Исследование алюминиевой заготовки и анализ образования дефектов

Порайко Андрей,
Студент магистратуры 4 курс,
Специальность "Общая Металлургия"

Дорофеев Дмитрий Сергеевич,
Гаврилов Антон Николаевич,
Попов Павел Васильевич,
Шинкаренко Евгений Васильевич

Научный руководитель: **Лесив Е. М.**
Канд.техн.наук, доцент

Ключевые слова: заготовка, пластическая деформация, пластическое структурообразование, течение металла, алюминиевые сплавы, дефект.

Исследование алюминиевой заготовки и анализ образования дефектов.

Цель: алюминиевые заготовки нашли широкое применение в промышленном строительстве и используются для изготовления конструкционных компонентов, в частности, вместо более тяжелых стальных конструкционных компонентов. Однако бывает трудно подобрать алюминиевые заготовки, которые по прочностным характеристикам в полной мере могут заменить стальные. Цельные стальные заготовки содержат участки, отличающиеся по своим свойствам, например, они могут отличаться прочностью или пластичностью, и для их замены трудно подобрать алюминиевые заготовки с соответствующими свойствами [1] [211-223].

В данной области техники известны технологии изготовления стальных заготовок, которые включают, например, этап упрочнения прессованием, и позволяют получить цельные заготовки, содержащие участки с разными свойствами. В основе указанных технологий лежит высокая зависимость микроструктуры стали от скорости охлаждения при закалке в процессе упрочнения, а также низкая теплопроводность стали[2][81]. Благодаря указанным свойствам на разных участках стальной заготовки во время закалки создаются совершенно разные градиенты температур, в результате чего, на указанных участках достигаются разные структурные состояния и, соответственно, разные свойства материала.

Указанные способы обычно не применимы для изготовления алюминиевых заготовок, поскольку алюминиевые сплавы имеют более высокую теплопроводность, в результате чего, градиент температуры между разными участками заготовки будет выравниваться быстрее, чем в стальной заготовке. Для достижения определенного структурного состояния алюминиевую заготовку, в отличие от стальной заготовки, которую достаточно только закалить с определенной скоростью охлаждения, необходимо, к тому же, выдержать при определенной температуре в течение длительного периода времени[3][640].

В некоторых случаях вместо цельной стальной заготовки можно использовать составную алюминиевую заготовку, состоящую по меньшей мере из двух соединенных между собой алюминиевых заготовок, имеющих разные свойства. Однако при соединении заготовок, например, сваркой или пайкой, могут возникнуть слабые места и, кроме того, не всегда имеется возможность осуществить указанное соединение[4][7-15]. Таким образом, существует необходимость в цельных

алюминиевых заготовках, содержащих участки с разными свойствами.

В связи с вышесказанным, задача изобретения состоит в разработке способа и устройства для термической обработки алюминиевой заготовки с целью получения алюминиевой заготовки, содержащей участки, отличающиеся друг от друга по свойствам, например, отличающиеся прочностью или пластичностью. Также задачей изобретения является разработка алюминиевой заготовки, которая будет обладать указанными свойствами.

Таким образом, согласно соответствующему изобретению способу при проведении первого процесса дисперсионного твердения на первом участке заготовки некоторая часть заготовки интенсивно охлаждается, в результате чего, в течение первого процесса дисперсионного твердения структурное состояние второго участка заготовки остается, по существу, неизменным[5] [35].

Благодаря интенсивному охлаждению некоторой части заготовки, предотвращается прямой и/или косвенный нагрев второго участка заготовки за счет теплопередачи от первого участка заготовки. Следует отметить, что температура второго участка заготовки поддерживается ниже температуры искусственного старения, а температура первого участка заготовки превышает температуру искусственного старения. Таким образом, только первый участок заготовки претерпевает изменение структурного состояния материала, в то время как структурное состояние материала второго участка заготовки остается, по существу, неизменным.

Под термином «алюминиевая заготовка» подразумевается металлическая заготовка или, в основном, металлическая заготовка, изготовленная, по существу, из алюминия или алюминиевого сплава. Для изготовления заготовок может использоваться, в частности, алюминиевый сплав типа AA 2XXX, либо AA 6XXX или AA 7XXX. Кроме того, термин «заготовка» распространяется на листы, предварительно отформованные заготовки и отлитые заготовки. Точнее говоря, под термином «заготовка», главным образом, подразумевается цельная заготовка, то есть первый и второй участки заготовки не являются частями соединенных вместе разных заготовок[6].

