

ОБРАБОТКА СВАРИВАЕМЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ТУГОПЛАВКИМИ МОДИФИКАТОРАМИ – ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ СВОЙСТВ

Н. Е. Калинина¹, Т. В. Носова¹, А.В. Калинин², С.И. Мамчур¹,
А.А. Шахов¹, И. А. Мамчур¹

¹Днепровский национальный университет имени Олеся Гончара, пр. Гагарина 72, г. Днепр,
49010, Украина

²Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул.
Чернышевского 24А, г. Днепр, 49000, Украина

Анотація. Встановлено вплив модифікування тугоплавкими дисперсними композиціями на зеренну структуру і властивості зварюваних алюмінієвих сплавів. Досліджено алюмінієві сплави системи Al-Mg-Mn хімічного складу: 4,8-6,0% магнію, 0,3-0,5% марганцю; 0,45 – 0,90% заліза; алюміній - основа. Вміст заліза відповідав доєвтектичному і заєвтектичному складам системи алюміній-залізо. Порошки модифікатора - карбиду титану (TiC) дисперсністю 1-5 мкм отримані методом плазмохімічного синтезу. Мікроструктуру сплавів вивчали на оптичних мікроскопах MIM-8M, Neophot-2. Міцнісні властивості сплавів визначали на машині МУП-20. Виготовлення зразків проводили за ГОСТ 1497-84 і ГОСТ 9454-80. Рідиннотекучість визначали методом спіральної проби. Досліджували властивості сплавів до і після модифікування. Досягнуто поліпшення технологічних властивостей алюмінієвих сплавів після модифікування. Рідиннотекучість підвищена в сплавах AMg5 і 1420 на 1,5% і 6% відповідно. Отримано однорідну дисперсну структуру алюмінієвих сплавів після модифікування. Міцнісні властивості модифікованих сплавів підвищені на 20 %. Проведено експерименти впливу виду шихти на структуру і властивості технічно чистого алюмінію і алюмінієвих сплавів AMg5 і 1420. Встановлено перевагу твердої шихти при виплавці зливків алюмінію зі зниження пористості і подрібнення зерна в порівнянні з використанням рідкої шихти. Доведено ефективний вплив тугоплавкого модифікатора карбиду титану на властивості алюмінієвих сплавів.

Ключові слова: АЛЮМІНІЄВИЙ СПЛАВ, МОДИФІКАТОР, ВЛАСТИВОСТІ, РІДИННОТЕКУЧИСТЬ.

Аннотация. Установлено влияние модифицирования тугоплавкими дисперсными композициями на зеренную структуру и свойства свариваемых алюминиевых сплавов. Доказано эффективное влияние тугоплавкого модификатора карбида титана на свойства алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ, МОДИФИКАТОР, СВОЙСТВА, ЖИДКОТЕКУЧЕСТЬ.

Abstract. The effect of modification by refractory dispersed compositions on the grain structure and properties of welded aluminium alloys is determined. Aluminium alloys of the Al-Mg-Mn system of chemical composition were studied: 4.8-6.0% magnesium, 0.3-0.5% manganese; 0.45 – 0.90% iron; aluminium - base. The iron content corresponded to the pre-eutectic and post-eutectic compositions of the aluminium-iron system. Titanium carbide (TiC) modifier powders with a dispersion of 1-5 microns obtained by the method of plasmachemical synthesis. The microstructure of the alloys was studied using MIM-8 and Neophot-2 optical microscopes. The strength properties of the alloys were determined using the MUP-20 machine. Production of samples was carried out according to GOST 1497-84 and GOST 9454-80. Fluidity was determined by the spiral sample method. The properties of alloys before and after modification were investigated. Improved technological properties of aluminium alloys after modification. Increased fluidity in AMg5 and 1420 alloys by 1.5% and 6%, respectively. The obtained homogeneous dispersed structure of aluminium alloys after modification. The strength properties of modified alloys are increased by 20 %. Experiments were conducted on the effect of the charge type on the structure and properties of technically pure aluminium and aluminium alloys AMg5 and 1420. The advantage of solid charge in the smelting of aluminium ingots in reducing porosity and grinding grain in comparison with the use of liquid charge is established. The effective effect of the refractory modifier of titanium carbide on the properties of aluminium alloys is proved.

