

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.771

Бирюкова О.Д., Пустовойтов Д.О., Песин А.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА АККУМУЛИРУЮЩЕЙ ПРОКАТКИ КАК СПОСОБА ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ КОМПОЗИТОВ 5083/2024 И 5083/1070

Аннотация: Рассмотрен процесс аккумулярующей прокатки алюминиевых биметаллических композитов 5083/2024 и 5083/1070. Представлены расчетные характеристики процесса на основе моделирования в программном комплексе DEFORM 2D. Проанализировано состояние границ соединяемых металлов в биметаллических композитах. Получены результаты, позволяющие оценить закономерности пластического течения соединяемых разнородных металлов в очаге деформации при аккумулярующей прокатке, а также изучить некоторые особенности формирования интерметаллидного слоя.

Ключевые слова: асимметричная прокатка, алюминиевые сплавы, интенсивная пластическая деформация, ультрамелкозернистая структура, аккумулярующая прокатка.

Введение

В последнее время использование алюминиевых сплавов в различных отраслях техники становится все более популярным. Применение высокопрочных материалов, особенно при криогенных температурах, увеличило спрос на получение мелкозернистой структуры в алюминиевых сплавах различных серий. Основным способом получения таких структур остаются методы интенсивной пластической деформации. На сегодняшний день алюминиевые сплавы являются легкими материалами, обладающими высокой удельной прочностью и пластичностью. Данный синергетический эффект позволяет алюминиевым сплавам соответствовать высокому уровню современного технологического развития. Все чаще производят биметаллические соединения по типу композитов из различного сочетания серий алюминиевых сплавов [1-6]. Выбор сочетания основан на двух основных положениях: использование сплавов с противоположными свойствами (1xxx и 5xxx, 2xxx и 5xxx) или, наоборот, совмещение двух похожих между собой (5xxx и 7xxx). Очень важно отметить способы сварки сплавов всех перечисленных серий. Так, например, при получении композита сваркой взрывом на образование прочного интерметаллидного слоя влияет уровень внедрения одного слоя алюминиевого сплава в другой. Наряду с высоким уровнем прочности сварных соединений, большую роль играет в этом вопросе уровень пористости сварных швов, который обязательно должен учитываться. Также вопрос состоит в том, как в итоге будет обрабатываться данный шов и будет ли он поддаваться криогенной обработке при определенном уровне установленных температур. Соответственно

здесь дополнительная криогенная обработка сплавов выступает катализатором для получения наилучших механических характеристик. Было выявлено, что именно алюминий и его сплавы являются наилучшим материалом, способным воспринимать криогенную обработку, пластичность данных материалов возрастает наравне с прочностью [7, 8]. Кроме перечисленных свойств важны другие характеристики металлов, такие как свариваемость, что было указано выше, а также коррозионная стойкость, теплопроводность, коэффициент термического расширения и т.д. Как раз последние указанные характеристики влияют на термодинамический разогрев, происходящий в процессе обработки алюминия. Особенно остро данный вопрос стоит при применении интенсивной пластической деформации в процессе получения ультрамелкозернистой структуры в алюминиевых сплавах. Известно, что при невысоких обжатиях разогрев полосы составит от 150 °С, а при больших обжатиях, например в 50%, разогрев в очаге деформации может достичь 260 °С [9]. В связи с этим применение криогенной обработки становится целесообразным.

Метод исследования и используемые материалы

Целью данной работы являлось конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния композитов при аккумулярующей прокатке алюминиевых сплавов 1070, 2024 и 5083, химический состав которых представлен в таблице.

Химический состав алюминиевых сплавов 1070, 2024, 5083

Сплав	Mn	Si	Mg	Fe	Cu	Cr	Ti	Zn	Al
1070	0.03	0.15	0.02	0.16	0.01	-	0.01	0.04	99.7
2024	0.019	0.422	0.473	0.178	0.02	0.001	0.15	0.25	98.487
5083	0.682	0.091	4.479	0.285	0.027	0.104	0.007	0.014	94.282

© Бирюкова О.Д., Пустовойтов Д.О., Песин А.М., 2019

В работе представлены результаты численного исследования симметричного и асимметричного случаев аккумулирующей прокатки алюминиевых сплавов. Аккумулирующая прокатка имеет свои преимущества перед подавляющим большинством методов интенсивной пластической деформации [10-12]. Например, данный процесс не требует сложного оборудования, возможно использование стандартного прокатного стана. При этом сплавы алюминия являются наилучшим материалом, поддающимся обработке методом аккумулирующей прокатки. Технология данного процесса, представленная на рис. 1, состоит в начальной обработке полос, соединения их, например, сваркой взрывом, прокатки, последующей резки на равные части и повторении предыдущих действий несколько раз до получения требуемой толщины материала и его свойств.

