

УДК 667.64:678.026

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗАИМОСВЯЗИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Нигалатий В.Д.

Херсонская государственная морская академия,

Погребняк И.Ф., Шарко А.В.

Херсонский национальный технический университет

При проведении закалки алюминиевых сплавов может возникнуть пережог, проявляющийся в снижении механических свойств. Механические испытания довольно трудоемки. При металлографическом анализе за начальную стадию пережога принимается различная степень округления зерен, что не всегда соответствует действительному состоянию материала. Выполнены акустические измерения коэффициента затухания ультразвуковых волн и резонансной частоты образования стоячей волны. Установлено, что по измерению коэффициента затухания можно выявлять установившуюся стадию пережога, но не его начальный переход. Вместе с тем, определить начальную стадию пережога можно по уменьшению резонансной частоты. Предлагаемый метод является более эффективным по сравнению с механическими испытаниями и металлографическим анализом и может быть рекомендован как средство оценки технологических свойств материалов.

Ключевые слова: физико-механические свойства, алюминиевые сплавы, акустические методы.

Актуальность работы объясняется следующими обстоятельствами. На стадии изготовления изделий, конструкционный материал должен обладать высокими пластическими свойствами и малым сопротивлением деформации для облегчения механической обработки и формообразования изделий. На завершающей стадии технологическими процессами производства предусматривается выполнение операций термической обработки изделий и полуфабрикатов с целью придания им комплекса высоких механических свойств. Решение проблемы определения механических свойств материалов, изменяющихся при термообработке, методами неразрушающих испытаний, актуально, экономически обосновано и необходимо для производства.

Анализ публикаций по обозначенной проблеме обнаруживает, что, не смотря на очевидные преимущества методов неразрушающего контроля прочностных характеристик конструкционных материалов, сведения об их промышленном внедрении крайне малочисленны [1–5]. К трудностям внедрения следует отнести прежде всего тот факт, что еще до того, как приступить к обычным технологическим операциям, связанным с изучением объекта контроля, его геометрических размеров и возможных режимов намагничивания и прозвучивания, для каждого материала необходимы предварительные экспериментальные исследования по установлению взаимосвязи прочностных, физико-механических и технологических свойств для данного процесса структурообразования материала, определению корреляционных характеристик, отображающих тесноту этих связей и построению соответствующих тарировочных зависимостей. Подобные сведения в литературе практически отсутствуют.

Цель статьи – изучить взаимосвязь физико-механических свойств с технологическими параметрами алюминиевых сплавов.

Изложение основного материала. В качестве объекта исследования выбраны алюминиевые сплавы, обладающие низкой способностью к межкристаллической коррозии вследствие воздействия агрессивных сред при изменяющихся внешних условиях функционирования, прочностью и малым удельным весом в общей конструкции изделия. Алюминиевые сплавы подвергаются закалке с целью получения пересыщенного твердого раствора, из которого при последующем старении выпадает мелкодисперсная фаза, упрочняющая сплав. Нижний предел температуры нагрева под закалку определяется необходимостью обеспечения условий для получения твердого раствора, в то время, как

верхний предел определяется температурой, выше которой имеет место пережог сплава, т.е. местное оплавление границ зерен.

При проведении закалки при температурах близких к температуре солидуса вследствие неточности измерения температуры может возникнуть оплавление в структуре. Оно проявляется в образовании участков литой структуры и в снижении механических свойств. Поэтому для контроля пережога применяются механические испытания и металлографический анализ образцов-свидетелей, которые закладывают в печь вместе с партией серийных деталей. Однако в начальной стадии пережога образцы-свидетели имеют высокие механические свойства и высокий уровень статической прочности. Поэтому на практике механические испытания применяются для выявления окончательной стадии пережога. Полуфабрикаты, не прошедшие такой контроль, считаются бракованными и не допускаются в производство.