Key words: ALUMINIUM ALLOY, MODIFIER, PROPERTIES, FLUIDITY.

Введение

При литье слитков из технического алюминия и деформируемых алюминиевых сплавов в настоящее время используют жидкую шихту [1, 2, 3] — жидкий алюминий, получаемый в электролизерах, который без обычной разливки в чушки сливают в печи для дальнейшей подготовки к литью. В жидком алюминии отсутствуют или теряют активность потенциальные центры кристаллизации [2]. Формируется крупнокристаллическая зеренная структура слитков, что может привести в процессе затвердевания отливок к возникновению в них трещин, а также к ухудшению технологичности при переработке слитков в профильную и листовую продукцию. При понижении температуры расплава кристаллизационная способность частично восстанавливается [4, 5]. Цель работы – установление влияния модифицирования тугоплавкими дисперсными композициями на зеренную структуру и свойства свариваемых алюминиевых сплавов.

Постановка задачи

Повышение технологических и механических свойств алюминиевых сплавов модифицированием. Материал и методы исследований. Исследовали алюминиевые сплавы системы Al-Mg-Mn химического состава: 4,8-6,0 % магния, 0,3-0,5 % марганца; 0,45-0,90 % железа; алюминий – основа. Содержание железа соответствовало доэвтектическому и заэвтектическому составам системы алюминий-железо. Порошки модификатора – карбида титана (TiC) дисперсностью 1-5 мкм получены методом плазмохимического синтеза. Микроструктуру сплавов изучали на оптических микроскопах МИМ-8М, Neophot-2. Прочностные свойства сплавов определяли на машине МУП-20. Изготовление образцов проводили по ГОСТ 1497-84 и ГОСТ 9454-80. Жидкотекучесть определяли методом спиральной пробы. Исследовали свойства сплавов до и после модифицирования.

Решение задачи

Исследование структуры и свойств деформируемых алюминиевых сплавов до и после модифицирования.

На пресс-автомате ударного действия изготовили прессованные таблетки из смеси порошков карбида титана фракцией 100...200 нм и порошков алюминия фракцией 50 мкм в соотношении 1:3 (мас.). Таблетки диаметром 10 мм толщиной 4 мм имеют предел прочности на сжатие 8 МПа. Возможно изготовление таблеток, размеры которых варьируются в широком интервале, что обеспечивается сменными матрицей и пуансоном пресс-автомата. В промышленных условиях проведен ряд опытных плавов сплавов AlMg5 и 1420, модифицированных наночастицами на основе карбида титана. Отличительной особенностью дисперсных порошков ряда химических соединений, получаемых методом плазмохимического синтеза являются малые размеры частиц (50...100 нм). Ввиду затруднений с прямым введением частиц в расплав (низкая температура окисления и возгорания, высокая способность к пылеобразованию, наличие на зеркале жидкого алюминия пленки прочного оксида алюминия) порошки вводили в жидкий алюминий по специально разработанной технологии. Высокая модифицирующая способность порошков нитридов и карбидов, приводящая к предотвращению возникновения трещин в донной части крупногабаритных слитков из алюминия, установлена в работах [5-7].

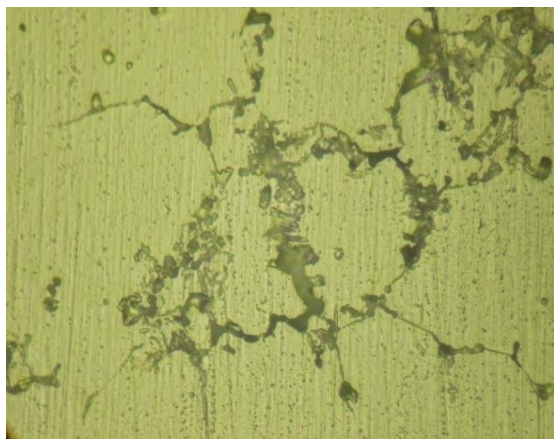
Оценку зеренной структуры проводили на продольных сечениях проб диаметром 30 мм высотой 120 мм, отлитых в кокиль.

