

Авторами были выявлены оптимальные условия формирования МАХ-фаз при обработке титанового сплава ВТ-1 электронным пучком в вакууме. Представлены результаты исследования прочностных характеристик, термических свойств композиционных слоев. Выполнено термодинамическое моделирование фазовых равновесий в системах Ti–Si–C и Ti–B–C в условиях высокого вакуума. Рассматривается поэтапное построение математической модели тепловых полей, возникающих при воздействии сфокусированного электронного пучка, перемещающегося по поверхности образца титанового сплава ВТ-1 с применением программного пакета COMSOL Multiphysics (рис. 1). С помощью программного комплекса TERRA выполнено моделирование фазовых равновесий в системе Ti–B–C [3]. Температурный интервал расчетов составлял 300–4500 К. Общее давление в системе варьировалось в диапазоне от 10^5 до 10^{-3} Па. На рис. 2 представлены изотермы при давлении 10^{-3} Па.

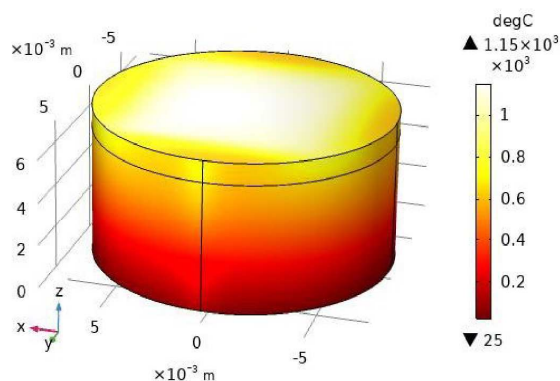


Рис. 1. Распределение температур через 60 секунд обработки образца электронным пучком.

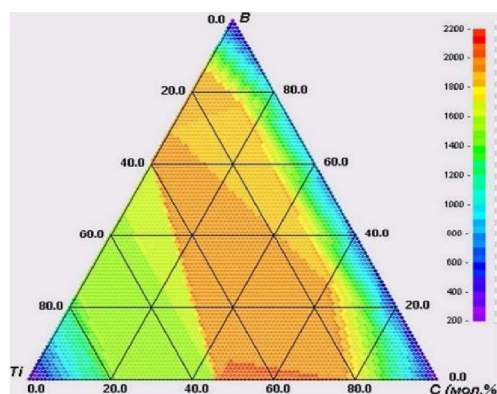


Рис. 2. Изотермы в системе Ti–B–C при $P = 10^{-3}$ Па.

Полученные данные подтверждают, что двойная система Ti–B₄C не является квазибинарным разрезом тройной системы Ti–B–C. В системе Ti–B₄C возможно образование карбидов титана, боридов титана, бора, углерода. Процессы образования карбидов и боридов титана протекают с выделением значительного количества энергии, тем самым повышая температуру в системе до $2000 \div 2150$ К ($P = 10^5$ Па) и $1600 \div 1725$ К ($P = 10^{-3}$ Па).

Литература

1. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В. Основы электронно-лучевой обработки материалов. М.: Машиностроение, 1978. 239 с.
2. Lapina A.E., Smirnyagina N.N., Khaltanova V.M. // J. Phys.: Conf. Ser. 2064. 012095. DOI:10.1088/1742-6596/2064/1/012095
3. Smirnyagina N.N., Khaltanova V.M., Dashev D.E., Lapina A.E. // J. Phys.: Conf. Ser. 830. 012110. DOI: 10.1088/1742-6596/830/1/012110

ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛИ 5ХВ2С ПРИ КОВКЕ ПОКОВОК В БОЙКАХ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ

С. Н. Лежнев¹, А. Б. Найзабеков¹, Е. А. Панин², Д. В. Куис³

¹ Рудненский индустриальный институт, Рудный, Республика Казахстан

² Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Республика Казахстан

³ Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь
sergey_legnev@mail.ru

Применяемые в настоящее время в кузнечно-прессовом производстве технологииковки и оборудование для их реализации чаще всего уже давно устарели и требуют усовершенствования и модернизации, так как они в большинстве случаев малоэффективны и не обеспечивают получение поковок и заготовок заданного качества, или же обеспечивают, но при значительных энерго- и трудозатратах.

