

.....

# CAMSTech-II-2021: Современные достижения в области материаловедения и технологий

.....

Features Of Structure And Property Formation During Wire-Feed  
Electron Beam Additive Manufacturing Of CuCr1 Chromium Bronze  
Products

Chumaevskii A.V., Kalashnikova T.A., Gurianov D.A., Gusarova A.V., Osipovich K.S.,  
Beloborodov V.A., Sokolov P.S.

# Актуальность



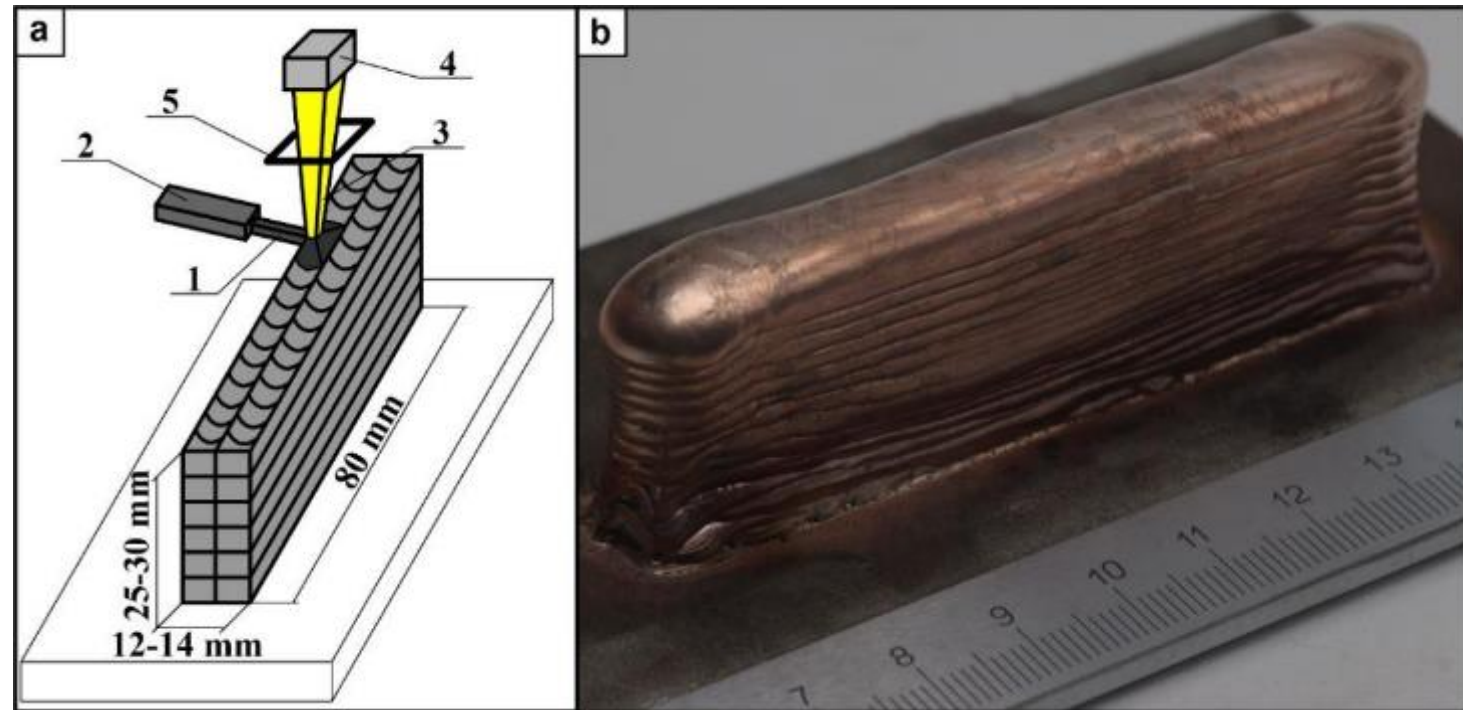
- В настоящее время возможности аддитивных технологий могут способствовать снижению затрат на производства различных деталей авиационной и ракетно-космической сферы, в том числе «шар-баллонов», вкладышей сопел ракетных двигателей, конструктивных элементов и т.д.
- В современной литературе имеется достаточно мало данных по применению для печати медных и/или бронзовых вкладышей высокопроизводительными методами аддитивного производства, в том числе проволочной электронно-лучевой аддитивной технологии.
- Целью данной работы является получение первичных данных по аддитивному электронно-лучевому производству изделий из хромовой бронзы БрХ08.