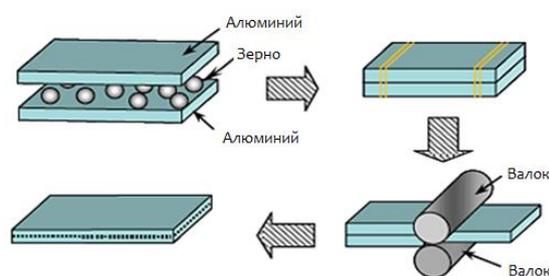


Рис. 1. Технология процесса аккумулирующей прокатки

Процесс моделировался в программном комплексе Deform 2D. Система моделирования, построенная на методе конечных элементов в двумерной постановке задач, позволяет определять характеристики напряженно-деформированного состояния материалов, преимущественно металлов при обработке их давлением. Deform 2D может произвести анализ сложных сред с детальным изучением влияния нескольких исследуемых объектов с разными или противоположными свойствами при выбранных методах воздействия на них. Данный программный комплекс дает возможность с высокой точностью и уровнем реалистичности смоделировать процесс деформации материала в производственных условиях [13].

При моделировании параметры процесса были следующие: композиты были составлены из сплавов алюминия 5083/2024 и 5083/1070. Толщина исходной заготовки составляла 2 мм, модель трения была выбрана согласно закону Кулона, значение коэффициента трения приняли равным 0,3. Данное значение было подобрано исходя из ранее

проведенных экспериментов [14, 15]. Скорость вращения валков составляла 10 об/мин при диаметре в 250 мм. Показателем асимметрии являлась разность скоростей валков, в зависимости от варианта этот параметр варьировался от 10 до 50 %. Относительное обжатие во всех вариантах расчета было постоянным и равным 50 %.

Полученные результаты моделирования

Было проанализировано состояние границ двух соединяемых металлов в алюминиевых композитах. В частности, была выполнена оценка и анализ поведения слоев композита в очаге деформации. Скорость верхнего валка в асимметричном случае была выше скорости нижнего валка. При этом расположение слоев композита было следующим: верхний слой составлял сплав 5083 (более прочный), а нижний слой – 2024 или 1070 (более мягкий). Течение металлов на границе раздела оценивалось в пределах очага деформации.

В случае с прокаткой композита 5083/2024 поведение материала при изменении отношения скоростей валков имеет определенные закономерности (рис.2). Кривые имеют схожий вид, особенно в случаях симметричной прокатки и асимметричной с рассогласованием скоростей валков в 10 %, а также при рассогласовании скоростей валков в 20 и 40 %. При этом отклонение сплава 5083 от центральной оси композита наиболее ярко выражено именно при данных параметрах. Также с увеличением рассогласования скоростей валков верхняя граница уровня отклонения увеличивается от 0,015 до 0,08 мм. Резкие нижние и верхние экстремумы говорят о неравномерности деформации и неравномерном распределении слоев друг относительно друга.

При аккумулирующей прокатке композита 5083/1070 кривые имеют похожий вид (рис. 3). При увеличении рассогласовании скоростей валков происходит увеличение неравномерности деформации: это подтверждают значения уровня отклонения слоев металла друг от друга. Минимальные отклонения наблюдаются в случае симметричной прокатки в значениях 0,015 мм, тогда как при рассогласовании скоростей валков в 50 % показывает отклонение в 0,12 мм. Возрастание отклонения слоев от центра соединения заготовок происходит равномерно от случая к случаю. Соответственно при увеличении рассогласования скоростей валков наблюдается увеличение неравномерности деформации в интерметаллидном слое.