Температура искусственного старения является температурой, при которой происходит процесс искусственного старения алюминиевой заготовки, то есть изменение структурного состояния материала заготовки в результате теплового воздействия. Минимальная температура, при которой происходит искусственное старение, зависит от состава алюминиевого сплава заготовки, но, как правило, составляет, по меньшей мере, 90°C. Минимальная температура проведения искусственного старения алюминиевых заготовок, в частности, из сплавов типа AA 6XXX, предпочтительно, составляет по меньшей мере 150°C.

Интенсивно охлаждаемая часть алюминиевой заготовки может совпадать со вторым участком указанной заготовки. Однако второй участок может включать некоторую часть заготовки, которая непосредственно не охлаждается, но отделена от первого участка заготовки интенсивно охлаждаемой частью заготовки.

Структурное состояние алюминиевых заготовок связано с микроструктурой алюминия или алюминиевого сплава, то есть со структурой и конфигурацией зерен и выделившихся фаз.

Алюминий или алюминиевый сплав в структурном состоянии T4 имеет микроструктуру, полученную в результате термической обработки на твердый раствор с последующей закалкой и, если требуется, с последующим проведением естественного старения материала заготовки. Термическая обработка на твердый раствор представляет собой термическую обработку, при которой заготовку выдерживают в течение определенного промежутка времени при высокой температуре, но ниже температуры плавления, в результате чего, требуемые элементы сохраняются в твердом растворе, чтобы получить в заготовке, по существу, структуру твердого

раствора. Типичные температуры термической обработки на твердый раствор лежат в диапазоне от 300 до 600°С. Типичная продолжительность термической обработки на твердый раствор составляет от 15 мин до 24 ч. Продолжительность термической обработки на твердый раствор устанавливается в зависимости от толщины заготовки, точнее говоря, более толстые заготовки требуют более длительной термической обработки на твердый раствор[7][15-20]. Во время закалки заготовку подвергают быстрому охлаждению от температуры термической обработки на твердый раствор, до температуры 200°С или ниже, предпочтительно, до 150°С или ниже. Во время естественного старения алюминиевая заготовка выдерживается при температуре окружающей среды в течение нескольких дней, как правило, от 5 до 8 дней.

Повысить прочность алюминиевой заготовки можно за счет проведения естественного или искусственного старения, приводящего к изменению структурного состояние Т4. При проведении искусственного старения, вызывающего дисперсионное твердение материала, заготовка подвергается воздействию температуры, составляющей, как правило, от 90°С до 200°С, в течение определенного периода времени, как правило, в течение от 20 мин до 9 дней, предпочтительно, в течение от 1 до 2 дней.

При проведении искусственного старения происходит формирование выделившихся фаз, в результате чего, структура Т4 преобразуется в структуру Т6. Поэтому указанный процесс также называют процессом дисперсионного твердения. Структурное состояние Т6 обеспечивает очень высокую прочность материала заготовки. Чтобы обеспечить максимальную прочность материала на определенном участке заготовки, необходимо указанный участок заготовки выдержать при определенной температуре в течение определенного времени, в зависимости от состава сплава заготовки[8][75-82].

Если продолжительность выдержки или температура нагрева превышают значения, необходимые для достижения максимальной прочности материала, алюминиевая заготовка приобретает перестаренную структуру, то есть структурное состояние Т7. Когда заготовка приобретает указанное структурное состояние, снижается механическая прочность и, соответственно, улучшается как пластичность, так и относительное удлинение материала заготовки.

Состояние Т5 достигается нагревом заготовки до температуры обработки на твердый раствор или выше указанной температуры с проведением охлаждения, например, воздухом или водой и последующего искусственного старения, которое по своей природе аналогично старению, проводимому для получения структурного состояния Т6. Заготовка в состоянии Т5 близка по механическим свойствам заготовке в состоянии Т6, причем, чтобы заготовка приобрела структурное состояние Т7, она должна быть перестарена. Все дальнейшие ссылки на состояние Т6 или Т7 приводятся с учетом исходного состояния Т5[9][42-48].

Обозначения структурных состояний Т4, Т5, Т6 и Т7, полученных термической обработкой, соответствуют, по существу, обозначениям, определенным в стандартах ANSI H35.1, EN515 и ISO 2107.

Согласно одному из предпочтительных вариантов осуществления изобретения предлагаемый способ также включает в себя проведение второго процесса искусственного старения, вызывающего дисперсионное твердение и, соответственно, изменение структурного состояния первого и второго участков заготовки.