## Методика эксперимента

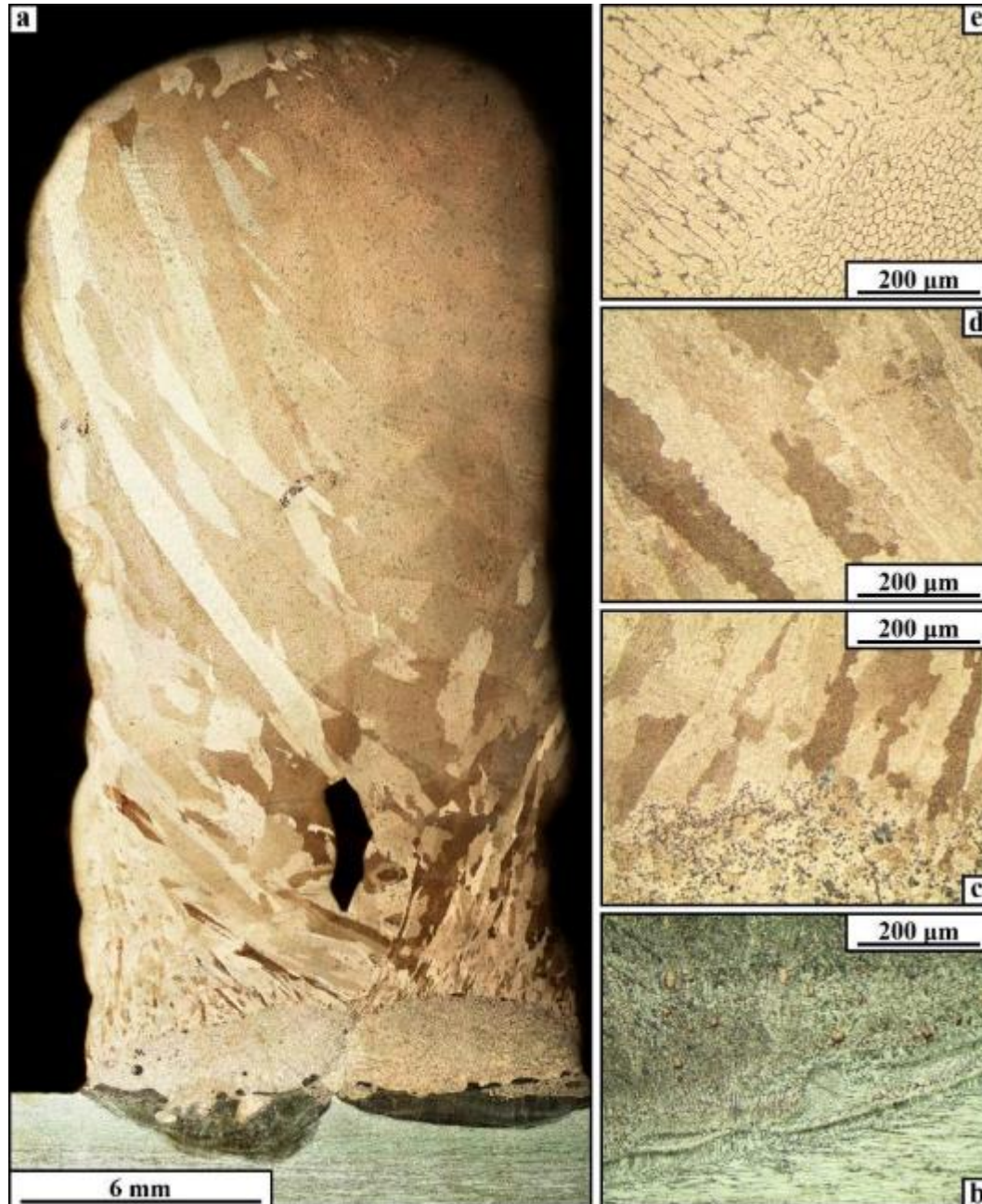
- В работе получены образцы в виде вертикальных стенок из хромовой бронзы по стандартной для метода проволоочной электронно-лучевой печати схеме
- (1 - филамент, 2 - сопло, 3 - луч, 4 - источник, 5 - система фокусировки)



