

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ, СВЯЗАННЫХ С ИЗЛУЧЕНИЕМ, ПРИ ПРЕССОВАНИИ ЗАГОТОВОК ИЗ МЕДИ И ЛАТУНИ

FORMATION OF THE THERMAL BOUNDARY CONDITIONS CONNECTED WITH RADIATION, WHEN COPPER AND BRASS RODS EXTRUDING

Логинов Ю.Н.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, un1@mtf.ustu.ru

On the basis of settlement and experience the conclusion about a big difference in formation of the thermal boundary conditions characterizing process of extrusion is made. It is revealed that speed of cooling of a article surface at the expense of radiation depends on degree of an material oxidation. By preparation transfer on a extrusion axis the oxidized surface of an ingot of the industrial sizes from copper or a copper alloy at the expense of radiation can cool down on 25 ... 30°C.

Современный уровень развития вычислительной техники позволил создать комплексы расчетных программ для описания напряженно-деформированного состояния заготовок при обработке давлением. В качестве примера таких систем можно упомянуть программные модули ПЛАСТ, DEFORM, QFORM, РАПИД и др. Часть из этих программных средств ориентированы на решение задач горячей обработки давлением, к этому классу относится, как правило, и задача прессования.

Проблема работы расчетного аппарата механики деформируемого тела частично решена разработкой упомянутых пакетов программ, но для постановки задач в них необходима формулировка граничных условий, в том числе по теплопередаче. Если можно считать, что такой инструмент, как сам способ решения задачи методом конечных элементов или аналогичные способы, является разработанным, хотя нуждается в определенных усовершенствованиях, то гораздо более трудоемким является процесс создания баз данных по константам или зависимостям, описывающим теплопередачу. Ситуация усложняется тем, что существующие в физике данные иногда мало подходят для описания теплопередачи в процессах обработки металлов давлением, из-за высоких напряжений, существования ювенильных и, наоборот, окисленных поверхностей с учетом возможности изменения степени окисленности в течение технологического процесса.

Как известно, теплопередача осуществляется тремя способами: излучением, конвекцией, теплопроводностью[1]. Обычно разделяют металлы и сплавы по интенсивности теплоотдачи, которая осуществляется тем или иным способом в условиях обработки давлением. Например, для обработки алюминиевых сплавов значимым является конвективный теплообмен, и процессы излучения можно не учитывать, поскольку температура обработки их достаточно невелика. При температурах обработки выше 600°C, что характерно для меди и ее сплавов, на первое место выходит лучистый теплообмен до

момента соприкосновения заготовки с инструментом пресса, когда на первый план выходит процесс теплопроводности. Решение задачи перераспределения температуры на стадии распрессовки и прошивки слитков из медных сплавов рассматривалось, например, в монографии [2], но в качестве постулата было принято допущение о равномерном распределении температуры по истечении времени переноса слитка в контейнер пресса.

В соответствии с законом Стефана–Больцмана[3] удельный (на единицу площади) лучевой поток реального тела E пропорционален четвертой степени его абсолютной температуры T :

$$E = k_{сб} k_{ч} T^4, \quad (1)$$

где $k_{сб} = 5,672 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²*К⁴) – постоянная Стефана–Больцмана; $k_{ч}$ – степень черноты излучающего тела ($0 < k_{ч} < 1$).

Отсюда следует, что в случае приближения степени черноты тела к нулю, лучевой поток также стремится к нулю, а при приближении величины $k_{ч}$ к единице поток максимален. Из закона сохранения энергии следует, что чем больше окажется лучевой поток, тем быстрее остынет тело.

Значения степени черноты $k_{ч}$ для меди в зависимости от температуры и состояния поверхности приведены на рис.1 по данным справочника [4]. Как видно из графика, интервал колебаний параметра $k_{ч}$ оказывается велик, он составляет 0,01...0,93, что дает ошибку при неправильном назначении в 9000 %.

При этом основным параметром, влияющим на его величину, является даже не температура, а состояние поверхности, точнее, наличие на ней окислов.

Как это следует из формулы (1) и приведенных данных, медная заготовка с неокисленной поверхностью тепло не теряет, а с окисленной поверхностью активно отдает тепло окружающему пространству.

