

УДК 620.186

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФРИКЦИОННОЙ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ АДДИТИВНО-ПОЛУЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТА РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Е.О. Княжев^{1,2}, А.О. Панфилов^{1,2}, А.В. Гусарова¹

Научный руководитель: к.т.н. А.В. Чумаевский¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
Россия, г. Томск, пр. Академический 2/4, 634055

E-mail: tch7av@gmail.com

REGULARITIES OF FRICTION STIR PROCESSING OF ADDITIVE-OBTAINED MATERIALS USING TOOLS OF DIFFERENT CONFIGURATIONS

E.O. Knyazhev^{1,2}, A.O. Panfilov^{1,2}, A.V. Gusarova¹

Scientific Supervisor: Ph.D., A.V. Chumaevskii¹

¹Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

²Institute for Physics of Strength and Material Science of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Russia, Tomsk, 2/4 Akademicheskii ave., 634055

E-mail: tch7av@gmail.com

***Abstract.** The regularities and mechanisms of friction stir processing of materials obtained by the additive electron-beam wire technology were considered at this work. The studies carried out indicate a significant influence on the structure of the mixing zone of the parameters of the processing process and the configuration of the pin of the tool. Depending on the material of the workpieces being processed, various features of machining with a screw or square pin are possible. The instabilities that arise during the processing of additive-obtained products are associated with the structure of the material and the configuration of the tool pin.*

Введение. В настоящее время технологии аддитивного производства металлических материалов интенсивно развиваются в виду растущих потребностей промышленности [1, 2]. Развитие аддитивных технологий приводит к появлению всё более производительных и энергоэффективных методов изготовления образцов. Одними из технологий, позволяющих изготавливать наиболее крупногабаритные изделия с высокой скоростью, являются электродуговая, лазерная и электронно-лучевая провололочные технологии. Электронно-лучевая аддитивная технология с провололочным филаментом позволяет получать изделия со сложно и композитной структурой, с плавным переходом от одного материала - к другому [2]. К положительным качествам технологии можно отнести также и плавное изменение теплового баланса в системе, позволяющее получать образцы с крупнокристаллической и практически бездефектной структурой. Но, в материале с крупнокристаллической структурой основным недостатком является формирование достаточно низких механических свойств. По этой причине имеет актуальность упрочнения поверхностного слоя для придания ей удовлетворительных механических и/или

трибологических свойств. Одним из методов получения упрочненного поверхностного слоя алюминиевых сплавов является фрикционная перемешивающая обработка [3]. Применительно к аддитивным материалам с помощью такой обработки возможно удаление дефектов структуры, повышение прочностных свойств при снижении пластичности материала [4]. Одним из возможных путей повышения качества зоны перемешивания после фрикционной перемешивающей обработки является применение инструментов с различной конфигурацией, что до настоящего времени при сварке или обработке трением с перемешиванием аддитивно-полученных образцов не производилось. Целью настоящей работы является выявление особенностей процесса обработки и получаемой структуры образцов сплава АМг5, полученных методом фрикционной перемешивающей обработки.

Экспериментальная часть. Образцы получали методом электронно-лучевой аддитивной технологии и подвергали фрикционной перемешивающей обработке на экспериментальном оборудовании в ИФПМ СО РАН. Образцы изначально получали аддитивной электронно-лучевой проволоочной технологией в виде блоков в виде параллелепипедов из алюминиевого сплава АМг5. После изготовления блоков аддитивным методом производили фрикционную перемешивающую обработку инструментом с различной конфигурацией пина (стандартный винтовой пин и пин квадратного сечения). Исследования структуры материалов проводили на оптических микроскопах Olympus LEXT 4100 и Altamі MET 1С.