Изучение структуры проб показало, что результатом применения жидкой шихты является более крупнозернистое строение.

Замена жидкой шихты на твердую приводит к уменьшению величины зерна, к этому близки эффекты и от введения прутков из слитков и гранул. Значительный эффект измельчения проявляется при введении порошков (рис.1).

Анализ структуры проб показал, что

в случае заливки с 973 К не перегретого и не модифицированного алюминия средняя площадь зерна составляет 3,8 мм², а перегретого до 1333 К и залитого с этой же температуры – увеличивается до 31,0 мм² (в 8 раз).



а



б

Рисунок 1 – Микроструктура алюминиевого сплава 1420:

а) в исходном состоянии; x200

б) после модифицирования x200

В результате введения порошка TiC в перегретый до 1333 К и залитый с этой же температуры алюминий зерно уменьшается до 3 мм², что в 1,2 раза меньше исходного состояния и в 9 раз меньше, чем зерно пробы, отлитой из перегретого не модифицированного расплава. При модифицировании порошком TiC расплава с низкой температурой (973 К) и заливке с этой же температуры зерно уменьшается еще больше – до 2,4 мм². Наибольший эффект измельчения структуры перегретого расплава достигается в результате модифицирования TiC.

В работе определяли следующие технологические свойства литейных алюминиевых сплавов: жидкотекучесть, склонность к образованию горячих трещин, газосодержание и герметичность.

Жидкотекучесть является важным свойством сплава, характеризующим степень его подвижности в процессе заполнения формы. Чем выше жидкотекучесть, тем легче получить сложную фасонную отливку с тонким сечением [3]. Жидкотекучесть алюминиевых сплавов АМг5 и 1420 после модифицирования определяли методом прутковой пробы. Температура заливки алюминиевых сплавов превышала температуру плавления исследуемых сплавов на 100°С. Значения жидкотекучести сплавов АМг5 и 1420 до и после модифицирования приведены в табл. 1

Таблица 1 – Результаты определения жидкотекучести сплавов

Сплав	Жидкотекучесть, мм
АМг5	280
АМг5 Модифицированный TiC	285
1420	350
1420 модифицированныйTiC	370

Из табл.1 следует, что модифицирование карбидом титана повышает жидкотекучесть исследуемых сплавов АМг5 и 1420 на 1,5 и 6 % соответственно.

Определение склонности к образованию горячих трещин алюминиевых сплавов АМг5 и 1420 до и после модифицирования дисперсными частицами проводим по следующей методике. В форму из песчано-глинистой смеси формовали две пробы в виде колец наружным диаметром 100 мм. Внутренний диаметр колец выполняли за счет простановки стержней из стали 12Х18Н10Т, предварительно окрашенных литейной краской для исключения насыщения алюминиевых сплавов железом, хромом и никелем. Одновременно в форму устанавливали холодильники в противоположных от

питателя направлениях. Толщину кольца изменяли путем установки в форму стальных стержней различных диаметров. Чем больше диаметр стержня и чем меньше толщина кольца, тем больше усадочные напряжения, возникающие в кольце при остывании. Толщину кольца изменяли с интервалом 2,5 мм. Такая методика позволяет отводить трещины в дальнюю часть или вблизи питателя, то есть в том месте, где сплав кристаллизуется в последнюю очередь. Степень трещиностойкости определяли толщиной кольца, при которой обнаружены первые трещины. Результаты проведенных экспериментов по определению склонности сплавов к образованию горячих трещин показали, что до и после модифицирования дисперсными частицами карбида титана сплавы имеют высокую стойкость к образованию горячих трещин. Трещиностойкость сплавов при модифицировании повышается, так как при толщине кольца 10 мм у исходного сплава отмечены трещины в образцах в дальней части от питателя. При этом в модифицированных сплавах трещин не наблюдали.

Свариваемость многокомпонентных сплавов, к которым относятся алюминиевые сплавы, зависит от особенностей протекания первичной кристаллизации металла шва и формирования химической и структурной неоднородностей. Именно они определяют условия образования горячих (кристаллизационных) трещин и физико-механические свойства сварных соединений

Существуют два подхода к решению проблемы горячих трещин алюминиевых сплавов. Первый подход условно называют термомеханическим. Он основан на прогнозировании уровня напряжений в переходной зоне с основным металлом в процессе кристаллизации [2]. Второй

подход базируется на теории кристаллизации алюминиевых сплавов.