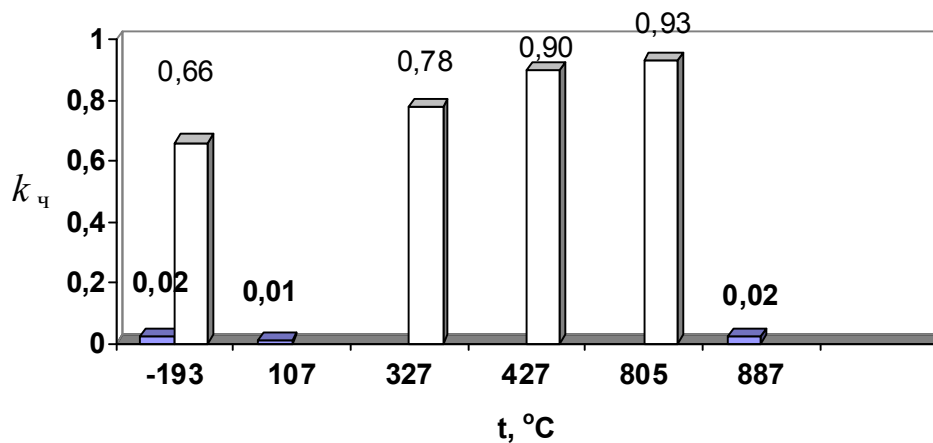


Рис. 1. Значения коэффициента теплового излучения в направлении нормали к поверхности для неокисленной меди (низкие темные столбцы) и для окисленной меди (высокие светлые столбцы)

При прессовании медных заготовок возможны несколько вариантов состояния их поверхности.

Слиток, предназначенный для прессования, нагревают в печи, используя либо индукционный, либо пламенный нагрев. Во избежание водородной болезни стараются использовать слабоокислительную атмосферу. В результате поверхность заготовки окислена, и в таком виде слиток передают на прессование. Во время транспортной операции слиток частично теряет тепло за счет излучения. При окисленной поверхности излучение максимально и максимально снижение температуры, возникает градиент температур по сечению слитка. Для окисленной поверхности степень черноты k_{ch} следует принимать на уровне 0,9, как это следует из приведенного выше графика.

Слиток перед прессованием нагревают и для удаления дефектного поверхностного слоя подвергают скальпированию. На поверхность выходят ювенильные (чистые от окислов) слои металла. Неокисленная поверхность характеризуется низкой степенью черноты, потеря тепла излучением затруднена, слиток сохраняет тепло, градиент температур небольшой. Для неокисленной поверхности степень черноты k_{ch} должна быть меньше 0,9. В то же время достижение степени черноты k_{ch} минимального значения, равного 0,01 вряд ли возможно, поскольку оно относится к полированной поверхности. При прессовании поверхность заготовки унаследует шероховатость прессового инструмента и имеет риски, царапины от налипшего на него металла. Как компромиссный вариант можно рассмотреть возможность применения значения k_{ch} на уровне 0,2. В то же время необходимо учесть динамику процесса окисления, т.е. в улучшенных решениях эта величина оказывается переменной.

В отличие от других процессов обработки металлов давлением, прессование ведется с

интенсивными внутренними сдвигами в металле. При наличии вблизи матрицы мертвой (жесткой) зоны вдоль этой поверхности происходит срез металла, и на поверхность изделия попадает не окисленный поверхностный слой слитка, а внутренний слой, образуя новую ювенильную (чистую, свободную от окислов) поверхность. Для этой поверхности степень черноты может оказаться очень малой величиной до тех пор, пока заготовка не окислится. Отпрессованная заготовка прямо из отверстия матрицы попадает в воду (безокислительный метод прессования) и остается в приемном лотке пресса, заполненном водой, пока весь металл слитка не будет выпрессован. На первый взгляд, термически тонкое тело должно быстро остыть в проточной холодной воде. Однако, несмотря на очень высокую теплопроводность, медная заготовка продолжает светиться под слоем воды во время всего цикла ее выпрессовывания из контейнера пресса. Это можно объяснить ее ювенильной поверхностью, имеющей очень низкую степень черноты. До сих пор это явление объяснялось исключительно поддержанием паровой рубашки, обладающей малой теплопроводностью, вокруг раскаленного металла.

