II МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР
КРАСНОЯРСК
30 июля 2021

ADVANCES in Materials Science

ДНИТ Красноярский ДОМ НАУКИ И ТЕХНИКИ

«AMS-II 2021: Достижения в материаловедении»

«Изготовление изделий конической формы из хромовой бронзы CuCr1 методом проволочной электронно-лучевой аддитивной технологии»

Гусарова А.В., Чумаевский А.В., Гурьянов .Д.А. и др.

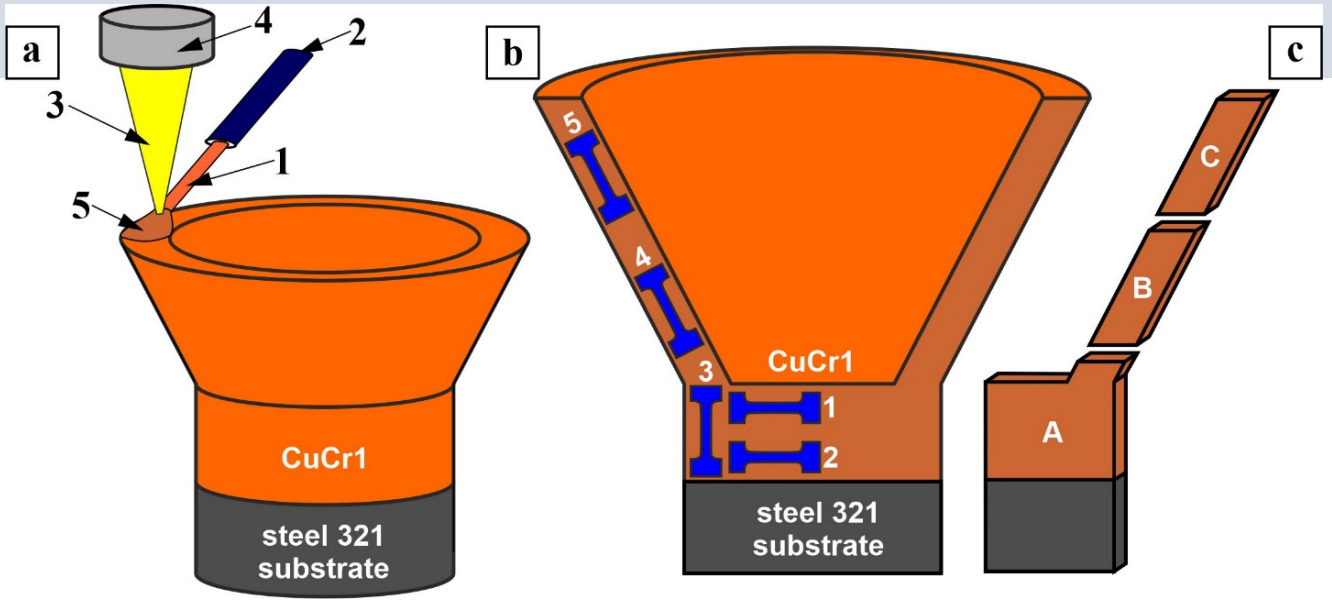
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

ИФПМ СО РАН

Введение

- Одними из изделий, активно применяемых в современной ракетно-космической сфере, являются различные вкладыши из меди и медных сплавов, встраиваемых в сопла реактивных двигателей для отвода тепла из рабочей зоны.
- Изготовление изделий оболочечного типа в виде конических или цилиндрических заготовок методами аддитивного производства позволяет существенно снизить затраты на обработку и количество материала, уходящего в отходы.
- По этой причине изделия данного типа также целесообразно изготавливать с использованием высокопроизводительных методов аддитивных технологий.
- Исходя из перечисленного, целью настоящей работы является получение изделий конической формы из жаропрочной хромовой бронзы CuCr1 методом аддитивной электронно-лучевой технологии.

