

Исследование структуры и свойств многослойных материалов на основе алюминиевых сплавов

77-30569/262333

11, ноябрь 2011

Колесников А. Г., Плохих А. И., Миронова М. О.

УДК 620.18: 669-419:621.771

МГТУ им. Н.Э. Баумана

plokhikh@bmstu.ru

nukmt@mx.bmstu.ru

mironova-mariya@rambler.ru

Введение

Актуальной научно-технической задачей современного машиностроения является снижение габаритно-весовых параметров деталей и элементов конструкций, решение которой позволяет существенным образом повысить эксплуатационные показатели изделия в целом. Как показывает практика, весьма эффективным при создании передовых образцов современной техники, остается использование анизотропных и ортотропных материалов, характерной особенностью которых является наличие градиентной макро- либо микроструктуры. Использование подобных материалов, позволяет наиболее эффективно решать поставленные задачи, однако использование подобных материалов, чаще всего требует уникальных технологических процессов и оборудования.

Перспективным подходом по нашему мнению, является использование высокопроизводительного метода горячей прокатки для создания материалов конструкционного назначения на основе компактных многослойных заготовок. Разработка технологии получения подобных многослойных материалов является задачей достаточно сложной [1, 2], однако ее решение открывает возможность синтезировать анизотропные металлические материалы с заданным уровнем свойств.

Одним из широко применяемых способов получения субмикроструктурных материалов является ARB - метод [3-5], в котором используется близкая по своей сути технологическая схема многократной пакетной прокатки (рис. 1). В результате повторения 14 технологических циклов наблюдается измельчение структуры до толщины зерен толщины 200 нм, которое, по мнению авторов, происходит благодаря интенсивной пластической деформации.

При этом сохранения границ раздела между отдельными слоями не наблюдается, что говорит о нарушении ламинарного строения материала за счет протекающих процессов рекристаллизации.

Такое нарушение в структуре материала, обладающего истинно ламинарным строением, является недопустимым, ввиду изменения регулярного расположения слоев, делающее невозможным постепенное утонение слоев деформацией прокатки. Решение этой задачи открыло бы возможность синтезировать многослойные конструкционные материалы с заданным уровнем свойств, в частности высокими значениями ударной вязкости и трещиностойкости [6, 7].

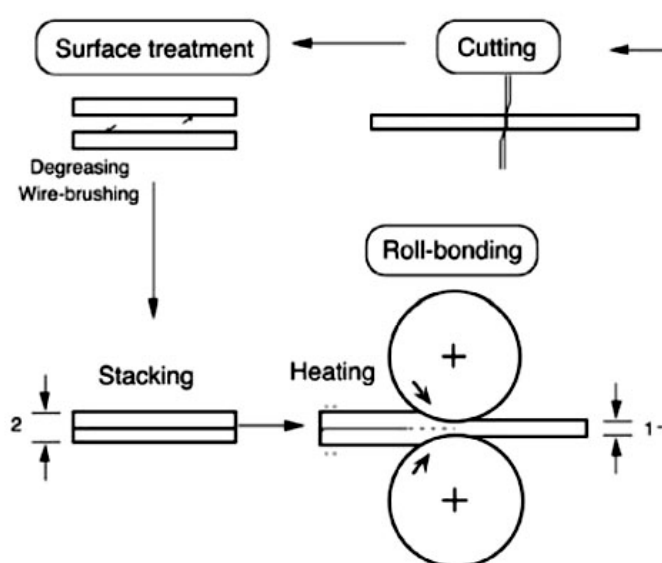


Рис. 1. Технологическая схема ARB-метода

Проведенные ранее исследования показали [8], что получение многослойной ламинарной структуры в материале, созданном на основе одного металла, все же возможно, если в исходной композиции участвуют сплавы, имеющие различное кристаллическое строение (например, решетки ОЦК и ГЦК). Однако такой подход может быть реализован, в том случае если металл основы обладает полиморфизмом.

Другим подходом к решению этой задачи является создание многослойной композиции на основе одного мономорфного металла, с использованием ограниченных твердых растворов с высокой концентрацией разных легирующих элементов (рис. 2) [9]. Однако дополнительным условием в этом случае, должно быть отсутствие химического сродства между легирующими элементами образующих твердые растворы, и как следствие этого, снижение их межслойной диффузионной подвижности.

В качестве объектов исследования в этом случае, могут быть использованы промышленно выпускаемые алюминиевые сплавы систем легирования Al – Mg и Al – Mn. При этом основные легирующие элементы Mg и Mn имеют незначительную взаимную растворимость и не образуют промежуточных соединений. Так максимальная взаимная растворимость составляет при 645 С 1,5 %(ат) или 3,4 % (по массе), которая имеет тенденцию к уменьшению при понижении температуры.

