

## Применение вольфрама для повышения эффективности действия кумулятивных зарядов по разным преградам

© С.В. Ладов, Ю.М. Дильдин, А.И. Колмаков, В.Н. Охитин

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены вопросы увеличения глубины и диаметра каверны в различных преградах при действии кумулятивных зарядов с комбинированными облицовками, в качестве которых используют биметаллические (двухслойные) облицовки из меди и вольфрама. В качестве пробиваемых применяют преграды из мягкого железа и стали разной твердости (прочности), а также комбинированные преграды сталь — дюралюминий и вода — сталь, имитирующие различные условия пробивного действия кумулятивных зарядов. Результаты проведенных экспериментальных исследований представлены в виде графических зависимостей, диаграмм и рентгенограмм процесса образования кумулятивной струи из комбинированных облицовок. Приведена сравнительная оценка действия кумулятивных зарядов с кумулятивными облицовками различной конструкции, включая исходную однослойную облицовку из меди, в зависимости от способа формирования слоя вольфрама на внутренней поверхности облицовки и его толщины. Даны рекомендации по использованию кумулятивных зарядов с комбинированными кумулятивными облицовками медь — вольфрам при действии по разным преградам.*

**Ключевые слова:** кумулятивный заряд, кумулятивная облицовка, кумулятивная струя, медь, вольфрам, преграда, пробивное действие

**Введение.** В настоящее время как в промышленности военного назначения, так и в некоторых гражданских отраслях все более актуальной становится задача повышения эффективности действия кумулятивных зарядов (КЗ) посредством увеличения глубины пробития и диаметра образующейся в преграде каверны (в случае сквозного пробития — отверстия или пробоины) [1–9]. Одним из методов ее решения является создание биметаллических (двухслойных) кумулятивных облицовок (КО) с большой плотностью металла на внутренней поверхности облицовки, причем глубина пробития и диаметр образующейся каверны (отверстия) при действии КЗ в значительной степени зависят от материалов, из которых изготовлена облицовка, толщины слоев металлов и способов их образования, а также от технологии изготовления подобных облицовок.

Как известно, условия формирования кумулятивной струи (КС) определяются микроструктурой металла облицовки и способностью его структурных составляющих к пластической деформации [6]. Тяжелые пластичные металлы, в частности, с кубической гранцентрированной решеткой группы меди и некоторые сплавы, образуют

сплошные струи, плотность которых не более чем на 10 % ниже плотности материала облицовки. Длина таких струй примерно в 10 раз превышает исходную длину образующей облицовки, притом струи не разрываются и сохраняют высокую плотность, что обеспечивает их значительную пробивную способность. Другие металлы, например железо и цинк, на начальных стадиях формируют сплошные струи, которые, в отличие от описанных выше, при растяжении разрываются значительно раньше, что снижает их пробивное действие. Хрупкие металлы, к примеру вольфрам и титан, а также металлы с высокой пористостью, получаемые спеканием, вообще не образуют сплошных струй, а формируют дискретные потоки, состоящие из отдельных твердых частиц. Пробивное действие таких КС значительно ниже, чем сплошных.

В известных работах Ф.А. Баума 1950-х годов приводились сведения о том, что для увеличения пробивного действия КЗ со стальными и медными КО на внутреннюю поверхность последних электролитическим методом наносили тонкий слой различных металлов: алюминия, кадмия, меди, молибдена, никеля, олова, свинца, серебра, хрома, цинка. Толщина наносимого слоя для различных КЗ составляла от 0,02 до 0,1 мм. Результаты этих работ показали, что нанесение тонкого слоя материала в целом не влияет на процесс схлопывания КО и ее деформирование, а практически зависит только от основного металла. При этом необходимо подбирать металлы, обладающие определенными физико-механическими свойствами, которые влияли бы на процесс формирования КС. По данным экспериментальных исследований Ф.А. Баума, лучшие результаты при подрывах КЗ на бронеплитах (материал преграды — сталь высокой твердости и прочности) были достигнуты при напылении кадмия, что давало прирост по глубине пробития на стальных КО до 25 %, на медных — до 15 %. При этом увеличения диаметра каверны (отверстия) замечено не было.

Другой метод повышения эффективности действия КЗ — переход на двухслойные облицовки, в том числе такие, в которых внутренний слой, меньший по массе и толщине, выполнен из металлов большей плотности, чем наружный слой [1, 3, 6]. Можно подбирать такие металлы и конструкцию КО, которые способствовали бы увеличению не только глубины, но и диаметра образуемой каверны в полубесконечной преграде или пробиваемого отверстия в преграде конечной толщины. Известны многочисленные патенты отечественных и зарубежных авторов, направленные на реализацию подобной идеи [10].