Таким образом, после закалки термоупрочняемых алюминиевых сплавов для выявления начальной стадии пережога осуществляется металлографический анализ микроструктуры образцов-свидетелей. Это подтверждается тем, что пережог деталей из этих сплавов характеризуется неравномерным травлением границ зерен твердого раствора с местным чрезмерным их утолщением, округлением этих границ и проявлением внутри зерен скоагулированных включений структурных составляющих сплава.

Как показывает практика, использования алюминиевых сплавов в различных отраслях техники и технологий, металлографический анализ является довольно трудоемким. Контроль по образцам-свидетелям не дает достаточной гарантии качества всей партии термообрабатываемых деталей. Контроль одной детали из партии, связанный с изготовлением большого количества макрошлифов, вырезанных из различных ее зон, их травлением и просмотром, так же не всегда является эффективным средством выявления пережога, так как возможны случаи перебраковки изделия. За начальную стадию пережога при просмотре микрошлифов принимается разная степень округления зерен, что не всегда соответствует действительному состоянию материала. Поэтому в настоящее время проводятся большие работы по разработке и внедрению в производство методов стопроцентного неразрушающего контроля термообработки деталей из алюминиевых сплавов. Широкое распространение получили различные электромагнитные методы, основанные на измерении удельного электрического сопротивления алюминиевых сплавов. Изменение этой характеристики для некоторых марок алюминиевых сплавов хорошо коррелирует с изменением механических свойств. Однако недостатком этих методов является сильная зависимость результатов измерений от химического состава материала даже в пределах одной марки материала. В данной работе сделана попытка использования для этих целей акустических методов.

Для сравнения механических свойств металлов, определяемых акустическими методами, необходима идентичность исходной структуры и технологических процессов воздействия на материал. На сплавах Д16, АК4-1 и АК6 из трех разных плавок каждого сплава были изготовлены цилиндрические образцы диаметром 25 мм и длиной 90 мм. Образцы подвергались закалке при температуре от 480 °С до 580 °С с последующим охлаждением в воде. Определение коэффициента затухания ультразвука производилось путем сравнения амплитуд двух последовательных эхо-сигналов по формуле:

$$\alpha = \frac{\ln(A_1 / A_2)}{2l},$$

где α – коэффициент затухания ультразвука; l – длина образца в направлении прозвучивания; A_1, A_2 – амплитуды последовательных эхо-сигналов.

Измерения коэффициента затухания производились на частоте 5 МГц.

В качестве другой измеряемой акустической характеристики использовалась частота образования устойчивого резонанса высших гармоник. В образце, помещенном в иммерсионную ванну с водой, с помощью пьезопреобразователя (на частоту 2,5 МГц),

питаючогося от генератора ГЗ-41, возбуждались непрерывные ультразвуковые колебания. Упругие колебания, прошедшие через образец, воспринимались пьезопреобразователем, аналогичным излучающему, включенному по теневой схеме. Амплитуда принятого ультразвукового сигнала измерялась ламповым вольтметром ВЗ-38. Резонансная частота колебаний фиксировалась частотомером ЧЗ-33. Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

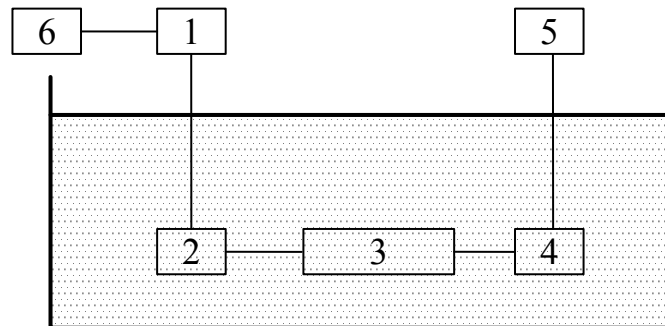


Рис. 1 – Блок-схема экспериментальной установки: 1) генератор сигналов; 2) излучатель ультразвука; 3) образец; 4) приемник ультразвука; 5) вольтметр; 6) частотомер