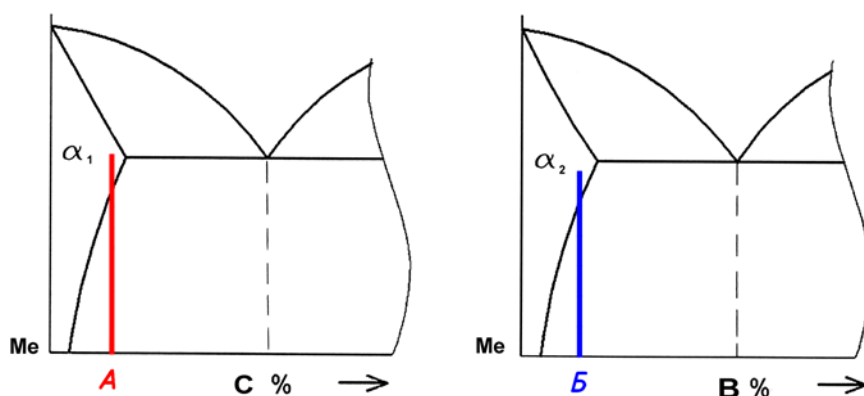


Рис. 2. Схема выбора исходной композиции многослойного материала на основе твердых растворов

Материалы и методы исследования

На основании предложенной схемы выбора была изготовлена многослойная композиция, состоящая из двух алюминиевых сплавов АМг3 и АМц, которая в начале обработки имела 100 попеременно чередующихся между собой слоев толщиной 0,5 мм, по 50 каждой марки. По экспериментальному технологическому циклу (рис.3), включающему мерную резку заготовок из листов, обработку их поверхности, сборку нарезанных листов в пакет, вакуумирование пакета и последующее пластическое деформирование методом горячей прокатки при температуре 400 С, были получены заготовки листового сортамента толщиной 2 мм. Из полученных заготовок, после окончания технологического цикла были отобраны образцы для проведения механических испытаний.

Определение механических свойств проводили на испытательной разрывной машине ИР 5047-50 производства ОАО «ТОЧПРИБОР» мощностью 50 кН. Плоские образцы (без головок) толщиной 2 мм, шириной 10 мм и длиной рабочей части 100 мм были вырезаны из центральной части листовой заготовки в направлении, совпадающем с направлением проката. Определение модуля упругости осуществляли с помощью штатного навесного тензометра

в центральной части образца на базе 50 мм. Расчет проводился в соответствии с ГОСТ 1497-84 автоматизировано, с помощью встроенной программы сбора и обработки данных.

Твердость образцов - пластин толщиной 2 мм определяли на приборе типа ИТ 5010 производства ОАО «ТОЧПРИБОР» по методу Бринелля в соответствии с ГОСТ 9012-59 шариком Ø 2,5 мм при нагрузке 62,5 кгс. Для подсчета средней величины твердости на каждом образце делали не менее 5 измерений.

Исследование микроструктуры были проведены с помощью микроскопа «Neophot», на поперечном сечении образцов толщиной 10 мм, специально отобранных на заключительной стадии процесса изготовления.