Так, например, одна из основных кузнечных операций – протяжка, очень часто реализуемая в настоящее время в действующих кузнечно-прессовых цехах до сих пор в плоских бойках, протекает

не только в условиях неравномерного течения металла по высоте, но и при значительных растягивающих напряжениях, вследствие наличия сил трения на контактной поверхности. Все это существенно снижает качество получаемых поковок и заготовок.

Поэтому уже не одно десятилетие основным направлением совершенствования процессов проковки литого металла является достижение в нем однородности напряженного и деформированного состояний, воздействием, обеспечивающим реализацию сдвиговых или знакопеременных деформаций во всем объеме деформируемого металла. Во многих случаях, это может быть достигнуто совершенствованием конфигурации кузнечного инструмента.

Целью данной работы являлось исследование влияния процессаковки в инструменте новой конструкции, реализующем знакопеременные деформации во всем объеме деформируемой заготовки круглого поперечного сечения, на эволюцию микроструктуры стали марки 5XB2C.

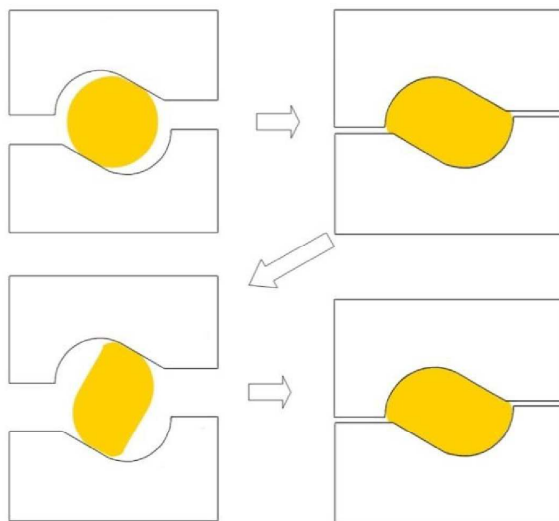
Лабораторный эксперимент по деформированию заготовок в бойках новой конструкции, реализующих знакопеременную деформацию, проведен на базе лаборатории кафедры «Обработка металлов давлением» Карагандинского индустриального университета на гидравлическом прессе ПБ 6330-02 усилием 1000 кН.

Для проведения лабораторного эксперимента по изучению влияния новой технологииковки поковок в бойках новой конструкции на эволюцию микроструктуры и изменение механических свойств были подготовлены заготовки из экономнолегированной марки стали 5XB2C размерами $D \times L = 40 \times 250$ мм. Для восстановления начальной структуры заготовок из стали 5XB2C их перед деформированием подвергали отжигу при температуре 700°C с выдержкой 40 минут в камерной печи сопротивления.

Деформирование заготовок осуществляли следующим образом. Заготовки из стали 5XB2C нагревали до температуры началаковки 1000°C (в соответствии с результатами компьютерного моделирования, полученными ранее [1]), а затем их подавали в бойки новой конструкции и деформировали по схеме, представленной на рисунке. Далее, чтобы приблизить форму поперечного сечения продеформированной заготовки к круглой, нами была осуществлена серия обжатий заготовки в данных бойках с кантовкой ее на 45° сначала, а потом и на 30° . В результате получены заготовки с формой поперечного сечения, приближенной к кругу и имеющие диаметр 30 мм.

Для проведения сравнительного анализа вторая партия заготовок из стали марки 5XB2C аналогичного типоразмера была подвергнута протяжке в плоских бойках до диаметра 31,4 мм, т.е. с уковом 1,78.