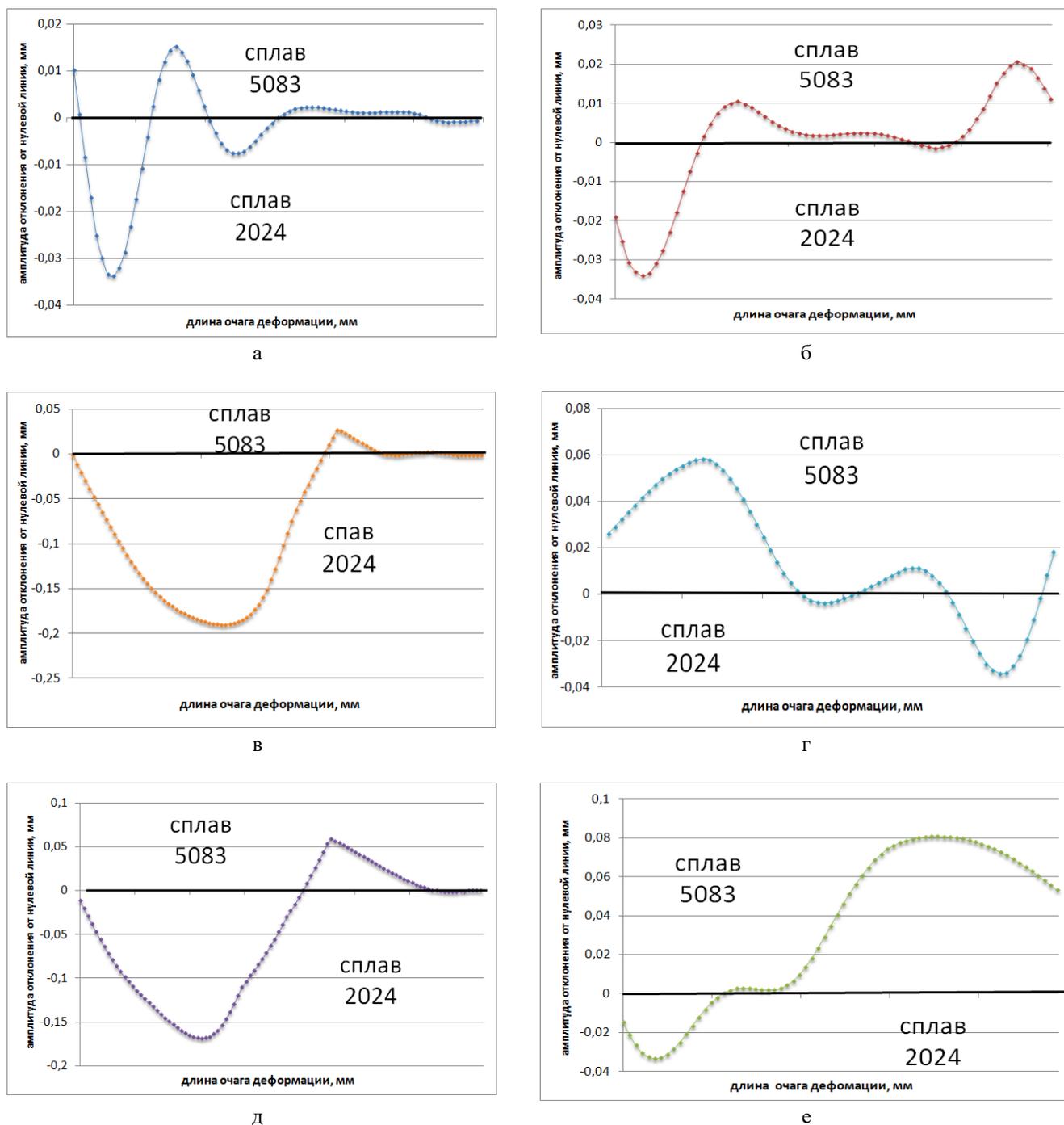
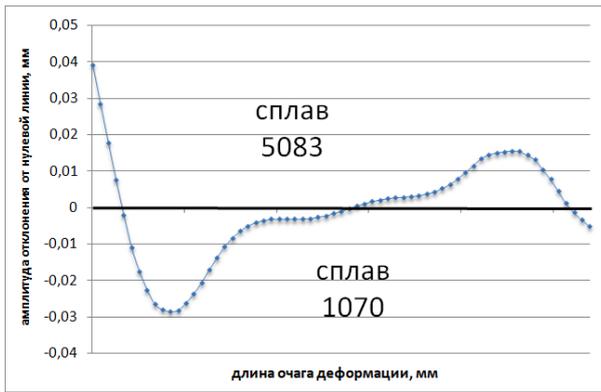
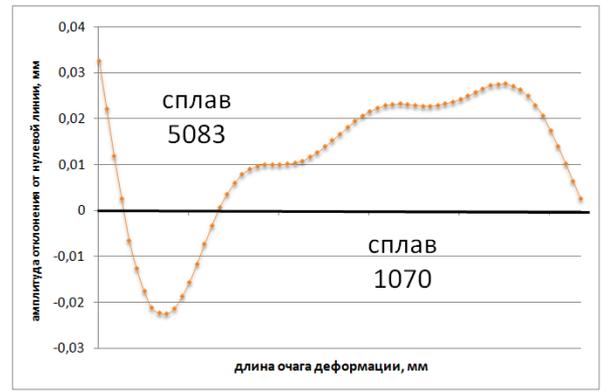


