

#### Учредители

- Институт машиноведения им. А.А. Благонравова  
Российской академии наук
- Московский государственный индустриальный университет

#### Издатель

Московский государственный индустриальный университет

Журнал зарегистрирован 30 декабря 2004 г. Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия  
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-19294

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

№ 2`2007

Выходит 4 раза в год

ISSN 1815-1051

### В номере

#### РЕДКОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

##### Главный редактор

**Фролов К.В.**, академик РАН,  
директор Института машиноведения им. А.А. Благонравова  
Российской академии наук (ИМАШ РАН)

##### Заместители главного редактора

**Скопинский В.Н.** (отв. редактор), д.т.н., проф. (МГИУ)  
**Баранов Ю.В.**, д.т.н., проф. (ИМАШ РАН)  
**Овчинников В.В.**, д.т.н., проф. (ФГУП «РСК МИГ»)

##### Члены редколлегии

**Алешин Н.П.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)  
**Асташев В.К.**, д.т.н., проф. (Москва)  
**Беляков Г.П.**, д.э.н., проф. (Красноярск)  
**Бобровницкий Ю.И.**, д.ф.-м.н., проф. (Москва)  
**Вайсберг Л.А.**, д.т.н., проф. (Санкт-Петербург)  
**Горкунов Э.С.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Екатеринбург)  
**Григорян В.А.**, д.т.н., проф. (Москва)  
**Дроздов Ю.Н.**, д.т.н., проф. (Москва)  
**Индейцев Д.А.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Санкт-Петербург)  
**Колесников А.Г.**, д.т.н., проф. (Москва)  
**Кошелев О.С.**, д.т.н., проф. (Н. Новгород)  
**Лунев А.Н.**, д.т.н., проф. (Казань)  
**Махутов Н.А.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)  
**Пановко Г.Я.**, д.т.н., проф. (Москва)  
**Перминов М.Д.**, д.т.н., проф. (Москва)  
**Петров А.П.**, д.т.н., проф. (Москва)  
**Полилов А.Н.**, д.т.н., проф. (Москва)  
**Поникаров С.И.**, д.т.н., проф. (Казань)  
**Приходько В.М.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)  
**Резчиков А.Ф.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Саратов)  
**Рототаев Д.А.**, д.т.н., проф., акад. РАРАН (Москва)  
**Теряев Е.Д.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)  
**Федоров М.П.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Санкт-Петербург)  
**Хохлов Н.Г.**, д.п.н., проф. (Москва)  
**Чаплыгин Ю.А.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)  
**Шляпин А.Д.**, д.т.н., проф. (Москва)  
**Штриков Б.Л.**, д.т.н., проф. (Самара)

#### ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

##### Терещук В.С.

Проблемы, связанные с охлаждением расплава  
алюминия в водной среде ..... 2

#### ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

##### Игнатьев Ю.Е., Овчинников В.В., Рязанцев В.И.

Импульсная и пульсирующая дуговая сварка  
алюминиевых сплавов ..... 12

##### Хованов Н.Н., Ефимов В.М., Попов В.С., Петриков С.А.

Технологический процесс и оснастка для ударного  
формирования дискретных неровностей на поверхностях  
теплообменных труб ..... 29

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАШИН И СИСТЕМ

##### Скопинский В.Н., Берков Н.А., Сметанкин А.Б.

Напряжения в тройниковых соединениях  
трубопроводов при комбинированном нагружении ..... 34

##### Шейпак А.А.

Моделирование течения газа в каналах и гидромашинах ..... 46

##### Алексеев К.Б., Шадян А.В.

Определение динамических параметров космического летательного  
аппарата по признакам динамической асимметрии ..... 53

#### ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

##### Приходько В.М., Сазонова З.С.

Компетенции инженера — традиции и инновации ..... 59

### ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ!

Подписка на журнал  
«Машиностроение и инженерное образование»  
проводится в издательстве МГИУ

Тел.: (495) 674-62-50.  
E-mail: mio@msiu.ru

# ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ОХЛАЖДЕНИЕМ РАСПЛАВА АЛЮМИНИЯ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

В.С. Терещук



**ТЕРЕЩУК  
Валерий  
Сергеевич**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИМАШ РАН им. А.А. Благонравова. Область научных интересов – горение металлов в активных средах, разработка и применение сплавов и композитов на основе алюминия для генерации водорода, химия и физика гидридов переходных металлов, создание автомобиля на водородном топливе без водорода на борту. Автор более 40 научных трудов и 23 изобретений.

тающаяся в футеровке ковша или желоба, будет реагировать со сплавами, содержащими Al, Zn, Mg, Mn, Fe, Ni, Sn и другие металлы.