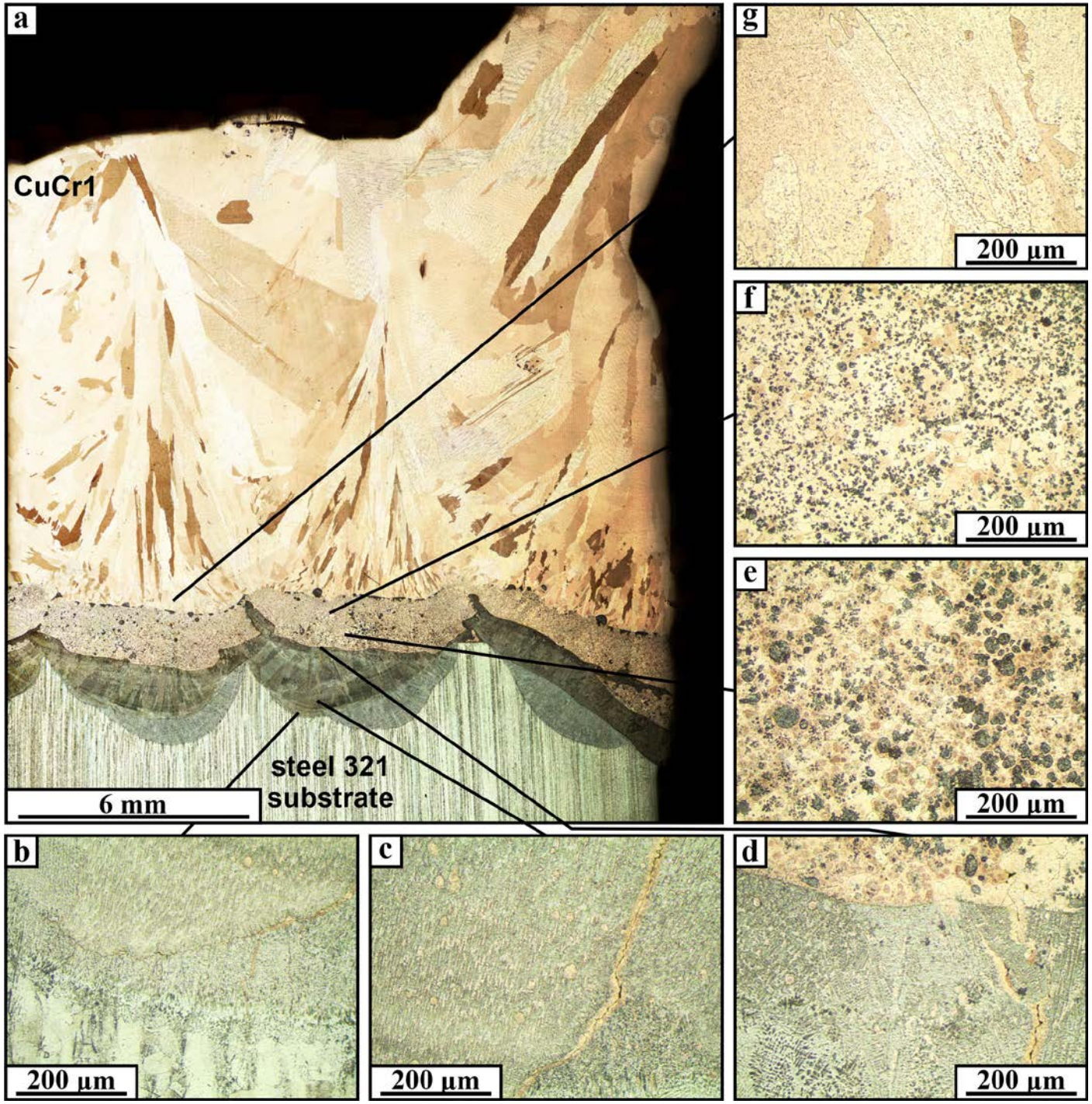
- Схема процесса печати (a) и вырезки образцов для механических испытаний (b) и структурных исследований (c) после аддитивного электронно-лучевого получения.
- Внешний вид полученных образцов



Образцы получали методом электронно-лучевой аддитивной технологии по схеме, представленной на рисунке 1,a. Филамент 1, подаваемый в зону печати через сопло 2, расплавлялся электронным пучком 3 от источника 4 с образованием ванны расплава 5. Для печати использовали филамент из бронзы CuCr1 диаметром 1,6 мм.

