна с избыточным давлением в жидкой фазе достигающим тысячи и более атмосфер.

2. При температурах в зоне контакта воды и расплава выше $370\text{ }^\circ\text{C}$ режим кипения воды приобретает пленочный характер. Паровая прослойка препятствует передаче тепла другим слоям воды. Температура кипения повышается пропорционально давлению над поверхностью воды, если давление над поверхностью снизить до атмосферного, то вся вода окажется перегретой и мгновенно превратится в пар, объем которого почти в 1600 раз больше объема воды. Такое превращение носит взрывообразный характер.

3. Расплав, перегревая воду сам охлаждается, образуя замкнутый объем, в котором вода испаряется, повышая давление в паровой фазе до тех пор, пока не превысит прочность оболочки. Когда давление превышает критическое значение, происходит разрыв оболочки и взрыв, аналогичный взрыву «паровой бомбы» - мгновенное испарение воды в собственном объеме с давлением в эпицентре до 100 МПа.

В первом приближении расчет физического взрыва может выполняться по схеме расчета взрыва сосуда (резервуара) с перегретой жидкостью BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion - взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости), в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ Р 12.3.047-2012.

Для оценки силы взрыва, возникающего в результате взаимодействия расплавленного металла с водой, используется тротильный эквивалент взрыва. Подобного рода взрывы по своему характеру и прежде всего по максимальному давлению в эпицентре взрыва существенно

отличаются от взрывов газоздушных смесей и ближе к взрывам взрывчатых веществ. Как и в последнем случае, в процессе взрыва образуется газовая фаза из конденсированного вещества практически в его собственном объеме. Газ (в данном случае водяной пар) поглощает часть энергии расплавленного металла и является рабочим телом взрыва. Расчет тротилового эквивалента позволяет, используя энергетическую теорию подобия при взрывах, рассчитать давление во фронте ударной волны на различном расстоянии от эпицентра взрыва.

Доля энергии металла, которая может быть сообщена воде, зависит от условия их взаимодействия и, прежде всего, от соотношения объемов и масс воды и металла, а также температуры расплава.

При расчете взаимодействия воды с расплавом алюминиевых сплавов учитывалась также вероятность взаимодействия алюминия (т.к. Al является одним из наиболее активных металлов) с водой (парами воды) с освобождением водорода, что из-за последующего взаимодействия водорода с кислородом воздуха усиливает энергию взрыва.

При контакте воды с расплавленным металлом (например, при загрузке влажной шихты в плавильные печи, использовании влажного непросушенного инструмента, заливке расплава или скачивании шлака в непросушенные изложницы, при попадании расплавленного металла на влажный пол) возникает вероятность возникновения физического взрыва, связанного с мгновенным закипанием (испарением) воды в объеме, ограниченном окружающим расплавом, который можно описать в соответствии с моделью взрыва резервуара с перегретой водой (BLEVE).

При разрыве оболочки резервуара давление в нем резко падает до внешнего давления среды, окружающей резервуар. Перегретая вода, имеющая большой запас энергии, мгновенно вскипает. Происходит адиабатное (изоэнтальпическое) расширение воды, образуется большое количество пара и происходит физический взрыв. При таких взрывах кроме воздействия ударной волны персонал подвергается опасности термического ожога и физического поражения разлетающимся расплавом, шлаком, шихтой. Все вышеперечисленные факторы могут привести к тяжелым травмам вплоть до смертельно опасных.

Расчёты показывают, что при попадании в расплав алюминия массой 400 кг 0,1 кг воды выделяющаяся при этом энергия эквивалентна 3 кг тротила. Это обеспечивает смертельное поражение в радиусе 1,26 м, тяжёлые травмы в радиусе 1,83 м, разрушение остекления в радиусе 16,5 м и повреждение стальных каркасов, ферм, кирпичных перегородок в радиусе 6,5 м.

Поражение персонала разлетающимися продуктами плавки наиболее вероятно на расстоянии до 1,8 м от тигля (вероятность более 90 %). В этой зоне высота траектории частиц жидкого металла, вылетающего из печи в результате взрыва, находится в пределах человеческого роста (не превышает 185 см). За пределами этой зоны частицы расплава движутся уже существенно выше, соответственно вероятность их прямого попадания в рабочих, обслуживающих печь, снижается почти на два порядка до 1 % и ниже

Пролив расплава алюминия при транспортировке ковша ёмкостью 400 кг на лужу воды глубиной до 0,005 м и диаметров около 0,2 м приводит к выделению энергии, эквивалентной 0,53 кг тротила. Это сопровождается смертельным поражением в радиусе 1,46 м, получением травм различной степени тяжести в радиусе 2,13 м и лёгких травм в зоне с радиусом 19 м с частичным разрушением остекления в радиусе 46 м.

При сливе расплава во влажный ковш ёмкостью 400 кг выделяется энергия эквивалентная 0,67 кг тротила. Радиус зоны смертельного поражения 1,58 м, тяжёлые травмы возможны в радиусе 2,3 м и частичное разрушение остекления в радиусе 50 м.

Но не только вода может стать причиной несчастных случаев. Маслосодержащие блоки шихты также являются критическими. В этом случае происходит не только испарение поскольку масло мгновенно вступает в реакцию с кислородом, образуя продукт сгорания. Только 1 кг масла при нормальных условиях приводит к образованию почти 11 м³ отходящего газа, также увеличивающегося в объёме из-за температуры реакции практически до 50 м³. Полагая,

что данная реакция будет происходить каждую секунду, эквивалентный расход достигает более 178000 м³/ч с каждого килограмма масла, что может превысить возможность системы очистки отходящих газов [1].

Список использованных источников

1. Шмитц, К. Рециклинг алюминия. Справочное руководство / К. Шмитц, Й. Домагала, П. Хааг. – М.: «АлюсилВМиТ», 2008. – 528 с.