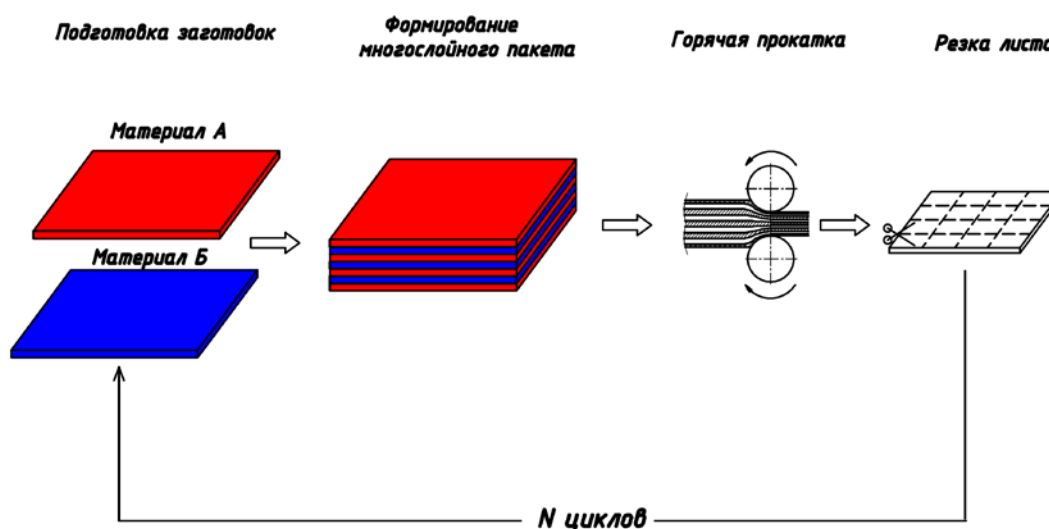


Рис. 3. Экспериментальная схема технологического цикла

Результаты исследований и обсуждение

Изучение микроструктуры образцов многослойных материалов показало, что в результате реализации указанного технологического цикла наблюдается формирование ламинарной структуры (рис. 4). Толщина отдельного слоя, при общей толщине заготовки равной 10 мм, составила 100 мкм, а при толщине заготовки 2 мм 20 мкм соответственно.

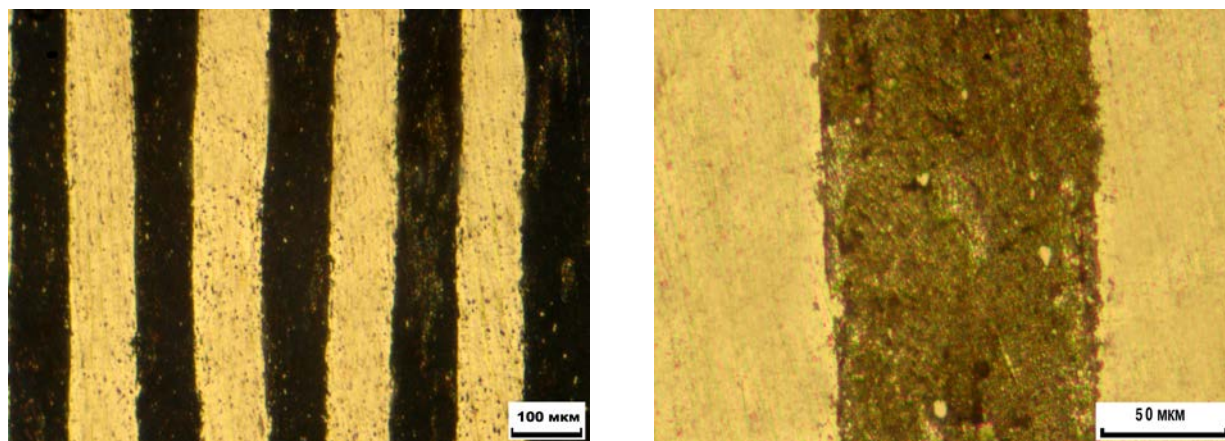


Рис. 4. Микроструктура поперечного сечения образца исследуемой композиции (толщина заготовки 10 мм)

На фотографии микроструктуры можно видеть, что в процессе металлографического травления, составляющие многослойной заготовки, окрашиваются контрастно в светлый и темный цвет. Учитывая, что сплав АМгЗ обладает относительно меньшей коррозионной стойкостью, чем сплав АМц можно считать, что в композиции ему соответствуют более темные слои.

Проведенное исследование механических свойств показало, что многослойный материал при проведении полного цикла изготовления имеет значение твердости, превышающее твердость исходных компонентов. Обращает на себя внимание так же тот факт, что аддитивным значениям соответствует только полученные значения σ_B . При одновременном росте условного предела текучести резко уменьшаются характеристики пластичности δ и ψ . При этом необходимо отметить, что такое изменение видимо является характерным именно для материалов имеющих ламинарное строение. Аналогичные закономерные изменения были получены нами на многослойных материалах системы Fe-Fe, изготовленных на основе широкой номенклатуры сталей [9].

Так же общим, для этих двух групп многослойных материалов, является пониженное значение модуля упругости, причем для многослойных материалов, полученных на основе сталей, это снижение для некоторых композиций составило 25%.

Механические свойства исследуемых материалов

Наименование материала	E, x10 ³	σ _B	σ _{0,2}	δ	ψ	НВ
	МПа			%		
АМгЗ ^{*)}	68	320	170	25	-	70
АМц ^{*)}	72	130	50	23	70	55
АМг + АМц	64	236	198	4	9	90

^{*)} – справочные данные

Заключение

В результате проведенных исследований было показано, что многослойные металлические материалы могут быть получены не только на основе композиций состоящих из сплавов с различным кристаллическим строением, но и на основе изоморфных компонентов.

Показано, что в результате однократного технологического цикла в композиции, состоящей из сплавов АМгЗ и АМц, формируется ламинарная структура, которая характеризуется равнотолщинным и параллельным расположением слоев в поперечном сечении многослойной заготовки.

Результаты механических испытаний показали, что при одновременном росте условного предела текучести резко уменьшаются характеристики пластичности, что видимо является характерной чертой материалов имеющих ламинарное строение.