При окислительном прессовании (в воздушной атмосфере) пресс-изделия могут быстро окислиться, за счет чего повышается степень черноты, и потерять тепло, несмотря на то, что воздух является теплоизолятором.

Значимость влияния степени черноты на процесс остывания медной заготовки проверена в последующих расчетах. Допустим, что слиток диаметром 200 мм и длиной 400 мм (соотношение длины к диаметру 2) нагрет достаточно равномерно и имеет температуру 860°C, характерную для производственных условий. Зададим время переноса слитка и подготовки его к прессованию на уровне 30 с.

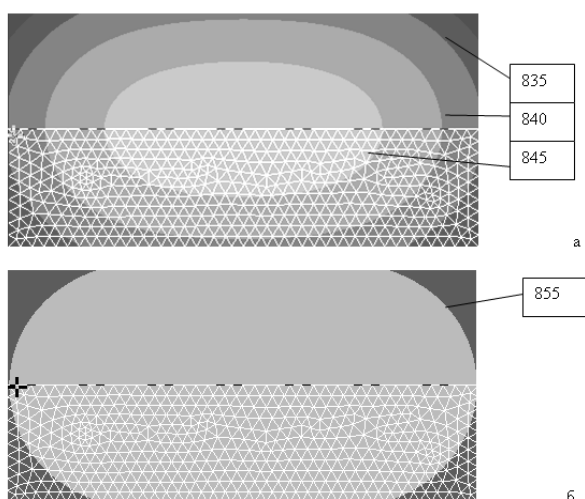


Рис.2. Распределение температуры в медном слитке при начальной температуре нагрева 860°С, времени излучения 30с, степени черноты 0,9(а) и 0,2(б)

При указанной температуре теплопроводность меди составляет 335 Вт/(м*град), а удельная теплоемкость 425 Дж/(кг*град). Для расчета распределения температуры по сечению слитка использовали программный модуль РАПИД-2D[2], предназначенный для расчета напряженно-деформированного состояния при кузнечных операциях, и имеющий подсистему расчета динамики охлаждения заготовки за счет процесса излучения. С помощью этого пакета решены некоторые краевые задачи прессования[6,7], но постановка этих задач предполагала равномерное распределение температуры перед загрузкой слитка в контейнер прессы.

На рис. 2 представлены результаты расчета при назначении степени черноты на двух уровнях: для окисленного металла 0,9(а), для малоокисленного металла 0,2(б). В нижней части изображения представлена сетка конечных элементов, с помощью которой выполнен расчет.

Как видно из рисунка, при степени черноты 0,9 градиент температур достаточно значителен и составляет 25°С, а при степени черноты 0,2 он настолько мал, что его можно не принимать во внимание. Из рисунка видно, что наиболее холодными оказались кромки слитка, что не противоречит физике процесса, поскольку кромки отдают тепло как со стороны боковой поверхности цилиндра, так и со стороны его торца.

Процесс теплопередачи внутри самого слитка осуществляется за счет теплопроводности. Медь является одним из самых теплопроводных материалов, поэтому процесс теплопередачи в ней осуществляется быстро.