Очевидно, что более мелкая структура и пониженное газосодержание, в результате чего снижается газонасыщенность границ зерен и уменьшается вероятность образования пористости, приводят к получению более высокого уровня механических свойств слитков [6], отлитых с использованием модификатора. Временное сопротивление σ_b образцов, вырезанных из промежуточной и центральной зон слитков, после модифицирования выше характеристики свойств слитков до модифицирования.

Выводы

1. Проведены эксперименты по влиянию вида шихты на структуру и свойства технически чистого алюминия и алюминиевых сплавов АМг5 и 1420. Установлено преимущество твердой шихты при выплавке слитков алюминия по снижению пористости и измельчению зерна по сравнению с использованием жидкой шихты.

2. С целью дальнейшего измельчения зерна слитков применено модифицирование расплавов дисперсными композициями TiC. 3. Достигнуто измельчение зерна сплавов АМг5 и 1420 в 8-10 раз, повышение прочностных характеристик на 20 % по сравнению с не модифицированным состоянием.

4. Достигнуто повышение технологических свойств сплавов АМг5 и 1420 в результате модифицирования: жидкотекучесть сплавов АМг5 и 1420 повысилась на 1,5 и 6 %, соответственно.

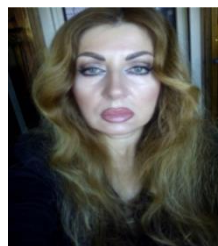
Библиографические ссылки

1. Марухович Е.И. Модифицирование сплавов. Минск: Белорусская наука, 2009. 192 с.

2. Никитин В.И. Развитие и применение явления структурной наследственности в алюминиевых сплавах. Omsk: Siberian Federal University Engineering and Technology, №4, 2014. С.424-429.
3. Авиационно-космические материалы и технологии: учебник / В.О. Богуслаев и др. Запорожье: Мотор Сич, 2009. 385 с.
4. Ганиев И.Н., Пархунин П.О., Вахобов А.В. Модифицирование силуминов стронцием. Минск: Наука и техника, 1995. 143 с.
5. Сабуров В.П., Еремик Е.Н., Черепанов А.Н. Модифицирование сталей и сплавов дисперсными инокуляторами. Омск: ОмГТУ, 2002. 257 с.
6. Наноматериалы и нанотехнологии : ученик /В.О. Богуслаев и др. Запорожье: Мотор Сич, 2014. 205 с.
7. Katayama S. Handbook of laser welding technologies. Cambridge: Woodhead Publishing limited, 2014. 677 p.

Надійшла до редколегії 22.11.2019

Сведения об авторах



Мамчур Стелла Ігорівна
Україна, Дніпровський
Національний університет
ім. Олеся Гончара
Доцент, кандидат технічних
наук. Сфера інтересів –
конструкційні матеріали
РКТ



Калінін Олександр
Васильович. Україна,
Придніпровська державна
академія будівництва та
архітектури . Докторант,
кандидат технічних наук
Сфера інтересів –
матеріалознавство



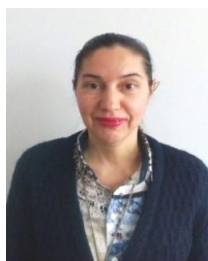
Мамчур Ігор
Олександрович. Україна.
Дніпровський Національний
університет ім. Олеся
Гончара. Аспірант. Сфера
інтересів –
матеріалознавство



Шахов Антон Альбертович.
Україна. Дніпровський
Національний університет
ім. Олеся Гончара. Магістр.
Сфера інтересів –
матеріалознавство



Калініна Наталія Євграфівна
Україна, Дніпровський
Національний університет ім.
Олеся Гончара
Професор, доктор технічних
наук, Сфера інтересів –
матеріалознавство
спеціальних сплавів РКТ



Носова Тетяна Валеріївна
Україна, Дніпровський
національний університет ім.
Олеся Гончара. Доцент,
кандидат технічних наук,
Сфера інтересів –
конструкційні матеріали РКТ