С катастрофическими взрывами металлурги столкнулись в условиях промышленного производства при усовершенствовании методов отливки слитков, при которых для получения мелкокристаллической структуры металл очень быстро охлаждается водой (расплавленный Al широкой струей быстро вливается в резервуар с водой). При этом здания литейных цехов разрушались как от взрыва динамита, и взрыв был слышен на расстоянии 5 км [2]. Для выяснения и предотвращения подобных взрывов научно-исследовательскими лабораториями фирмы «Alcoa» были проведены обширные исследования [2].

Испытания проводились внутри облицованной деревом песчаной обваловки до тех пор, пока не произошел взрыв, разрушивший стены толщиной 60 см. Тогда было построено ограждение из железобетона, за которым и проводили последующие испытания. Последовательность операций при проведении испытаний была следующей: тигель, содержащий 23 кг расплавленного технически чистого Al, подвешивали над резервуаром, частично заполненным водой. Механизм с дистанционным управлением выпускал металл в воду через сливное отверстие, которое имело заглушку.

Впервые необычное взаимодействие расплава Al с водой было описано еще в 1952 г. [1]. Было отмечено, что при соприкосновении расплава Al с водой, оставшейся в материале футеровки, может происходить интенсивное парообразование, а иногда даже взрывы, поэтому перед литьем ковша, желоба, воронки и распределительные коробки должны быть тщательно просушены. Указывалось, что влага, ос-

Резервуары для воды были сварены из листовой малоуглеродистой стали толщиной 5 мм в форме параллелепипеда с длиной стороны от 16,5 см до 122 см и глубиной от 30,5 см до 91 см. В нескольких испытаниях использовались также бетонные резервуары.

Взрывы характеризовались сильным разрывным действием, которое сопровождалось громким шумом и ударной волной. При этом, наряду с белым облаком дыма (вероятно окисью Al), происходило образование довольно значительного количества тонкоизмельченного Al. Все взрывы, кроме самых слабых, разрывали стальные резервуары для воды в месте сварных швов и часто разбрасывали осколки на сотни метров. Бетонные резервуары также разрывало на мелкие части. Иногда взрывы разрушали также и тигель, из которого выливался металл. Результаты были аналогичны наблюдаемым при детонации взрывчатых веществ.

По мнению авторов этих работ, взрывы происходили почти сразу же после того, как начиналось вытекание металла и соприкосновение его с водой, что по времени фиксировалось только испытателями, но не аппаратурой. Попыток измерить силу взрыва не предпринималось. Одно испытание проводили даже ночью без освещения места испытания. При этом, за исключением раскаленного докрасна металла, никакой вспышки или огня во время взрыва или непосредственно после него не наблюдалось.

Было обнаружено, что возникновение взрыва зависит от диаметра струи расплавленного металла, выливаемого в воду. Взрывов не происходило, если металл выливался через отверстия диаметром 19–64 мм. Увеличение размера отверстия до 70–100 мм вызывало взрывы. Точное количество металла, необходимое для появления взрыва, определено не было, хотя было проведено 800 испытаний. Отдельно было проведено испытание, в ходе которого 4,5 кг Al, находящегося при температуре 750 °C, выливали через отверстие диаметром 70 мм. При этом также был зафиксирован взрыв с разрушением стального резервуара для воды.

Расстояние, на которое расплав металла опускался по глубине резервуара для воды, варьировалось от 46 см до 1,2 м (взрыв происходил во всех случаях); при этом заглушка находилась у поверхности воды. Но в 19 испытаниях, когда металл выливался с высоты трех метров, никаких взрывов не происходило. Авторы экспериментов объясняли отсутствие взрыва тем, что струя металла, падая с большой высоты, распадается на несколько струй, каждая из которых, из-за ее малого диаметра (см. выше), не вызывает взрыва. Это предположение проверили, поместив над резервуаром стальную решетку с квадратными отверстиями размером 2,5х2,5 см. Было проведено 13 испытаний без взрывов с высоты 46 см. Испытания, проводимые при таких же условиях, но без железной решетки, заканчивались взрывами.

По мере увеличения глубины воды в резервуаре для инициации взрыва требовались все более высокие температуры металла. При глубине воды, равной 8 см или 15 см, взрывы происходили при температуре расплава 670 °C. Когда глубина воды увеличивалась до 25 см взрыв происходил уже при 750 °C. При глубине воды, равной 5 см и менее, вместо взрыва расплавленный металл выбрасывался из резервуара и разбрызгивался на значительные расстояния.

Все описанные выше испытания проводились при температуре воды 13–25 °C. При увеличении температуры до 50 °C вероятность взрывов еще сохранялась, а при температуре от +60 °C до +100 °C взрывов не наблюдалось.

Покрытие поверхности резервуара известью, гипсом, ржавчиной, гидроокисью Al или железа увеличивало вероятность появления взрывов. Бетонный резервуар реагировал на процесс охлаждения струи расплавленного металла водой так же, как и металлический.

Когда на дно резервуара специально наносили смазку или масло, взрывов не наблюдалось. Нанесение краски, черной сажи, асфальта также предотвращало взрывы. Алюминиевая краска, напротив, взрывы провоциро-