

УДК 621.7-97

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОКАТКИ МНОГОСЛОЙНОГО АЛЮМИНИЕВОГО КОМПОЗИТА НА СТАНЕ ДУО-260

Дмитрий Михайлович Кутайцев

Студент 5 курса

Кафедра «Оборудование и технологии прокатки»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М. О. Миронова,

ассистент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

Ключевые слова: прокатка (rolling), композиционные материалы (composite materials), алюминиевые сплавы (aluminum alloys), ультрамелкозернистая структура (fine-grained structure).

Аннотация: В работе исследуется возможность прокатки многослойного композита на основе алюминиевых сплавов АМц и АМгб на лабораторном стане. Производится выбор режимов прокатки в соответствии с рассчитанной скоростью остывания заготовки в зависимости от ее толщины.

В настоящее время возрос интерес к материалам с ультрамелкозернистой структурой, наличие которой во многом определяет их повышенные механические характеристики.

Наиболее существенно физико-механические свойства материалов изменяются в результате измельчения зерен до мелкозернистого состояния (менее 10 мкм). Такие материалы при низких температурах обладают существенно более высокими прочностными характеристиками, чем обычные крупнозернистые, а при повышенных температурах - низким напряжением течения и высокой пластичностью. Для формирования микрокристаллической структуры менее 1 мкм необходима более радикальная деформационная обработка, чем обычно используемая для достижения мелкозернистой структуры материала.

Перспективным способом получения материалов с ультрамелкозернистой структурой является использование горячей прокатки многослойных листовых заготовок, в результате которой получается многослойный лист с ламинарными слоями.

Проведенные исследования [1] показали, что ламинарная структура в многослойной заготовке из различных алюминиевых сплавов может быть получена при следующих условиях. Температура прокатки должна быть такой, при которой легирующие элементы сплавов образуют твердые растворы. Дополнительным условием должно быть отсутствие химического сродства между легирующими элементами образующих твердые растворы, что способствует снижению их межслойной диффузионной подвижности.

Технологический процесс получения многослойного композита

Для проведения экспериментов использовалась композиция из чередующихся слоев алюминиевых сплавов АМц и АМгб, которая прокатывалась на реверсивном стане ДУО 260. Технологический процесс изготовления многослойного листа состоит из следующих этапов: получение капсул для прокатки композита, заполнение капсул листовыми заготовками и вакуумирование, нагрев и прокатка многослойного композита. На рисунке 1 представлен вид

пакета листовых заготовок, помещенных в капсулу перед ее герметизацией.



Рис. 1. Пакет листов в капсуле

Прокатка капсулы осуществляется в несколько проходов. При остывании ниже температуры прокатки, капсула повторно помещается в печь. При достижении критической толщины, когда заготовка остывает быстрее, чем достигает клетки стана, она разрезается на необходимое количество частей и заново помещается в капсулу. Последовательность действий повторяется.

Выбор температурного режима

При прокатке наиболее сложным параметром является температура прокатываемой заготовки, диапазон изменения которой для сплавов АМц и АМгб находится в пределах 450-400 °С. При этой температуре легирующие элементы сплавов АМц и АМгб образуют устойчивые соединения, располагающиеся на границах зерен и не позволяющие сплавам диффундировать друг с другом.

Расчет времени остывания заготовки проводился в соответствии с рекомендациями [2] по формуле (1):

$$\tau = \frac{c \cdot a \cdot \rho}{4 \cdot \alpha} \cdot \ln \left(\frac{T_m^{\text{нач}} - T_{\text{ср}}}{T_m^{\text{кон}} - T_{\text{ср}}} \right), \quad (1)$$

где c – средняя теплоемкость сплавов, Дж/К;

a – высота исходной заготовки, мм;

ρ – средняя плотность сплавов, кг/м³;

$T_m^{\text{нач}}$ – температура сплава после извлечения из печи, °С;

$T_m^{\text{кон}}$ – температура, при которой может производиться прокатка, °С;

$T_{\text{ср}}$ – температура окружающей среды, °С;

α – коэффициент теплоотдачи от металла в воздух.

Подставляя в формулу (1) значения высоты заготовки после каждого прохода, получим графики изменения температуры заготовки в зависимости от ее толщины. Рассчитанные данные представлены в виде графика на рисунке 2.

Практический интерес представляет график остывания заготовки в интервале температур прокатки, приведенный на рисунке 3.

Из графиков видно, что скорость остывания заготовок существенно зависит от их толщины. Пользуясь формулой (1), подсчитаем количество переделов, необходимых для достижения толщины каждого слоя в многослойном листе равной 100нм.