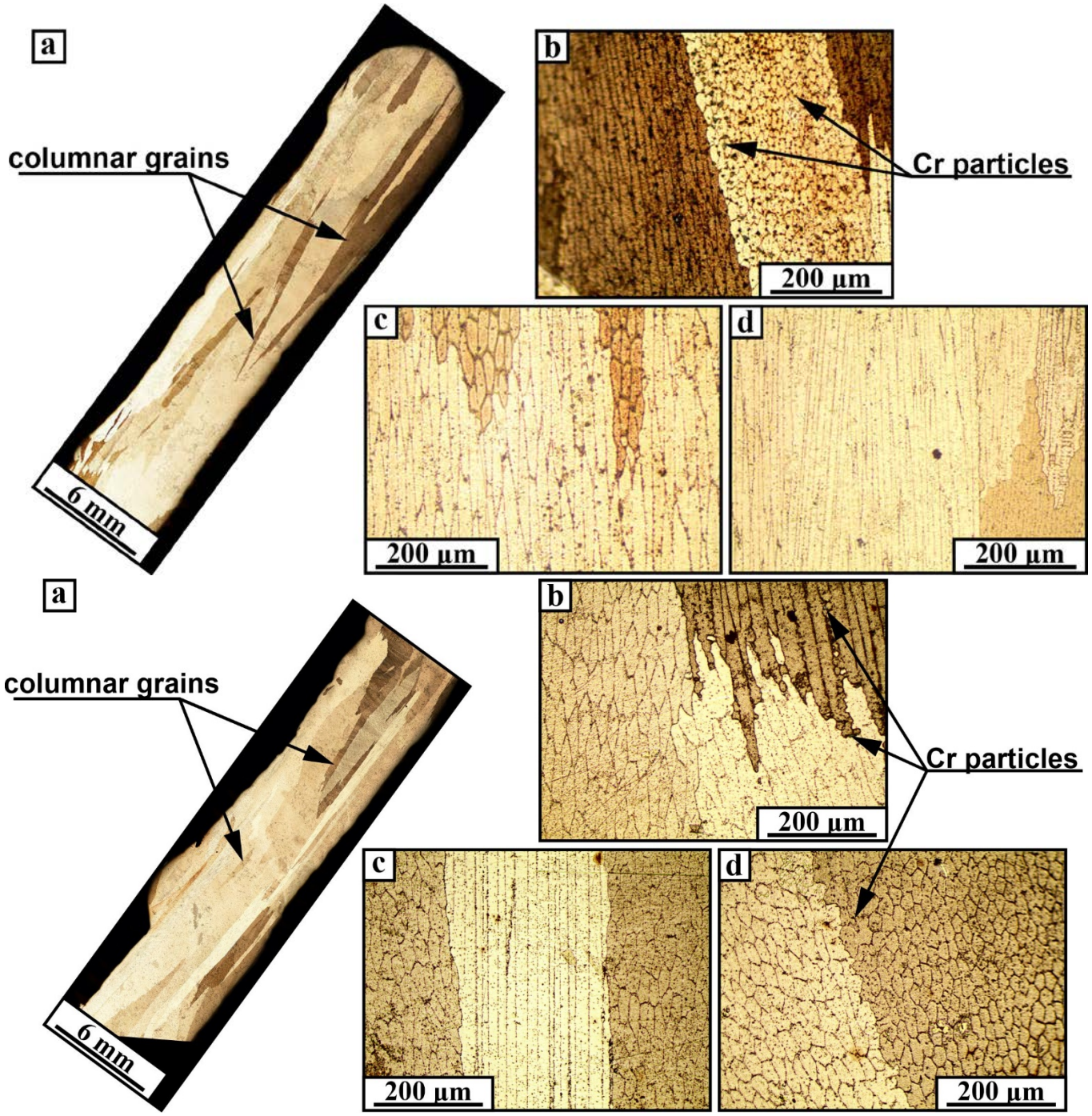
Диаметр конуса у основания составлял 60 мм, диаметр в верхней части 125 мм, общая высота конической и цилиндрической частей заготовки - 80 мм. Исследование механических свойств образцов осуществляли на образцах, вырезанных в соответствии со схемой, представленной на fig. 1,b.

