



УДК 669.154

Поступила 08.06.2015

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ СПЛАВОВ MODIFYING OF SECONDARY ALLOYS

В. Ю. СТЕЦЕНКО, Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь

V. Yu. STETSENKO, Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus, Mogilev, Belarus

Показано, что примесное модифицирование вторичных сплавов неэффективно по причине высокого содержания в расплаве высокодисперсных неметаллических частиц. Они способствуют получению немодифицированной микроструктуры и загрязнению отливок неметаллическими включениями. Эффективными способами модифицирования вторичных сплавов являются ускоренное затвердевание отливок и наследственное модифицирование.

It is shown that impurity modifying of secondary alloys inefficiently because of the high contents in fusion of high-disperse nonmetallic particles. They promote receiving not modified microstructure and pollution of castings by nonmetallic inclusions. Effective ways of modifying of secondary alloys are the methods of the accelerated hardening of castings and hereditary modifying.

Ключевые слова. Модифицирование, вторичные сплавы, нанокристаллы, кристаллизатор, непрерывное литье, кристаллизация, микроструктура.

Keywords. Modifying, secondary alloys, nanocrystals, crystallizer, continuous molding, crystallization, microstructure.

Модифицирование, как правило, применяют для измельчения микроструктуры отливки с целью повышения ее физико-механических свойств. Наиболее распространенным способом является примесное модифицирование. Для него в основном используют модификаторы (лигатуры) так называемого зародышеобразующего действия. Разработано и разрабатывается множество лигатур, которые образуют в расплаве термодинамически устойчивые высокодисперсные неметаллические частицы (ВНЧ). Принято считать, что они являются центрами кристаллизации (ЦК) макрокристаллов фаз сплавов. Для примесного модифицирования характерна так называемая оптимальная концентрация модификатора, при которой достигается максимальное измельчение микроструктуры сплава. При превышении этой концентрации происходит снижение модифицирующего эффекта. Для примесного модифицирования также характерна так называемая критическая концентрация модификатора. При ее превышении микроструктура отливки становится немодифицированной, крупнокристаллической. Эти явления мало изучены, поскольку они не укладываются в рамки классической теории модифицирования. Согласно ее представлениям, чем больше в расплаве ВНЧ, тем больше образуется ЦК, тем более дисперсной получается микроструктура сплава. Но на практике это происходит не всегда, а только до оптимальной концентрации модификатора, которая предполагает оптимальную концентрацию ВНЧ. Второй трудностью классической теории модифицирования является тот факт, что почти все ВНЧ не удовлетворяют структурно-размерному принципу Данкова-Конобеевского для модифицируемых фаз [1–3]. Следует полагать, что ВНЧ не являются ЦК, а выполняют в процессе модифицирования второстепенную роль. С точки зрения термодинамики центрами кристаллизации фаз служат их высокодисперсные кристаллы (нанокристаллы). Они полностью удовлетворяют структурно-размерному принципу Данкова-Конобеевского. Установлено, что нанокристаллы фаз стабильны в расплавах в основном благодаря очень малой (близкой к нулю) межфазной поверхностной энергии высокой дисперсности [4–6]. В начале процесса кристаллизации происходит коагуляция более мелких нанокристаллов в более крупные ЦК. Этому процессу препятствуют поверхностно-активные элементы (ПАЭ). Одним из главных из них является кислород. Адсорбируясь на нанокристаллах фаз, ПАЭ замедляют скорость образования ЦК. Поэтому при относительно невысокой (обычной) скорости затвердевания отливки концентрация ЦК мала. В результате получается крупнокристаллическая структура. Образованные в расплаве ВНЧ активно адсорбируют ПАЭ и способствуют про-

цессу коагуляции нанокристаллов в ЦК. При концентрации ВНЧ выше оптимальной процесс коагуляции нанокристаллов усиливается, что способствует уменьшению количества ЦК. Это приводит к снижению модифицирующего эффекта. При концентрации ВНЧ выше критической процесс коагуляции нанокристаллов усиливается настолько, что существенно уменьшает количество ЦК. В результате получается крупнокристаллическая структура. При относительно высокой концентрации ВНЧ в расплаве получить модифицированную микроструктуру можно, увеличив скорость затвердевания отливки. В этом случае повышенная интенсивность коагуляции нанокристаллов не успевает понизить количество ЦК. Это приводит к тому, что модифицирующий эффект не только сохраняется, но и увеличивается.