Работа выполнена в рамках АВЦП "Развитие научного потенциала высшей школы 2009-2010", проект № 2.1.2/10235

Список литературы

1. Колесников А. Г, Мечиев Ш. Т., Панова И. Ю. Состояние и перспективы применения многослойных металлических заготовок // Заготовительные производства в машиностроении. 2008. №1. С. 42-43.
2. Шинкарев А. С., Колесников А.Г. Моделирование прокатки многослойных композитов на основе разнородных металлов // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2011. - № 5, Эл № ФС 77 – 30569, № гос. регистрации 0421100025.
3. Saito Y., Tsuji N., Utsunomiya H., Sakai T. and Hong R.G. Ultra-Fine Grained Bulk Aluminum Produced by Accumulative Roll-Bonding (ARB) Process. // Scripta Mater., 39 (1998), P.1221-1227.
4. Tsuji N., Saito Y., Lee S.H. and Minamino Y. ARB (Accumulative Roll-Bonding) and Other New Techniques to Produce Bulk Ultrafine Grained Materials. // Advanced Engineering Materials, 5 (2003), № 5, P.338-344.
5. Okitsu Y., Takata N., Tsuji N., Mechanical properties of ultrafine grained ferritic steel sheets fabricated by rolling and annealing of duplex microstructure // Mater. Sci., vol. 43 (2008), № 23-24 P.7391- 7396.
6. Погодин-Алексеев Г.И. Динамическая прочность и хрупкость металлов. М.: Машиностроение, 1966. 243 с.

7. Микляев П.Г., Нешпор Г.С., Кудряшов В.Г. Кинетика разрушения. М.: Металлургия, 1979. 279 с.
8. Колесников А.Г., Плохих А.И., Михальцевич И.Ю. Исследование возможности получения субмикро- и наноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки // Производство проката. 2010. № 3. С. 25-31
9. Колесников А.Г., Плохих А.И., Комиссарчук Ю.С., Михальцевич И.Ю. Исследование особенностей формирования субмикро- и наноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки // МиТОМ. 2010. № 6. С. 44-49

Research of the structure and properties of multilayer materials based on aluminum alloys

77-30569/262333

11, November 2011

Kolesnikov A.G., Plohih A.I., Миронова М.А.

Bauman Moscow State Technical University

plokhikh@bmstu.ru

nukmt@mx.bmstu.ru

mironova-mariya@rambler.ru

It was shown in the article, that multilayer metallic materials could be composed not only using alloys with different crystal structure, but also using isomorphic components. Metallographic research specified that laminar structure with parallel arrangement of layers of equal thickness was formed in multilayer material consisting of aluminum alloys. Significant reducing of viscosity was detected when simultaneous rising of conditional yield point; this is a characteristic of materials with laminar structure.

Publications with keywords: [structure](#), [mechanical properties](#), [strength](#), [multilayer metal materials](#), [plasticity](#)

Publications with words: [structure](#), [mechanical properties](#), [strength](#), [multilayer metal materials](#), [plasticity](#)

Reference

1. Kolesnikov A. G, Mechiev Sh. T., Panova I. Ju., Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii 1 (2008) 42-43.
2. Shinkarev A. S., Kolesnikov A.G., Nauka i obrazovanie – Science and Education 5 (2011).
3. Saito Y., Tsuji N., Utsunomiya H., Sakai T., Hong R.G., Ultra-Fine Grained Bulk Aluminum Produced by Accumulative Roll-Bonding (ARB) Process., Scripta Mater. 39 (1998) 1221-1227.
4. Tsuji N., Saito Y., Lee S.H., Minamino Y., ARB (Accumulative Roll-Bonding) and Other New Techniques to Produce Bulk Ultrafine Grained Materials, Advanced Engineering Materials 5 (2003) 338-344.

5. Okitsu Y., Takata N., Tsuji N., Mechanical properties of ultrafine grained ferritic steel sheets fabricated by rolling and annealing of duplex microstructure, Mater. Sci. 43 (23-24) (2008) 7391- 7396.
6. Pogodin-Alekseev G.I., Dynamic strength and brittleness of metals, Moscow, Mashinostroenie, 1966, 243 p.
7. Mikljaev P.G., Neshpor G.S., Kudrjashov V.G., The kinetics of destruction, Moscow, Metallurgija, 1979, 279 p.
8. Kolesnikov A.G., Plohih A.I., Mihal'cevic I.Ju., Proizvodstvo prokata 3 (2010) 25-31.
9. Kolesnikov A.G., Plohih A.I., Komissarchuk Ju.S., Mihal'cevic I.Ju., MiTOM 6 (2010) 44-49.