Комбинация первого и второго процессов дисперсионного твердения позволяет создать на разных участках заготовки структурные состояния Т6 или Т7 и, соответственно, получить разные свойства материала, такие как прочность или пластичность.

Второй процесс дисперсионного твердения может включать полное искусственное старение заготовки или только частичное искусственное старение первого и второго участков заготовки. При частичном искусственном старении во время второго процесса дисперсионного твердения заготовка по окончании термической обработки может содержать третий участок, имеющий структурное состояние T4.

Согласно дополнительному варианту осуществления изобретения, предлагаемый способ включает в себя первый и второй процессы дисперсионного твердения, после проведения которых первый участок заготовки имеет, по существу, структурное состояние T7, а второй участок заготовки имеет, по существу, структурное состояние T6. Способ, согласно указанному варианту осуществления изобретения позволяет получить алюминиевую заготовку, содержащую первый участок с очень высокой прочностью (структурное состояние T6), и второй участок с низкой прочностью, но более высокой пластичностью (структурное состояние T7).

Согласно дополнительному варианту осуществления изобретения, способ включает второй процесс дисперсионного твердения, который проводится после первого процесса дисперсионного твердения. Согласно указанному варианту осуществления изобретения первый процесс дисперсионного твердения вызывает изменение структурного состояния первого участка от T4 до T6, в то время как структурное состояние второго участка остается, по существу, T4. Второй процесс дисперсионного твердения вызывает изменение структурного состояния от T6 до T7 первого участка, и одновременно вызывает изменение структурного состояния от T4 до T6 второго участка, обеспечивающего наибольшую прочность.

Согласно другому варианту осуществления изобретения, способ включает в себя первый процесс дисперсионного твердения, который проводится после второго процесса дисперсионного твердения. Согласно указанному варианту осуществления изобретения, второй процесс дисперсионного твердения вызывает изменение структурного состояния от T4 до, по существу, T6 как первого участка заготовки, так и второго участка заготовки. Первый процесс дисперсионного твердения, проводимый после второго процесса дисперсионного твердения, вызывает изменение структурного состояния первого участка от T6 до T7, при этом структурное состояние второго участка, по существу, сохраняется T6.

Согласно дополнительному варианту осуществления изобретения, заготовку изготавливают из алюминиевого сплава марки AA 2XXX, либо AA 6XXX или AA 7XXX. Сплавы AA (Ассоциации производителей алюминия) 2XXX являются алюминиевыми сплавами, содержащими медь в качестве основного легирующего компонента. Сплавы AA 6XXX являются алюминиевыми сплавами, содержащими магний и кремний в качестве основных легирующих компонентов. Сплавы AA 7XXX являются алюминиевыми сплавами, содержащими цинк в качестве основного легирующего компонента. В результате проведения процесса дисперсионного твердения указанные сплавы приобретают высокую прочность. Чтобы алюминиевая заготовка имела достаточную прочность и могла заменить высокопрочный стальной компонент, для изготовления алюминиевой заготовки особенно предпочтительным является сплав AA 6070 или сплавы марки AA, имеющие в структурном состоянии T6 более высокую прочность. Примерами предпочтительных сплавов для изготовления алюминиевой заготовки также могут служить сплавы AA 6082 и AA 6009[10][4-11].

Зачастую алюминиевые заготовки при изготовлении окрашивают, в таком случае выполняется этап горячей сушки лакокрасочного покрытия для отверждения, сушки и/или отжига лакокрасочного покрытия. В частности, лакокрасочное покрытие, нанесенное на алюминиевые компоненты, используемые для изготовления кузова машины, подвергается обжигу на стадии неокрашенного кузова. Во время горячей сушки лакокрасочного покрытия алюминиевая заготовка, как правило, подвергается нагреву при температуре в диапазоне от 150 до 200°C, в частности, при

температуре примерно 180°C в течение от 10 до 40 мин, в частности, в течение примерно 20 мин. Указанная температура и продолжительность нагрева соответствуют условиям проведения процесса дисперсионного твердения материала заготовки. Следовательно, в процессе изготовления алюминиевой заготовки согласно изобретению два этапа объединены в один, благодаря чему повышается эффективность изготовления алюминиевой заготовки. Таким образом, алюминиевая заготовка, получаемая при осуществлении способа согласно изобретению, предпочтительно, используется в качестве компонента на стадии неокрашенного кузова[11][360-370].