Результаты акустических измерений коэффициента затухания α и резонансной частоты f приведены на рис. 2. На этом же графике приведены результаты испытаний механических свойств образцов: пределов прочности σ_s , текучести $\sigma_{0.2}$, относительного удлинения δ , выполненных на разрывной машине фирмы «Амслер» при нагрузке 5 т. Как видно из результатов механических испытаний, резкое уменьшение пределов прочности, текучести, а также относительного удлинения наблюдается для сплава Д16 при температурах закалки больше 530°C , для сплава АК4-1 при температурах закалки более 565°C и для сплава АК6 при температурах закалки свыше 570°C . При этих же температурах закалки сплавов наблюдается резкое увеличение коэффициента затухания ультразвука. Для сплава АК6 коэффициент затухания ультразвука резко возрастает уже при температуре закалки 560°C . Таким образом по измерению коэффициента затухания ультразвука можно надежно выявлять установившуюся стадию пережога и невозможно выявить его начальный период.

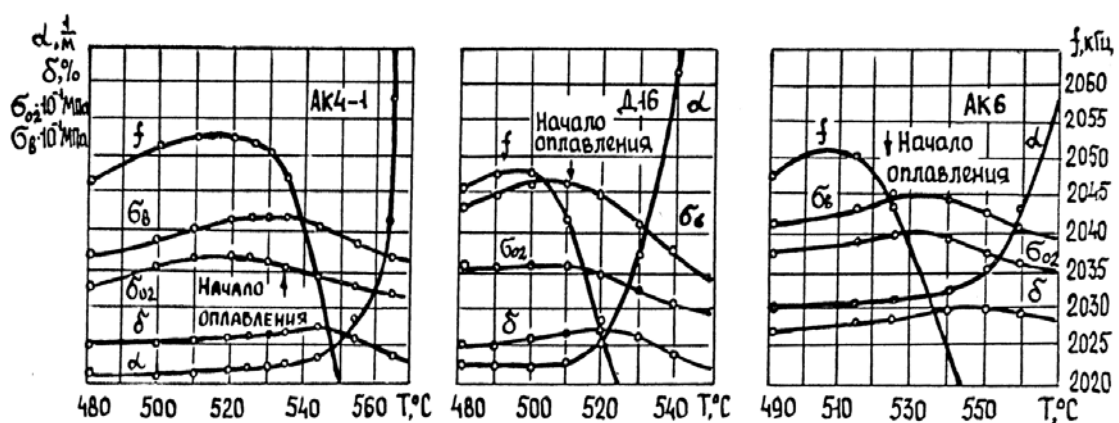


Рис. 2 – Изменение механических и акустических свойств алюминиевых сплавов от температуры закалки

Оплавление в структуре деталей и полуфабрикатов из алюминиевого сплава Д16 начинается при температуре закалки выше 510°C , из сплава АК4-1 при температуре закалки выше 535°C , из сплава АК6 – при температуре закалки выше 525°C .

После проведения ультразвуковых измерений и механических испытаний образцы подвергались металлографическому анализу. Травление образцов для контроля микро-

структуры производилось в реактиве, состоящем из 5 мл HNO_3 , 3 мл HCl , 4 мл HF , 190 мл H_2O . Как показали результаты металлографического анализа (рис. 3, 4) пережог наблюдается для сплава Д16 при температуре закалки выше $520^\circ C$, и для сплава АК4-1 при температуре закалки выше $565^\circ C$ и для сплава АК6 при температуре закалки выше $550^\circ C$. Вместе с тем при этих температурах закалки для всех сплавов наблюдается различная степень округления зерен на стыках и неравномерное травление шлифов. Это и принимается за начальную стадию пережога. Недопустимая микроструктура с признаками пережога выявляется при температурах закалки выше указанных на $10^\circ C$.

Происходящее при пережоге уменьшение частоты и, соответственно, скорости ультразвуковых колебаний может быть объяснено наличием и возрастанием внутренних напряжений в материале после закалки за счет появления новой фазы выделения водорода.