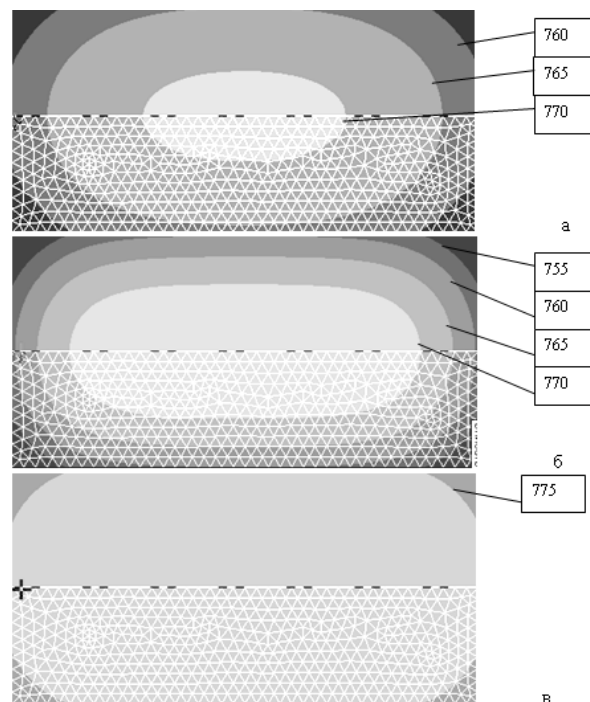


Рис.3. Распределение температуры в слитке из меди при начальной температуре нагрева 780°С, времени излучения 30с, степени черноты 0,9(а), то же для латуни ЛС59-1 (б), то же для степени черноты 0,2 (в)

Рассмотрим процесс остывания слитка, подготовленного к прессованию с теми же параметрами, но изготовленный из свинцовой латуни одной из самых распространенных марок ЛС59-1 при характерной для технологии прессования температуре нагрева 780°С. При указанной температуре теплопроводность сплава составляет 180 Вт/(м*град), что примерно в два раза ниже, чем у меди, а удельная теплоемкость находится примерно на том же уровне и равна 413 Дж/(кг*град). Предварительно для сопоставления выполнен расчет при той же температуре нагрева для медной заготовки (рис.3,а).

Как видно из рис.3, б, расположение изотерм для меди и латуни отличаются друг от друга, у латунного слитка поверхностные слои остыли больше, чем у медного слитка, что объясняется меньшей теплопроводностью латуни.

В результате скорость передачи тепла от центральных слоев оказалась ниже, и периферийные слои латунного слитка оказались ненамного холоднее, чем у медного слитка. Снижение степени черноты до 0,2 (рис.3,в) вызвало меньший теплоотвод с поверхности латунного слитка, и распределение температур стало более равномерным, как и в случае остывания медного слитка.

Форма изотерм для медного и латунного слитка оказалась различной: в первом случае это овал, а во втором случае – плоский овал. Это различие объясняется тем, что для более теплопроводного материала – меди, характерна ускоренная передача тепла во всех направлениях. Очевидно, что при приближении теплового

сопротивления к нулю, наблюдалось бы приближение формы изотерм к окружности.

Вместе с тем, как можно оценить из анализа всех решений, при учете излучения величина теплопроводности мало сказывается на характере распределения температуры, гораздо большее влияние оказывает степень черноты материала.

Выводы. 1. Скорость остывания поверхности заготовки за счет излучения зависит от степени окисленности материала.

2. Для ювенильной поверхности, характерной для безокислительного прессования и скальпирования, снижение температуры поверхности заготовки за счет излучения минимально.

3. При передаче заготовки на ось прессования окисленная поверхность слитка промышленных размеров из меди или медного сплава за счет излучения может остыть на 25...30°C.

Литература

1. Шорин С.Н. Теплопередача. М.: Высшая школа. 1964. 491с.
2. Шевакин Ю.Ф., Грабарник Л.М, Нагайцев А.А. Прессование тяжелых цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1987.246с.
3. Кухлинг Х. Справочник по физике. М.: Мир. 1985. 520с.
4. Физические величины: Справочник. Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232с.
5. Полищук Е.Г., Жиров Д.С., Вайсбурд Р.А. Система расчета пластического деформирования РАПИД / Кузнечно-штамповочное производство, 1997. №8. С. 16-19.
6. Логинов Ю.Н., Семенов А.П. Исследование влияния температуры прессового инструмента на образование центральной пресс-утяжины. В сб. докл. межд. конф. «Особенности обработки и применения изделий из тяжелых цветных металлов». Екатеринбург: УрО РАН, 2006. С.318-332.
7. Логинов Ю.Н., Мякошин В.И., Семенов А.П. Влияние процессов контактной теплопередачи на кинематику процесса прессования латуней. В сб.тр.1 Росс. конф. «Кузнецы Урала-2005», Екатеринбург: УрО РАН, 2005. С.187-194.