# Макроструктура полученных образцов

Структура образцов изменяется от нижней части с мелкокристаллическим строением до верхней части с крупными столбчатыми зернами.

Ориентация столбчатых зерен достаточно сложная и определяется в основном направлением отвода тепла при печати.



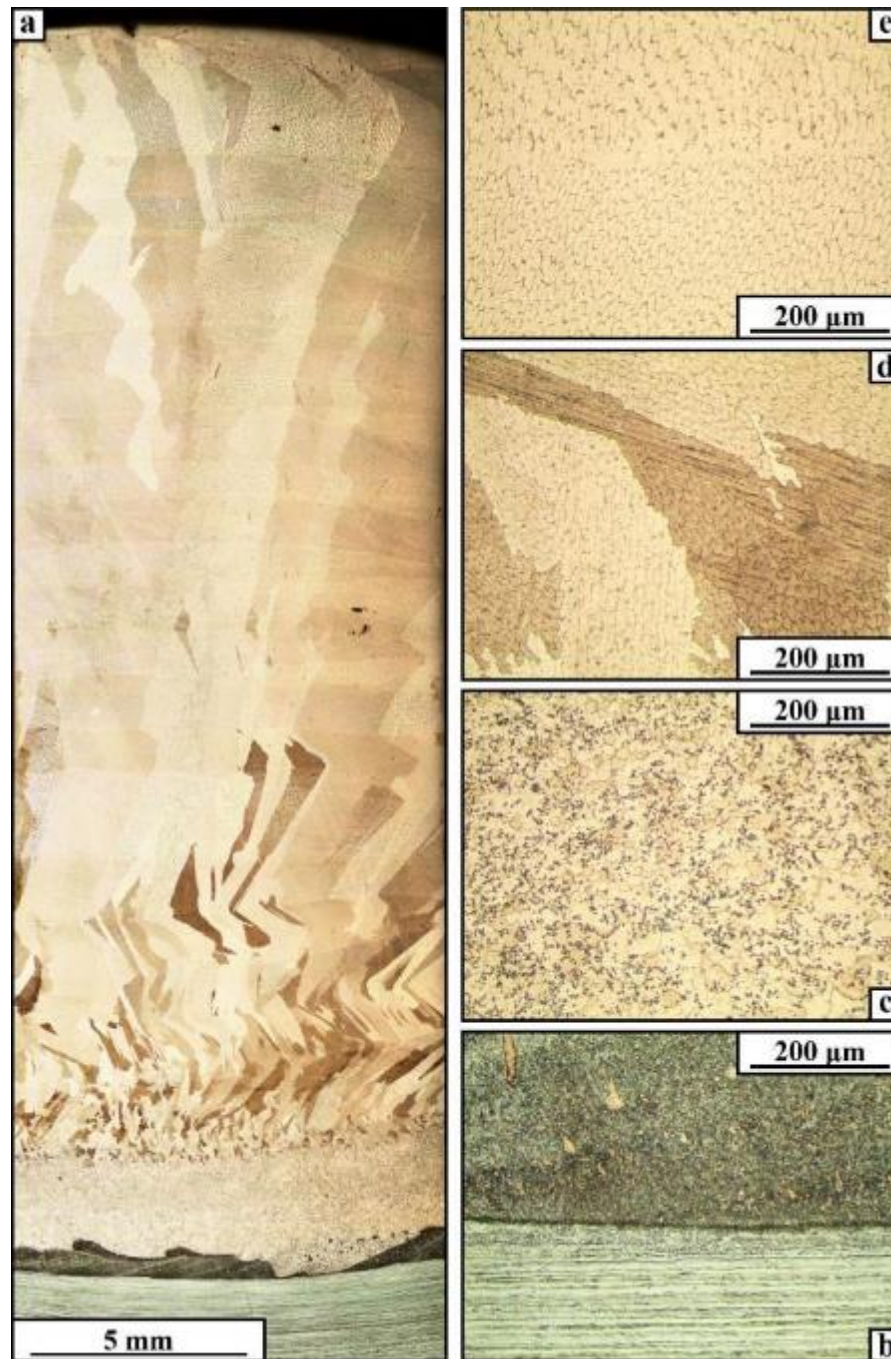
Структура образцов в поперечном сечении.