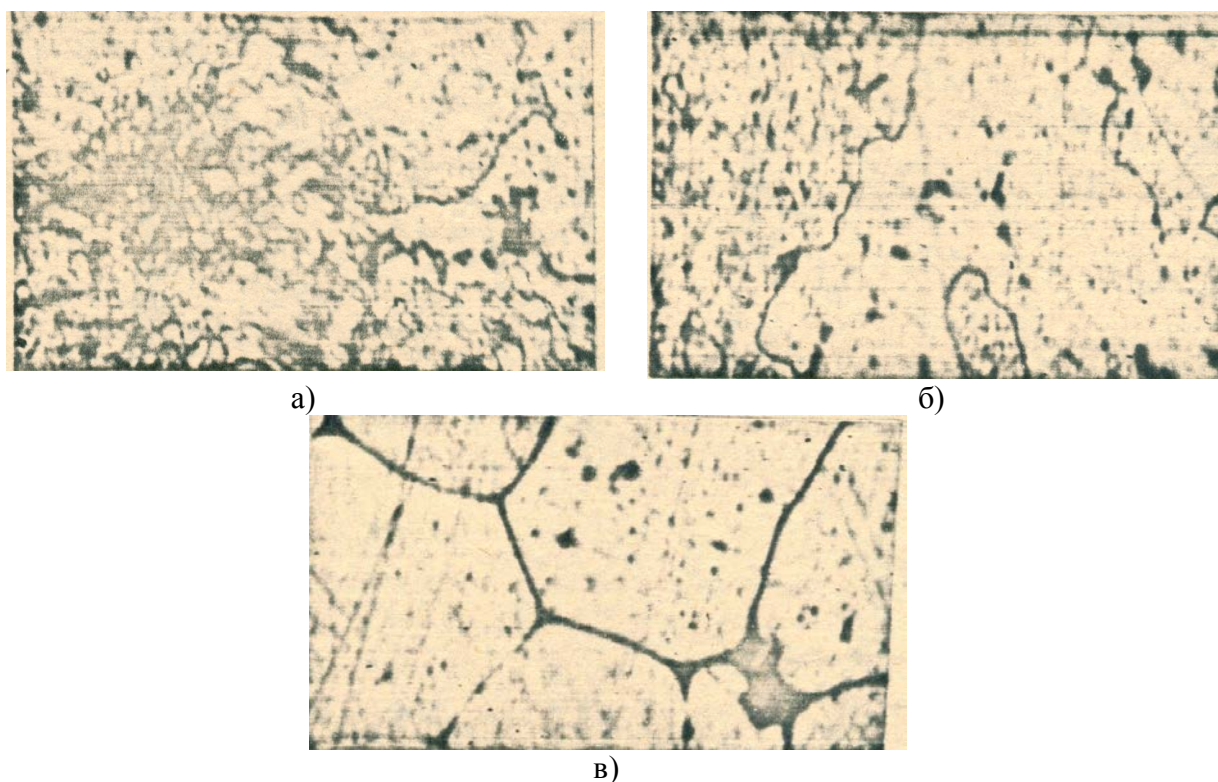


Рис. 3 – Микроструктура образцов из сплава Д16, закаленных при разных температурах: а) $480^\circ C$ – недогрев (x200); б) $510^\circ C$ – нормальная закалка (x200); в) $540^\circ C$ – пережог (x200)

Рост коэффициента затухания при повышении температуры закалки выше допустимой можно объяснить следующим образом. При термической обработке стареющих алюминиевых сплавов температура нагрева под закалку близка к температуре плавления эвтектик, входящих в их состав. При этом обеспечивается полное растворение легирующих элементов в твердом растворе. Поэтому при повышении температуры нагрева под закалку выше нормально допустимой начинается оплавление легкоплавких эвтектик по границам зерен. В начале это проявляется в виде глобулей или скоагулированных включений структурных составляющих, располагающихся внутри и по границам зерен. Далее с ростом температуры нагрева под закалку происходит утолщение границ зерен и постепенное увеличение размеров и количества глобулей. При окончательном пережоге на стыках трех зерен образуются утолщения и проявляется блочная структура.