Для изучения микроструктуры из всех продеформированных заготовок из стали 5XB2C на отрезном станке для влажной абразивной резки BRILLANT 230 ATM были вырезаны темплеты в продольном и поперечном направлениях, и подготовлены микрошлифы на полировально-шлифовальном станке SAPFIR 520. Также были подготовлены микрошлифы из исходных не деформированных (после отжига) заготовок. Подготовленные микрошлифы были протравлены в следующем реактиве: 10 мл 4 %-ного спиртового раствора пикриновой кислоты, 10 мл 5 %-ного спиртового раствора азотной кислоты [2].



Бойки новой конструкции и схема деформирования заготовок в них.

Проведенный с помощью оптической микроскопии на микроскопе Olympus BX63M микроструктурный анализ показал, что микроструктура недеформированной стали марки 5XB2C представляет собой равномерное распределение перлита и феррита в соотношении 63 % и 47 % соответственно. Проведенный предварительный отжиг за счет полной перекристаллизации металла позволил получить равноосную структуру со средним размером зерна 49 мкм. За счет отжига произошло полное снятие внутренних напряжений, и данный металл обладает хорошей пластичностью и вязкостью, что так необходимо для проведения последующейковки.

Анализ микроструктуры продеформированных заготовок из стали марки 5XB2C показал, чтоковка по действующей технологии в плоских бойках с уклоном 1.78 приводит к незначительному измельчению зерна, также наблюдается неравномерное распределение структуры: в продольном сечении заготовки происходит формирование более мелких зерен (средний размер зерен 34 мкм), чем в поперечном направлении (средний размер зерен 40 мкм). При этом микроструктура характеризуется наличием как рекристаллизованных, так и деформированных зерен.

Послековки заготовок из стали 5XB2C по предлагаемой технологии в новом кузнечном инструменте, реализующем знакопеременную деформацию, полученная структура металла сохранила свое феррито-перлитное состояние, но произошла ее фрагментация на более мелкие зерна с большим количеством дислокаций, распределенных в основном по границам зерен. При этом получена практически однородная структура как в продольном, так и поперечном сечениях. Но карбидные фазы распределены не равномерно. Структура перлитных колоний претерпела существенные изменения, заключающиеся в утонении и дроблении цементитных пластинок. Средний размер зерен феррита составил 22 мкм, перлита 21 мкм.

Вывод: анализ результатов проведенных металлографических исследований показывает, что развитие значительных знакопеременных деформаций во всем объеме деформируемого тела, при деформировании заготовок из стали 5XB2C в предлагаемом кузнечном инструменте позволяет лучше прорабатывать литую структуру металла с получением мелкого равноосного зерна по всему объему деформированной заготовки без существенного изменения ее исходных размеров по сравнению с ковкой аналогичных заготовок по действующей технологии в плоских бойках.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP09259236).

Литература

1. *Lezhnev S., Naizabekov A., Panin E. et al. // XVIII Int. Congress «Machines, Technologies, Materials», Bulgaria. Proceedings, 2021. Vol. 3. P. 282.*
2. *Баранова Л.В., Демина Э.Л. Металлографическое травление металлов и сплавов. М: Металлургия, 1986. 256 с.*

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ TiAl, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

П. А. Логинов, Г. М. Марков, Е. А. Левашов

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва
pavel.loginov.misis@list.ru*

Жаропрочные сплавы на основе алюминидов γ -TiAl / α_2 -Ti₃Al широко применяются в авиационной и космической промышленности благодаря низкой плотности ($\rho = 3.7\text{--}4.5 \text{ г/см}^3$) и высокой удельной прочности. По этим характеристикам сплавы на основе TiAl конкурируют и даже превосходят никелевые суперсплавы ($\rho = 8\text{--}9 \text{ г/см}^3$) и сплавы на основе NiAl ($\rho = 5.9\text{--}6.0 \text{ г/см}^3$).

Сплавы γ -TiAl / α_2 -Ti₃Al производят следующими методами: литьем с последующей термообработкой [1, 2], вакуумным дуговым переплавом и горячим изостатическим прессованием (ГИП) [3], селективным лазерным спеканием [4]. Альтернативой указанным методам являются методы порошковой металлургии, в частности, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) с последующей консолидацией порошка методом ГИП. Метод СВС широко