ADVANCES in Materials Science



• Структура участка вблизи основания. Макроструктура (a) и увеличенные изображения локальных участков (b-g)

- Структура бронзы CuCr1 существенно зависит от локальных областей полученных образцов. Вблизи основания наблюдается формирование мелкокристаллической структуры с постепенным укрупнением зерна к верхней части изделия (a).
- В зоне контакта наплавляемого материала с подложкой происходит оплавление стали с замешиванием в неё медного сплава в подложку (b).
- При нанесении первых слоёв помимо оплавления подложки происходит её растрескивание по причине реализации внутренних напряжений и снижения механических свойств в нагретом состоянии.
- Трещины в оплавленном слое практически полностью заполняются медным сплавом (c,d) аналогично процессам, происходящим при печати медным филаментом.
- Выше располагается слой с преимущественно бронзовой структурой с внедренными в материал крупными округлыми частицами стали размером, достигающим 100 мкм и более (e).
- В верхней части данного слоя размер частиц снижается до не превышающего 20-30 мкм (f). Но, по границе данного слоя всё-таки присутствуют крупные частицы стали (a).
- В более верхних слоях присутствуют только мелкие частицы (g). Ориентация вытянутых зерен в верхней части цилиндрического участка изделия соответствует направлению отвода тепла при печати.



• Структура участка вверху конической зоны

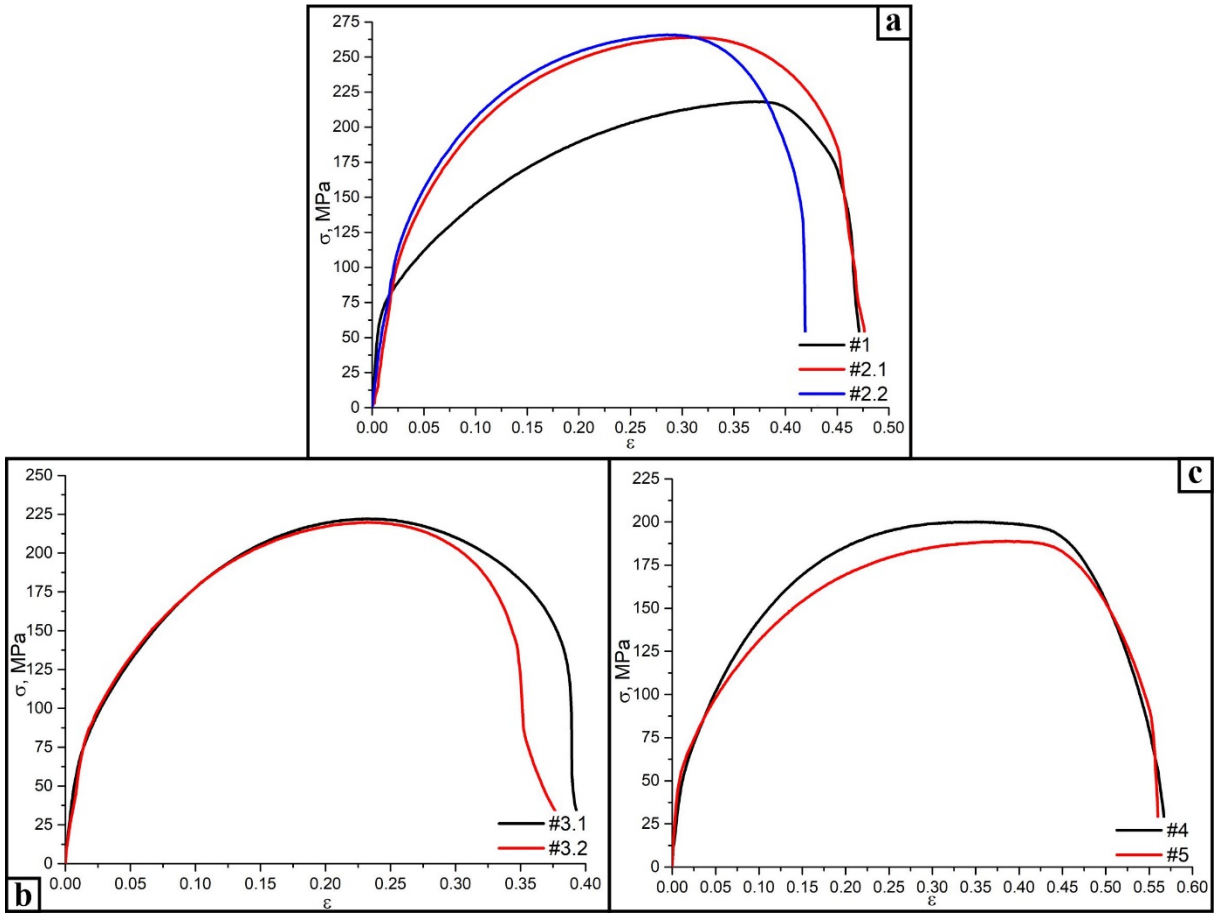
При переходе к конической части образца ориентация зерен в материале изменяется, так как изменяются при печати меняются закономерности процесса отвода тепла (a). В данном случае рост дендритов происходит не вертикально, а вдоль конической части с образованием ярко выраженной направленной структурой из столбчатых зерен. В верхней (b), центральной (c) и нижней (d) частях данной зоны происходит образование близкой по типу структуры из медных дендритов с формирующимися между осями дендритов частицами хрома.