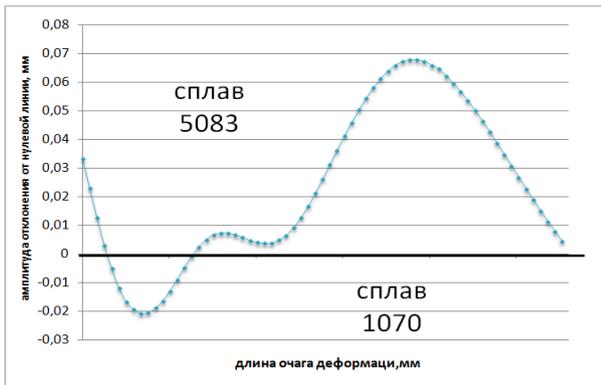
Рис. 2. Распределение слоев алюминиевых сплавов 2024 и 5083 по длине очага деформации (а – симметричная прокатка композита 5083/2024; б – асимметричная прокатка композита 5083/2024 при рассогласовании скоростей валков 10 %; в - асимметричная прокатка композита 5083/2024 при рассогласовании скоростей валков 20 %; г - асимметричная прокатка композита 5083/2024 при рассогласовании скоростей валков 30 %; д - асимметричная прокатка композита 5083/2024 при рассогласовании скоростей валков 40 %; е - асимметричная прокатка композита 5083/2024 при рассогласовании скоростей валков 50 %)