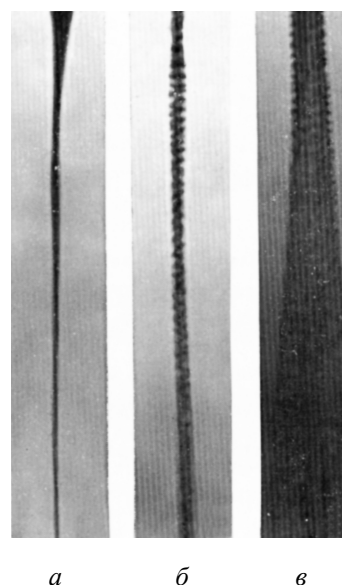
Одна из целей данной работы — показать целесообразность нанесения вольфрама на внутреннюю поверхность медной облицовки. Выбор вольфрама обусловлен прежде всего тем, что этот металл относится к группе тяжелых (его плотность  $19,3 \text{ г/см}^3$ ). Однако технически

чистый вольфрам — хрупкий материал, который не образует сплошной струи. Это существенно снижает его пробивное действие по прочным преградам, что стало основной причиной отказа от его использования в чистом виде. Вместе с тем есть данные, что дискретные струи при действии по некоторым преградам образуют отверстия большего объема, чем сплошные, при приемлемой глубине проникновения [4, 7, 8].

В случае применения вольфрама в качестве материала КО, как правило, использовали спекаемый в различных пропорциях порошок меди с вольфрамом, причем толщину слоя вольфрама и меди подбирали в определенных соотношениях с учетом того, что слой вольфрама должен быть относительно тонким [10–12]. На рентгенограммах (для одной стадии развития процесса), приведенных для медной струи (рис. 1, *а*), а также для струй из спекаемого порошка меди с вольфрамом в пропорциях  $\text{Cu}+10\%\text{W}$  (рис. 1, *б*) и  $\text{Cu}+20\%\text{W}$  (рис. 1, *в*), видно, как влияет увеличение процентного содержания вольфрама на общее состояние струи. Согласно данным М.А. Дубовского для конкретного КЗ, глубина пробития  $L$  по прочной стальной преграде для этих случаев распределяется следующим образом:  $L = 200$  мм (см. рис. 1, *а*);  $L = 110...120$  мм (см. рис. 1, *б*);  $L = 90...100$  мм (см. рис. 1, *в*). Следовательно, чрезмерное насыщение материала струи вольфрамом приводит к снижению глубины пробития, что объясняется потерей ее сплошности и устойчивости.

Некоторые теоретические аспекты, объясняющие формирование и поведение порошковых КС в свободном полете, можно почерпнуть при изучении многочисленных литературных источников, например [9, 13–15]. Некоторые технологические аспекты изготовления подобных облицовок, в том числе и комбинированных, также изложены во многих работах [16–18].

Основная цель настоящей работы — представить экспериментальные исследования, проведенные с целью оценки возможностей конструирования двухслойных КО с нанесением на основной слой из меди с его внутренней



**Рис. 1.** Рентгенограммы процесса образования кумулятивной струи с облицовками из спекаемого порошка медь — вольфрам (данные М.А. Дубовского):

*а* — струя из меди; *б* — струя из спекаемого порошка меди с вольфрамом в пропорции  $\text{Cu}+10\%\text{W}$ ; *в* — струя из спекаемого порошка меди с вольфрамом в пропорции  $\text{Cu}+20\%\text{W}$

стороны дополнительного слоя из вольфрама определенной толщины, способствующего возможному увеличению пробивного действия КЗ по различным монолитным и комбинированным преградам, имитирующим конкретные условия пробития.

**Экспериментальные исследования.** В экспериментах использовали различные методы нанесения порошкообразного вольфрама на медные облицовки: осаждение из газовой фазы [19], плазменное напыление [20] и нанесение порошкообразного вольфрама, замешанного на лаке.

В результате химического осаждения получали покрытия любой толщины, даже очень тонкие, с удовлетворительной равномерностью слоя по всей поверхности, однако со слабой прочностью сцепления.

При использовании метода плазменного напыления выход вольфрама составлял 75...85 %, при этом обеспечивались его высокая сплошность (до 80...90 %) и достаточно надежная сцепляемость, позволяющая вести последующую механическую обработку напыленного слоя. Недостатки данного метода состоят в том, что при плазменном напылении нельзя получить достаточно тонкие покрытия из-за выгорания мелких частиц вольфрама в плазменной дуге. Это приводит к тому, что на КЗ небольших диаметров трудно получить тонкие слои вольфрама и, следовательно, КС диспергируется и глубина пробития падает.

Профилограмма изменения толщины нанесенного покрытия по длине образующей КО приведена на рис. 2. Плазменному напылению соответствует линия 1, при анализе которой видно, что основным недостатком данного метода является разностенность комбинированной облицовки по всей поверхности, вызванная неравномерностью слоя вольфрама, что приводит к нарушению стабильности и снижению пробивного действия КЗ. Кроме того, предварительная дробеструйная обработка и возможный нагрев облицовки до высоких температур нарушают ее исходное состояние, что может привести, например, к наклепу поверхности и, следовательно, снижению стабильности и эффективности действия КЗ.

С этих позиций определенным преимуществом обладает способ, разработанный в процессе представленного исследования, — нанесение на поверхность основной облицовки порошкообразного вольфрама, замешанного на лаке определенной концентрации (этому методу соответствуют линии 2 и 3 на рис. 2). Метод отработывался при различных концентрациях раствора и одной исходной температуре основного металла на пластинках. Применяли концентрации 5, 10 и 15 мл порошка вольфрама на 10 мл лака. Температура пластинок изменялась от 20 до 200 °С. Покрытие наносилось окунанием пластин в лак с последующей сушкой на воздухе, устанавливая пластины под углом 60° к горизонтальной поверхности.