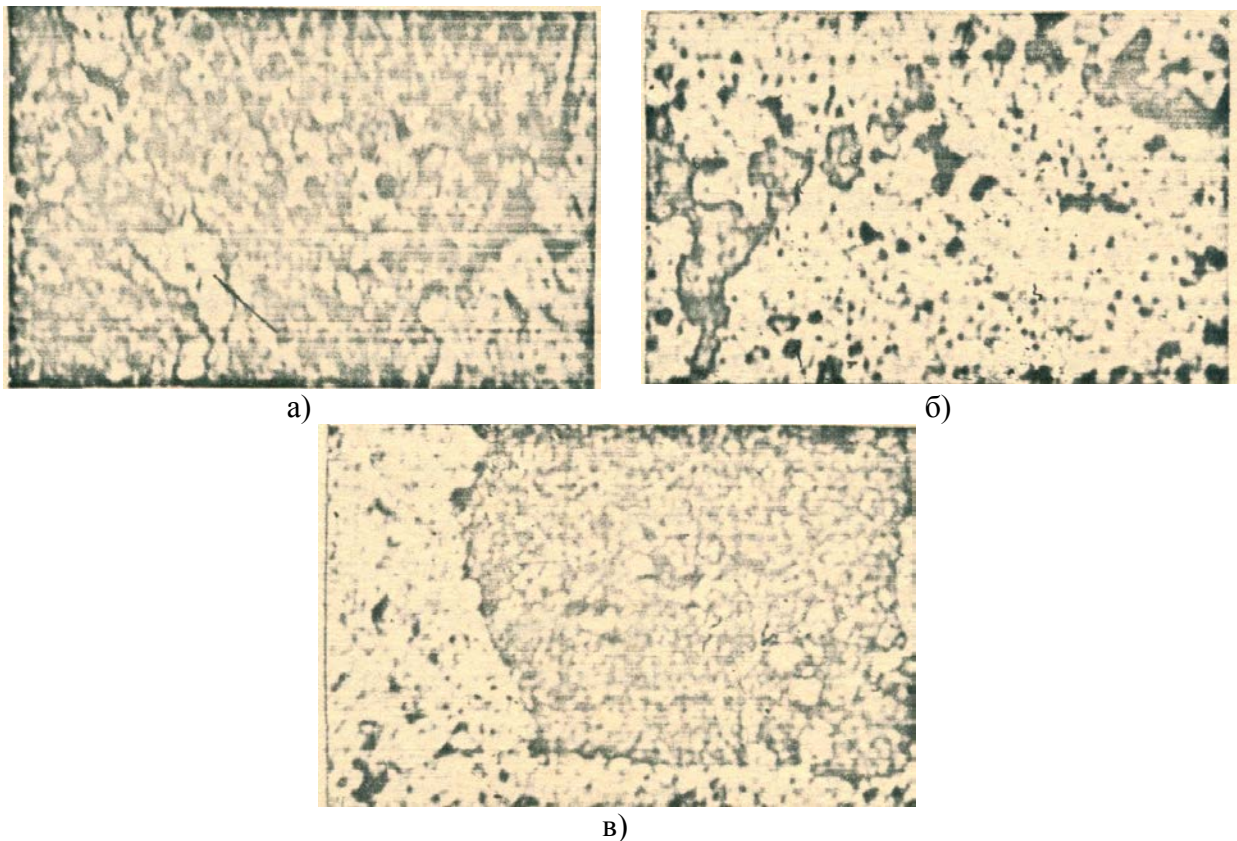


Рис. 4 – Микроструктура образцов из сплава Д1, закаленных при разных температурах: а) 480 °С – недогрев (x200); б) 510 °С – нормальная закалка (x200); в) 540 °С – пережог (x200)

Выводы. Появление глобулей и утолщений по границам зерен приводит к увеличению рассеивания ультразвуковых колебаний. Блочная структура сплава делает величину рассеивания более значительной. Соответственно резко возрастает и коэффициент затухания ультразвука.