- а – общий вид;
- b – граница со стальной подложкой;
- с – переход от границы к зоне со структурой бронзы без включений
- d – структура металла в нижней трети образца
- е – структура в верхней части образца



# Макроструктура полученных образцов

Отличительной особенностью структуры в продольном сечении является её разнонаправленность в слоях, находящихся на разной высоте (fig. 3, a). Действительно, особенностью печати по выбранной схеме с возвратно-поступательным перемещением образца при печати является изменение ориентации роста кристаллов на противоположное при переходе от слоя - к слою. По этой причине крупные зерна с дендритным строением, проходящие через несколько слоёв нанесенного материала, имеют ступенчатое строение. К верхней части образца общий прогрев системы приводит к тому, что изменение направления роста зерна происходит в меньшей степени, чем в нижней части.



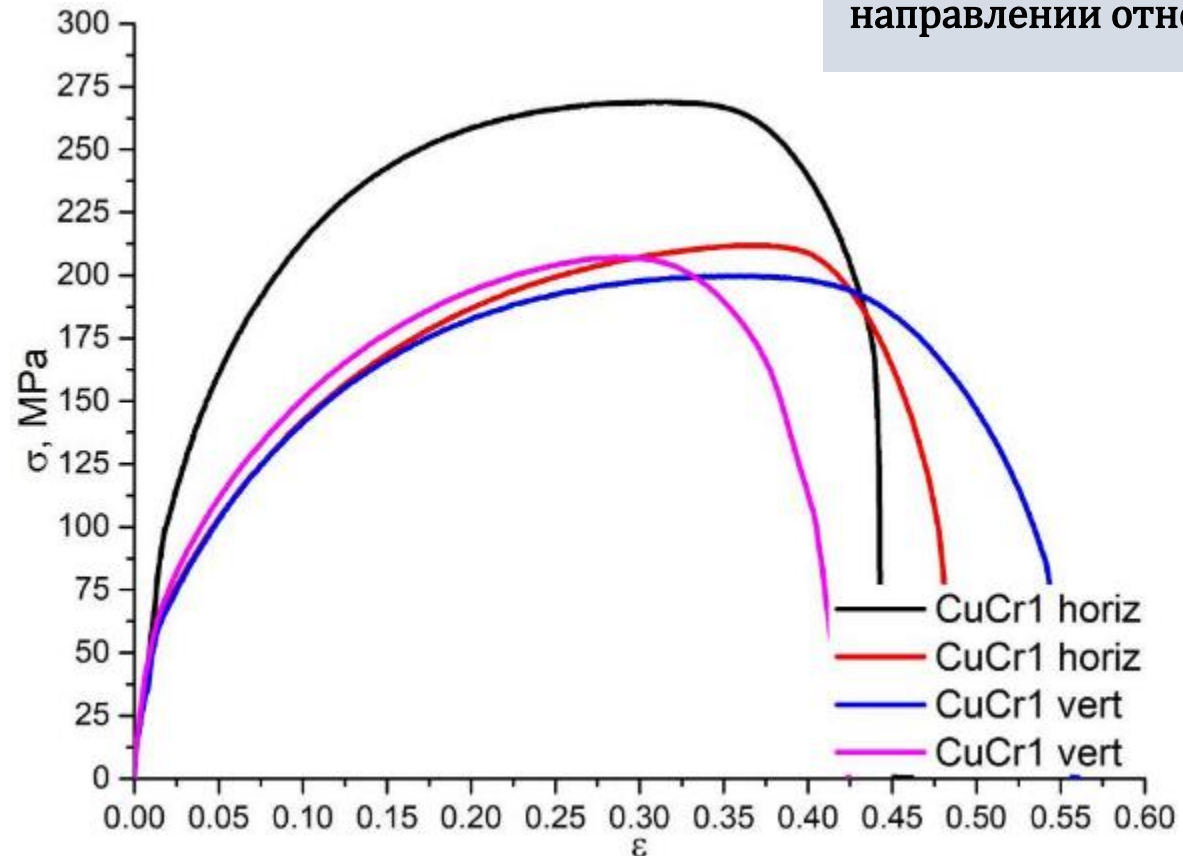
## Структура образцов в поперечном сечении.