Вывод: Алюминиевая заготовка выполнена в виде детали кузова машины, в частности, в виде центральной стойки. Детали кузова, такие как центральные стойки, должны иметь участки с разными показателями прочности или пластичности. Таким образом, детали кузова являются естественной областью применения алюминиевой заготовки, описанной выше. Указанная алюминиевая заготовка легче стальной заготовки и проще в изготовлении, чем алюминиевые заготовки, которые изготавливаются обычными способами.

Список используемой литературы

1. Дриц М. Е., Торопова Л. С., Быков Ю. Г., Елагин В. И., Филатов Ю. А. Структура и свойства сплавов Al — Sc и Al — Mg — Sc // Металлургия и металловедение цветных сплавов. — М. : Наука, 1982. С. 213–223.

2. Луц А. Р., Суслина А. А. Алюминий и его сплавы : уч. пособие. — Самара : Самарский государственный технический ун-т, 2013. — 81 с.

3. Мондольфо Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов : пер. с англ. — М. : Металлургия, 1979. — 640 с.

4. Захаров В. В. Влияние скандия на структуру и свойства алюминиевых сплавов // Металловедение и термическая обработка металлов. 2003. № 7. С. 7–15.

5. Дриц М. Е., Торопова Л. С., Быков Ю. Г. Влияние РЗМ на механические свойства сплава Al — 6,5 % Mg // МиТОМ. 1980. №. 10. С. 35.

6. Li H. et al. Grain refinement mechanism of as-cast aluminum by hafnium // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2016. Vol. 26, Iss. 12. P. 3059–3069.

7. Захаров В. В. Устойчивость твердого раствора скандия в алюминии // МиТОМ. 1997. № 2. С. 15–20.

8. Яшин В. В., Арышенский В. Ю., Латушкин И. А., Тептерев М. С. Обоснование технологии изготовления плоского проката из алюминиевых сплавов системы Al — Mg — Sc для аэрокосмической промышленности // Цветные металлы. 2018. № 7. С. 75–82.

9. Яшин В. В. и др. Влияние микролегирования переходными и редкоземельными металлами системы алюминий — магний на механические свойства при термомеханической обработке // Производство проката. 2017. № 8. С. 42–48.

10. Арышенский Е. В. и др. Влияние микролегирования сплавов системы алюминий — магний редкоземельными и переходными металлами на эволюцию структуры при термомеханической обработке // Производство проката. 2017. № 4. С. 4–11.

11. Wang F. et al. Revisiting the role of peritectics in grain refinement of Al alloys // Acta Materialia. 2013. Vol. 61, No. 1. P. 360–370.

Ссылки

[1] Дриц М. Е., Торопова Л. С., Быков Ю. Г., Елагин В. И., Филатов Ю. А. Структура и свойства

сплавов Al — Sc и Al — Mg — Sc // Металлургия и металловедение цветных сплавов. — М. : Наука, 1982. С. 213–223.

[2] Луц А. Р., Суслина А. А. Алюминий и его сплавы : уч. пособие. — Самара : Самарский государственный технический ун-т, 2013. — 81 с

[3] Мондольфо Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов : пер. с англ. — М. : Металлургия, 1979. — 640 с

[4] Захаров В. В. Влияние скандия на структуру и свойства алюминиевых сплавов // Металловедение и термическая обработка металлов. 2003. № 7. С. 7–15

[5] Дриц М. Е., Торопова Л. С., Быков Ю. Г. Влияние РЗМ на механические свойства сплава Al — 6,5 % Mg // МиТОМ. 1980. №. 10. С. 35

[6] Li H. et al. Grain refinement mechanism of as-cast aluminum by hafnium // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2016. Vol. 26, Iss. 12. P. 3059–3069

[7] Захаров В. В. Устойчивость твердого раствора скандия в алюминии // МиТОМ. 1997. № 2. С. 15–20

[8] Яшин В. В., Арышенский В. Ю., Латушкин И. А., Тептерев М. С. Обоснование технологии изготовления плоского проката из алюминиевых сплавов системы Al — Mg — Sc для аэрокосмической промышленности // Цветные металлы. 2018. № 7. С. 75–82

[9] Яшин В. В. и др. Влияние микролегирования переходными и редкоземельными металлами системы алюминий — магний на механические свойства при термомеханической обработке // Производство проката. 2017. № 8. С. 42–48.

[10] Арышенский Е. В. и др. Влияние микролегирования сплавов системы алюминий — магний редкоземельными и переходными металлами на эволюцию структуры при термомеханической обработке // Производство проката. 2017. № 4. С. 4–11

[11] Wang F. et al. Revisiting the role of peritectics in grain refinement of Al alloys // Acta Materialia. 2013. Vol. 61, No. 1. P. 360–370