Таким образом, предлагаемый ультразвуковой контроль пережога деталей и полуфабрикатов из термоупрочняемых алюминиевых сплавов является более эффективным методом по сравнению с механическими испытаниями и металлографическим анализом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Себко В. В. Вариант автоматизации процесса контроля предела прочности цилиндрических изделий при реализации акустического метода / В. В. Себко, В. Н. Бабенко, В. А. Левенец, Д. С. Иванов // Сб. научн. трудов НТУ «ХПИ», 2013. – № 64.
2. Гуляев А. П. Металловедение : учебник для вузов / А. П. Гуляев. – М. : Металлургия, 1986. – 544 с.
3. Самокрутов А. А. Применение ЭМА толщиномера А1270 для контроля проката из алюминиевых сплавов / [А. А. Самокрутов, В. Т. Бобров, В. Г. Шевалдыкин, В. Н. Козлов, С. Г. Алёхин, А. В. Жуков] // В мире неразрушающего контроля. – 2002. – № 4. – С. 24-27.
4. Неруйнівний контроль і технічна діагностика / Під ред. З. Т. Назарчука. – Львів : ФМІ ім. Г.В. Карпенка, НАНУ, 2001. – 1134 с.
5. Dixon S., Edwards C., Palmer S. B. Recent developments in the characterisation of aluminium sheets using electromagnetic acoustic transducers (EMATs) // Insignh, 2002, V. 44, No. 5, pp. 274-278.

Нігалатій В.Д., Погребняк І.Ф., Шарко О.В. ЗАКОНОМІРНОСТІ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ З ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

При проведенні загартування алюмінієвих сплавів може виникнути перепал, що виявляється в зниженні механічних властивостей. Механічні випробування досить трудомісткі. При металографічному аналізі за початкову стадію перепалу приймається різна ступінь округлення зерен, що не завжди відповідає дійсному стану матеріалу. Виконано акустичні вимірювання коефіцієнта загасання ультразвукових хвиль і резонансної частоти утворення стоячої хвилі. Встановлено, що після вимірювання коефіцієнта згасання можна виявляти сталу стадію перепалу, але не його початковий перехід. Разом з тим, визначити початкову стадію перепалу можна після зменшення резонансної частоти. Пропонований метод є більш ефективним, у порівнянні із механічними випробуваннями і металографічним аналізом, і може бути рекомендований як засіб оцінки технологічних властивостей матеріалів.

Ключові слова: фізико-механічні властивості, алюмінієві сплави, акустичні методи.

Nigalatiy V.D., Pogrebnyak I.F., Sharko A.V. PATTERNS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES INTERCONNECTION WITH TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ALUMINIUM ALLOYS

During tempering of aluminum alloys there may be burnout, which is revealed in the reduction of the mechanical properties. Mechanical testing is quite labor-consuming. During metallographic analysis the initial stage of burnout is adopted as varying degrees of grains rounding; which do not always correspond to the actual condition of the material. Acoustic measurements of attenuation coefficient of ultrasonic waves and the resonant frequency of standing wave formation were done. It was found that through measuring the attenuation coefficient established stage of burnout can be identified, but not its initial transition. However, determination of initial burn-out stage may be possible through reduction of the resonance frequency. The proposed method is more effective than mechanical tests and metallographic analysis and can be recommended as a means of assessing the technological properties of materials.

Keywords: physical and mechanical properties of aluminum alloys, acoustic methods.

© Нігалатій В.Д., Погребняк І.Ф., Шарко О.В.

Статтю прийнято
до редакції 13.10.14