Примесное модифицирование эффективно в том случае, когда в качестве шихтовых материалов используют более рафинированные от ВНЧ, так называемые первичные сплавы. В настоящее время в Республике Беларусь для получения отливок в качестве шихтовых материалов в основном применяют так называемые вторичные сплавы. Они неоднократно подвергались примесному модифицированию. Концентрация ВНЧ во вторичных сплавах выше оптимальной и даже критической. Поэтому примесное модифицирование таких сплавов неэффективно и будет способствовать загрязнению отливок неметаллическими включениями. Самым сильным модифицирующим фактором для вторичных сплавов является повышенная скорость затвердевания отливки. Наивысшая интенсивность охлаждения слитка происходит при литье в обычный кристаллизатор. Но даже в этом случае для получения мелкокристаллической структуры применяют примесное модифицирование. Для существенного повышения интенсивности охлаждения слитка были разработаны кристаллизатор и устройство вторичного охлаждения, в которых использовался метод затопленно-струйного охлаждения [1]. В этом способе затопленные струи воды ударяют в охлаждаемую поверхность, уменьшая толщину теплового пограничного слоя. Здесь также увеличивается гидростатическое давление охладителя. Это особенно важно для предотвращения образования на охлаждаемой поверхности парового теплоизолирующего слоя. По сравнению с обычным затопленно-струйным способом охлаждения повышает интенсивность теплоотвода более чем в 2 раза [1]. На основе струйных кристаллизатора и устройства вторичного охлаждения была разработана технология непрерывного горизонтального литья слитков диаметром 40–100 мм из вторичного силумина с высокодисперсной и инвертированной микроструктурой. При этом примесные модификаторы не применяются. Скорость литья составляет 1,4–2,4 м/мин. Основа микроструктуры слитка – инвертированная эвтектика с дисперсностью глобулярных кристаллов кремния 0,5–2,0 мкм. Полученные заготовки обладают высокими механическими и антифрикционными свойствами, превосходящими аналогичные из бронз. Литьем в кристаллизатор с затопленно-струйной системой охлаждения можно получать полые и сплошные, но цилиндрические слитки. Для производства фасонных заготовок используют способы литья, в которых скорость затвердевания не позволяет стабильно получать из вторичных сплавов высокодисперсную микроструктуру. Поэтому был разработан метод наследственного модифицирования [1]. Было установлено, что если переплавить слиток из силумина с высокодисперсной и инвертированной микроструктурой и получить фасонную заготовку, то ее структура получается такой же, как и исходная, шихтовая отливка. При этом живучесть эффекта наследственного модифицирования достигает трех часов. Это свидетельствует о высокой стабильности в расплаве высокодисперсных глобулярных кристаллов кремния, ЦК. Эффект наследственного модифицирования в полной мере сохраняется даже в том случае, если в шихте будет находиться не менее 30% силумина с высокодисперсной и инвертируемой микроструктурой [1]. Используя метод наследственного модифицирования, можно решить проблему модифицирования вторичных сплавов и повысить их физико-механические и эксплуатационные свойства. Для этого необходимо получить шихтовые слитки литьем в кристаллизатор с затопленно-струйной системой охлаждения. При этом для повышения производительности литья и увеличения дисперсности инвертированной микроструктуры нужно использовать затопленно-струйную систему вторичного охлаждения.

Таким образом, эффективными способами модифицирования вторичных сплавов являются ускоренное затвердевание отливок и наследственное модифицирование.

Литература

1. Марукович Е. И., Стеценко В. Ю. Модифицирование сплавов. Минск: Беларуская навука, 2009.
2. Стеценко В. Ю. О механизме модифицирования структуры сплавов при их затвердевании // Металловедение и термическая обработка металлов. 2009. № 3. С. 42–46.
3. Стеценко В. Ю. Определение механизмов литья алюминиево-кремниевых сплавов с высокодисперсной и инвертированной микроструктурой // Литье и металлургия. 2013. № 2. С. 22–29.

4. Стеценко В. Ю. Механизмы процесса кристаллизации металлов и сплавов // *Литье и металлургия*. 2013. № 1. С. 48–54.
5. Стеценко В. Ю. Металлические расплавы – наноструктурные системы // *Литье и металлургия*. 2014. № 1. С. 48–49.
6. Стеценко В. Ю. Кластеры в жидких металлах – стабильные нанокристаллы // *Литье и металлургия*. 2015. № 2. С. 33–35.

References

1. Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu. *Modificirovanie splavov* [Modifying of alloys]. Minsk, Belaruskaya. navuka Publ., 2009.
2. Stetsenko V. Yu. O mehanizme modificirovaniya struktury splavov pri ih zatverdevanii [About the mechanism of modifying of structure of alloys during their hardening]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov – Metal Science and heat Treatment of metals*, 2009, no. 3, pp. 42–46.
3. Stetsenko V. Yu. Opredelenie mehanizmov litya aljuminievo-kremnievyh splavov s vysokodispersnoy i invertirovannoy mikrostrukturoy [Definition of mechanisms of molding of aluminum-silicon alloys with the high-disperse and inverted microstructure]. *Lite i metallurgiya – Foundry production and metallurgy*, 2013, no. 2, pp. 22–29.
4. Stetsenko V. Yu. Mehanizmy processa kristallizacii metallov i splavov [Mechanisms of process of crystallization of metals and alloys]. *Lite i metallurgiya – Foundry production and metallurgy*, 2013, no. 1, pp. 48–54.
5. Stetsenko V. Yu. Metallicheskie raspavy – nanostrukturnye sistemy [Metal fusions – nanostructural systems]. *Lite i metallurgiya – Foundry production and metallurgy*, 2014, no. 1, pp. 48–49.
6. Stetsenko V. Yu. Klasterly v zhidkih metallah – stabilnye nanokristally [Clusters in liquid metals – stable nanocrystals]. *Lite i metallurgiya – Foundry production and metallurgy*, 2015, no. 2, pp. 33–35.

Сведения об авторе

Стеценко Владимир Юзефович, канд. техн. наук, ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси», Беларусь, 212030 г. Могилев, ул. Бялыницкого-Бирули, 11. Тел. +375 (222) 28-85-97. E-mail: lms@itm.by.

Information about the authors

Stetsenko Vladimir, Ph. D in Engineering, Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus. 11, Bialynitskogo-Biruli str., Mogilev, 212030, Belarus. Tel. +375 (222) 28-85-97. E-mail: lms@itm.by.