- а – общий вид;
- b – граница со стальной подложкой;
- с – зона со структурой бронзы с наличием стальных включений
- d – структура центральной части образца
- е – структура верхней части образца

## Механические свойства полученных образцов

При испытании в горизонтальном направлении вблизи подложки за счет измельчения размера зерна и замешивания стали в медную матрицу происходит увеличение предела прочности и небольшое снижение пластичности материала. Предел прочности образца составил 264 МПа, предел текучести - 92 МПа, относительное удлинение после разрыва - 30%. Для образца, вырезанного из верхней части «стенки», предел прочности составил 208 МПа, предел текучести - 64 МПа, пластичность - 34%. Образцы, вырезанные в вертикальном направлении, демонстрируют близкие значения механических свойств. Для образцов значения предела прочности составляют 196-207 МПа, предела текучести - 64 МПа, пластичности 26-33%.

Диаграммы испытания образцов в горизонтальном и вертикальном направлении относительно образца.



# Заключение

Проведенные исследования показывают, что в процессе проволочной электронно-лучевой аддитивной технологии формируется крупнокристаллическая структура с зернами, вытянутыми в направлении отвода тепла и имеющими достаточно неоднородное строение. Основные закономерности организации структуры образцов из хромовой бронзы близки к наблюдаемым при получении образцов из чистой меди, но, с наличием ряда существенных отличий. В образцах формируется структура со ступенчатой формой зерен в продольном сечении с уменьшающейся степенью изменения направления роста зерен в верхней части образцов. Типичной для образцов меди анизотропии свойств не наблюдается, прочностные показатели хромовой бронзы в вертикальном и горизонтальном направлении существенно не различаются.

Предел прочности и предел текучести материала находятся на достаточно низком по сравнению с листовым прокатом уровне (196-208 МПа и 64 МПа соответственно). При этом, пластичность бронзы находится на высоком уровне (26-34%), что характерно в целом для материалов, полученных электронно-лучевой проволочной аддитивной технологией. Таким образом, с одной стороны, хромовая бронза достаточно хорошо поддается печати электронно-лучевым методом, а с другой стороны - имеет невысокие механические свойства, что требует проведения дальнейших исследований.

# Контакты

Чумаевский Андрей Валерьевич

Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk, 634055 Russia

E-mail: [tch7av@gmail.com](mailto:tch7av@gmail.com)

The work was performed according to the Government research assignment for ISPMS SB RAS, project FWRW-2019-0034.

II МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
КРАСНОЯРСК-2021

**CAMSTech-II-2021: Современные  
достижения в области материаловедения  
и технологий**