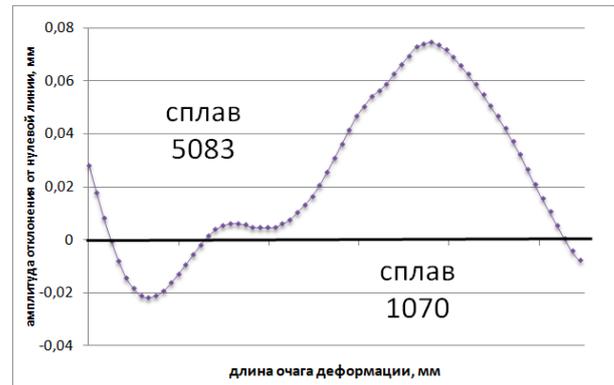
а



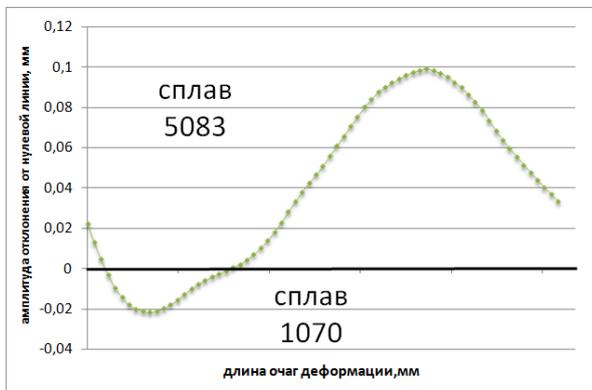
б



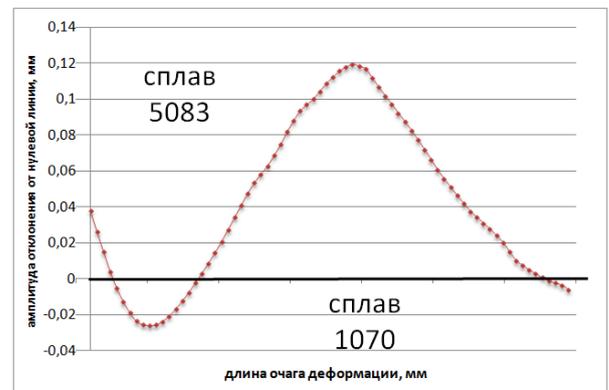
в



г



д



е

Рис.3. Распределение слоев алюминиевых сплавов 1070 и 5083 по длине очага деформации (а – симметричная прокатка композита 5083/1070; б – асимметричная прокатка композита 5083/1070 при рассогласовании скоростей валков 10 %; в - асимметричная прокатка композита 5083/1070 при рассогласовании скоростей валков 20 %; г - асимметричная прокатка композита 5083/1070 при рассогласовании скоростей валков 30 %; д - асимметричная прокатка композита 5083/1070 при рассогласовании скоростей валков 40 %; е - асимметричная прокатка композита 5083/1070 при рассогласовании скоростей валков 50 %)

Необходимо отметить, что неравномерность деформации обуславливается определенными причинами: особенностями оборудования и формоэлементами материала, наличием химических ликваций и распределением температуры по объему заготовки, условиями трения, деформациями и т.д.

[16]. В случае влияния всех этих факторов в совокупности, неравномерность деформации неизбежна.

Выводы

Аккумулирующая прокатка имеет свои преимущества перед подавляющим большинством

методов интенсивной пластической деформации. С ее помощью возможно получать мелкозернистую структуру. Было выявлено, что наибольшая неравномерность наблюдается при аккумулирующей прокатке композита 5083/2024 с обжатиями 50 % и значением коэффициента трения 0,3 при рассогласовании скоростей в 50 % - отклонение от оси среднего слоя суммарно составляет 0,135 мм. Наименьшие отклонения наблюдаются в случае симметричной прокатки и асимметричной с рассогласованием скоростей в 10 %. При обработке алюминиевых сплавов 5083/1070 наблюдается увеличение разницы распределения слоев по длине очага деформации при увеличении разности скоростей валков. Наименьшие отклонения соответствуют первому случаю, наибольшее отклонение составляет суммарно 0,148 мм. Для получения требуемой структуры при обжатиях в 50 % требуемое значение рассогласования скоростей валков должно составлять минимум 20 % для композита 5083/1070 и 40 % для 5083/2024.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (грант Президента Российской Федерации, контракт № 075-02-2018-347 от 16.11.2018 г.).