Результаты. Структура алюминиевого сплава в зоне фрикционной перемешивающей обработки пином винтового типа представлена стандартным типом зоны перемешивания, описанном в ранее проведенных работах [4]. При обработке инструментом квадратного сечения зона перемешивания существенно отличается, при этом сохраняя типичный для фрикционной перемешивающей обработки/сварки вид с наличием кольцевых концентрических структур (рис. 1). В отличие от обработки инструментом с винтовым пином, в данном случае более четко выделяется зона перемешивания от плеч инструмента и в существенной степени изменяется строение кольцевых образований зоны перемешивания (рис. 2). Более резкие границы кольцевых образований и их угловатая форма обусловлены формой инструмента и иными характеристиками адгезионного контакта алюминиевого сплава и инструмента. При этом, механические свойства зоны перемешивания находятся также, как и в случае пина винтовой формы, находятся на уровне прочности листового проката соответствующего сплава и существенно превышают свойства аддитивно-полученных слоёв.



Рис. 1. Макроструктура зоны обработки аддитивно-полученного образца сплава АМг5

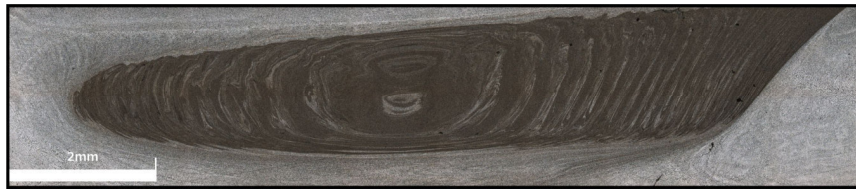


Рис. 2. Формирование зоны перемешивания

В строении граничной области между зоной перемешивания, зоной термического и термомеханического влияния дефектов структуры не выявляется, и она имеет типичный в том числе для обработки винтовым пином вид. В зоне термомеханического влияния структура сплава постепенно изменяется и происходит измельчение зерен с образованием ультрамелкодисперсной зеренной структуры.

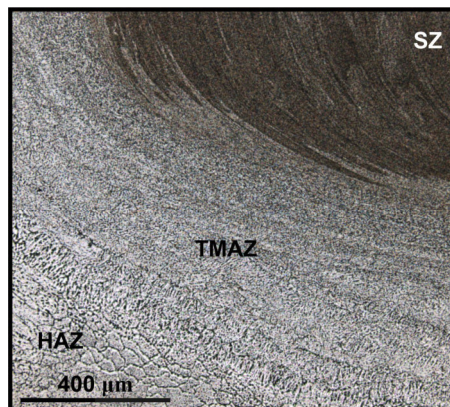


Рис. 3. Граница зоны перемешивания, термомеханического и термического влияния

Заключение. В результате проведенной работы выявлено, что в процессе фрикционной перемешивающей обработки инструментом с различной конфигурацией аддитивно полученных материалов выявлено, что от конфигурации инструмента зависит как стабильность процесса обработки, так и закономерности процесса перемешивания материала. По аналогии с ранее проведенными работами в зоне перемешивания проводилось устранение дефектов и повышение механических свойств. Дефектов в структуре зоны перемешивания после обработки не выявлялось [4]. Дополнительным эффектом смены конфигурации инструмента являлось четкое разделение структуры зоны перемешивания от пина инструмента и от плеч инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. DebRoy T., Wei H.L., Zuback J.S. et al. Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties // Progress in Materials Science. – 2017. – V.92. – P. 112-224.
2. Shu X., Chen, G. Liu, J., Zhang B., Feng J. Microstructure evolution of copper/steel gradient deposition prepared using electron beam freeform fabrication // Materials Letters. – 2018. – V. 213. – 374–377.
3. Mishra R.S., Ma Z.Y., Charit I. Friction stir processing: A novel technique for fabrication of surface composite // Materials Science and Engineering A. – 2003. – V. 341 (1-2). – pp. 307-310.
4. Kalashnikova T.A., Chumaevskii A.V., Rubtsov V.E., Kalashnikov K.N., Kolubaev E.A., Eliseev A.A. Structural heredity of the aluminum alloy obtained by the additive method and modified under severe thermomechanical action on its final structure and properties // Russian Physics Journal. – 2020. – V. 62 (9). – P. 1565-1572.