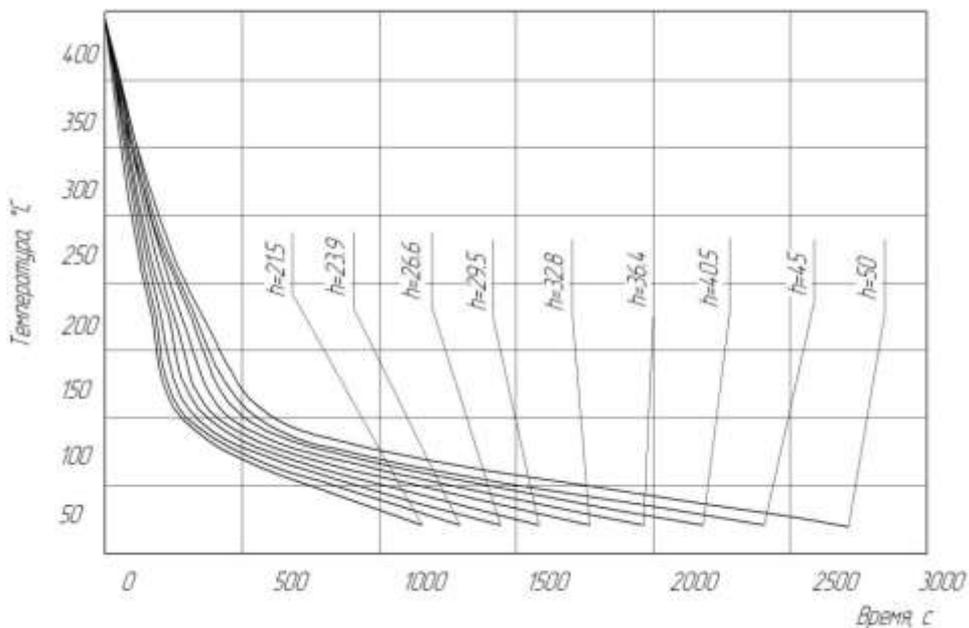


Рис. 2. График остывания заготовки на интервале температур от 450 до 20 °C

Предполагаем, что прокатка ведется на реверсивном стане, а время, необходимое на доставку заготовки от печи к стану не превышает 7 секунд. После первого нагрева заготовку можно раскатать только до толщины 21,5 мм, так как заготовка остынет до температуры ниже 400 °C. Прокатанная капсула заново помещается в печь, нагревается, и вновь прокатывается до толщины в 14 мм. Затем заготовка снова помещается в печь, после чего раскатывается до толщины в 10 мм.

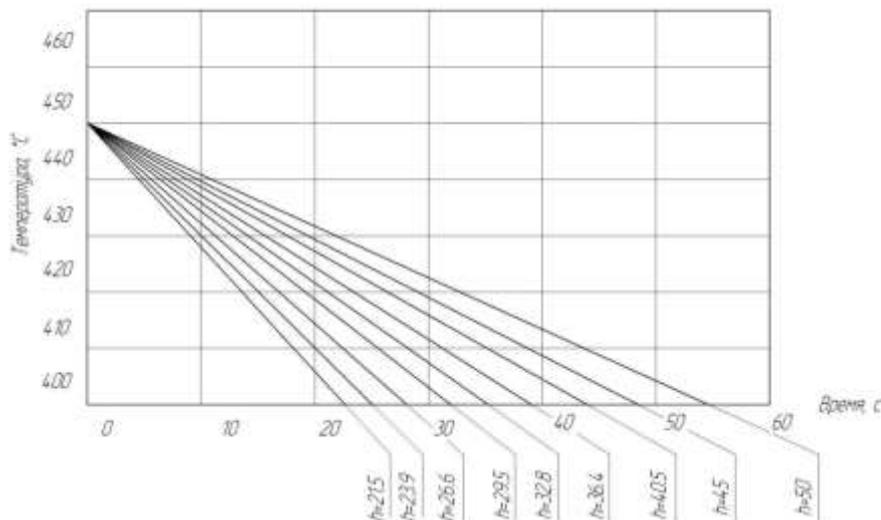


Рис. 3. График остывания заготовки на интервале температур от 450 до 400 °C

Раскатывать заготовку дальше не имеет смысла, так как при такой толщине она теряет тепло уже слишком быстро. К моменту достижения этой толщины, длина заготовки составит 400 мм, и помещение ее в печь станет затруднительным. Полученная заготовка разрезается на 4 равные части и вновь проходит всю обработку, начиная с очистки поверхности. После этого полученные заготовки снова укладывают в капсулу, вакуумируют и помещают в печь для нагрева. Таким образом, после каждого передела количество слоев в заготовке увеличивается в 4 раза, при этом высота капсулы, начиная со второго передела равна 40 мм. Для достижения

толщины одного слоя в 100 нм необходимо сделать 6 переделов, после чего в заготовке будет 410 тысяч слоев и толщина каждого из слоев составит около 100 нм (рисунок 4). При использовании еще одного передела теоретически можно достичь толщины слоя в 25 нм.

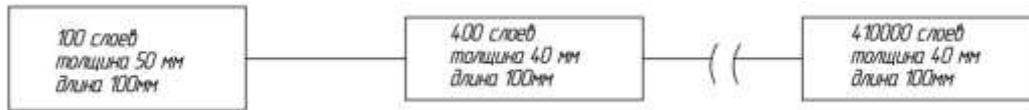


Рис. 4. Увеличение количества слоев

Как видно из предварительного расчета, количество переделов достаточно велико. В первую очередь это связано с высокой скоростью остывания алюминиевых сплавов за счет лучеиспускания. Из этого следует, что необходимо принимать меры для эффективного теплосбережения заготовки в процессе прокатки. Так, например, подогрев стола подачи и приема и установка отражателей теоретически могли бы уменьшить тепловые потери настолько, чтобы добавить еще несколько проходов перед каждым подогревом или переделом.

Литература

1. Колесников А. Г., Плохих А. И., Миронова М. О. Исследование структуры и свойств многослойных материалов на основе алюминиевых сплавов [Электронный ресурс] / А. Г. Колесников, А. И. Плохих, М. О. Миронова // Наука и образование: науч.-техн. изд. – 2011. - № 11.
2. Гусовский В. Л., Лифшиц А. Е. Методики расчета нагревательных и термических печей / В. Л. Гусовский, А. Е. Лифшиц. Учебно-справочное пособие. - М.: Теплотехник, 2004. - 400 с.