• Структура участка внизу конической зоны

В верхней части образца образующаяся структура представлена аналогичным строением с вышеописанным случаем.
Также происходит образование крупнокристаллической структуры с ориентацией столбчатых зерен вдоль направления отвода тепла (a). Структура также представлена дендритами меди с распределенными в междендритном пространстве частицами хрома (b). Структура на различных участках данной области представлена практически идентичным строением, с небольшими отличиями в верхней (b), средней (c) и нижней частях (d).

ADVANCES in Materials Science

• Механические свойства образцов, вырезанных из различных участков изделия в соответствии со схемой



- Механические свойства полученных образцов, определенные в испытаниях на растяжение, проявляют зависимость свойств от локальных областей вырезки и ориентации лопаток. В горизонтальном направлении в цилиндрической области №1 и №2 (а) механические свойства изменяются за счет замешивания в нижней части образцов стали от подложки. В то время, как для образца из верхней части цилиндрического участка предел текучести составляет 60 МПа, предел прочности 213 МПа, а пластичность 35%, для образцов, вырезанных из зоны вблизи подложки, предел текучести составляет 112 МПа, предел прочности - 263 МПа и пластичность 26 %.
- В вертикальном направлении для цилиндрического участка образца механические свойства бронзы CuCr1 находятся на близком уровне (b). Предел текучести образцов в среднем составляет 67 МПа, предел прочности - 219 МПа, что находится на уровне образцов, испытанных в горизонтальном направлении. При этом, пластичность в данном случае существенно ниже и составляет в среднем 20%, что в 1,75 раза ниже, чем в горизонтальном направлении.
- Для образцов, вырезанных вдоль конусной части образца №4 и №5 (с) механические свойства также находятся на достаточно близком уровне. Для образцов характерны высокие значения относительного удлинения после разрыва до 35%, невысокие значения предела текучести (58 МПа) и предела прочности (188-200 МПа). Соответственно, для данных образцов механические свойства более близки к образцам, вырезанным в горизонтальном направлении из цилиндрического участка, чем в вертикальном, что было бы более ожидаемо.

Выводы

- Структура металла в основной части детали представлена крупными столбчатыми зернами, вытянутыми в направлении отвода тепла при печати.
- Внутри зерен четко прослеживается дендритная структура с локализованными между ветвями дендритов частицами хрома.
- В нижней части образцов вблизи подложки замешивается сталь от материала основы и механические свойства повышаются.
- В основном объеме изделия средние значения пластичности образцов в различных направлениях приложения усилия колеблются от 20 до 37,5%, предела текучести от 58 до 67 МПа, а предела прочности от 188 до 219 МПа.
- В целом, полученная структура и механические свойства в образцах типичны для процесса электронно-лучевой печати меди и её сплавов при получении образцов простой формы. Влияние формы изделия дополнительно оказывает лишь небольшое воздействие на получаемую структуру и свойства.

Контакты

Гусарова А.В., Чумаевский А.В., Гурьянов Д.А. и др.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

E-mail: tch7av@gmail.com

II МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР
КРАСНОЯРСК
30 июля 2021

«AMS-II 2021: Достижения в материаловедении»