Список литературы

1. M. Heydari Vini Mechanical Properties and Microstructural Evolution of AA5083/Al₂O₃ composites Fabricated by Warm Accumulative Roll Bonding// Advanced Design and Manufacturing Technology. 2016. Vol. 9. No. 4. P. 10-17.
2. M. Heydari Vini Mechanical properties and bond strength of bimetallic AA1050/AA5083 laminates fabricated by warm-accumulative roll bonding // Canadian Metallurgical Quarterly. 2017. P.45-50.
3. Helbert A., Paillard P., Brisset F. Microstructure, mechanical properties and texture of an AA6061/ AA5754 composite fabricated by cross accumulative roll bonding Article in Materials Science and Engineering // Materials Science & Engineering. May 2015, vol. 640, no.1, 2015, pp. 235–242.
4. Reihanian M., Lari Baghal S.M., Haddadian F. K. A Comparative Corrosion Study of Al/Al₂O₃-SiC Hybrid Composite Fabricated by Accumulative Roll Bonding (ARB). //Journal of Ultrafine Grained and Nanostructured Materials, vol. 49, no.1, 2016, pp. 29-35
5. Salimia A., Borhanian E., Emadoddin E. Evaluation of Mechanical Properties and Structure of 1100-Al Reinforced with ZrO₂ Nano-Particles via Accumulatively RollBonded // Procedia Materials Science, no. 11, 2015, pp. 67 – 73.
6. Nie J., Liu M. Fabrication of Al/Mg/Al Composites via Accumulative Roll Bonding and Their Mechanical Properties // Materials .Vol. 951, no. 9, 2016, pp.1-14.
7. Ambrosy F., Zanger F. An Experimental Study of Cryogenic Machining on Nanocrystalline Surface Layer Generation Procedia CIRP No. 13, 2014, pp. 169 – 174.
8. Bermingham, M.J., Kirsch, J., Sun, S., Palanisamy, S., Dargusch, M.S. New observations on tool life, cutting forces and chip morphology in cryogenic machining Ti-6Al-4V //International Journal of Machine Tools and Manufacture. No. 51, pp. 500-511.
9. Развитие теории и технологии процесса асимметричной тонколистовой прокатки как метода интенсивной пластической деформации / А.М. Песин, Д.О. Пустовойтов, М.К. Свездлик; МОиНРФ, ФГБОУ ВО МГТУ им.Г.И. Носова. Магнитогорск 2017. 152 с.
10. Trojanova Z., Džugan K. Influence of Accumulative Roll Bonding on the Texture and Tensile Properties of an AZ31 Magnesium Alloy Sheets // Materials, vol. 11, no. 1, January 2018.
11. Pazhuhanfarb Y., Eghbalib E. Effect of Processing Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of Al6061/B4C Metal Matrix Composite Fabricated by Using Stir Casting, vol. 72, no. 2, November 2018.
12. Lenard J.G. Severe Plastic Deformation – Accumulative Roll Bonding book: Primer on Flat Rolling, December 2014.
13. Zvonov S., Klochkov Y. Computer-aided Modelling of a Latch Die Cutting in Deform -2D Software System Key Engineering Materials, vol. 685, pp. 811-815.
14. Pesin A.M., Pustovoytov D.O., Biryukova O.D. Study of deformed condition aluminium alloys 1070, 2024 and 5083 at asymmetric and package rolling by method final elements // Materials IIIrd international youth scientific and practical conference. 2018, №1. P. 3-5.
15. Pesin A.M., Pustovoytov D.O., Biryukova O.D. The effect of speed asymmetry on the strain state in aluminium bimetal during accumulative rolling // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 2018, №1, pp.1-4.
16. Singh B.M., Dhaliwal R.S. Asymmetric problem of a Grittith crack in a nonhomogeneous medium under shear // Journal of Elasticity, 1978, vol. 8, no. 3.

Сведения об авторах

Бирюкова Олеся Дмитриевна – аспирант кафедры технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. E-mail: fimapatisonchik@inbox.ru.

Пустовойтов Денис Олегович – канд. техн. наук, доцент кафедры технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. E-mail: pustovoitov_den@mail.ru.

Песин Александр Моисеевич – д-р техн. наук, профессор кафедры технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. E-mail: pesin@bk.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE RESEARCH OF ACCUMULATIVE ROLL BONDING AS A METHOD OF PROCESSING ALUMINUM COMPOSITES 5083/2024 AND 5083/1070

Biryukova Olesya Dmitrievna - Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: fimapatisonchik@inbox.ru.

Pustovoitov Denis Olegovich - Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: pustovoitov_den@mail.ru.

Pesin Alexander Moiseevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: pesin@bk.ru

***Abstract:** The process of accumulative roll bonding of aluminum bimetallic composites 5083/2024 and 5083/1070 is considered. The calculated characteristics of the process based on modeling in the software package DEFORM 2D are presented. The state of the boundaries of the coupled metals in bimetallic composites is analyzed. The results, that allow to evaluate the regularities of plastic flow of the coupled dissimilar metals in the deformation zone during accumulative roll bonding, were obtained, as well as possibility to study some features of the intermetallic layer formation.*

***Keywords:** asymmetric rolling, aluminum alloys, severe plastic deformation, ultrafine-grained structure, accumulative roll bonding.*

Ссылка на статью:

Бирюкова О.Д., Пустовойтов Д.О., Песин А.М. Исследование метода аккумулирующей прокатки как способа обработки алюминиевых композитов 5083/2024 и 5083/1070 // Теория и технология металлургического производства. 2019. №2(29). С. 37-42.

Biryukova O.D., Pustovoitov D.O., Pesin A.M. The research of accumulative roll bonding as a method of processing aluminum composites 5083/2024 and 5083/1070 *Teoriia i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 29, no. 2, pp.37-42.