

Микромеханические характеристики диффузионно-легированной цинком меди

Щербаков В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

В работе рассмотрены некоторые механические характеристики диффузионных цинковых слоев, сформированных на медном волокне методом диффузионного насыщения в подвижной порошковой насыщающей среде. Установлено, что при всех режимах термодиффузионного цинкования на медном волокне формируется диффузионный слой, состоящий из высокоцинковой и низкоцинковой фазы с различной твердостью и пластичностью.

Текст доклада:

Уже более 10 лет активно используют отходы цветных металлов и сплавов для изготовления пористых фильтрующих материалов (ПФМ) предварительным прессованием и последующим спеканием [1–3]. Однако, несмотря на широкое распространение в порошковой металлургии металлических материалов в виде порошков и стружки для получения ПФМ, использование медных волокон находит лишь ограниченное применение. Целесообразность использования отходов медного волокна для создания ПФМ не вызывает сомнения. Однако, при прессовании и спекании, в процессе изготовления ПФМ, из-за низкой пластичности и высокой температуры процесса, необходимо использование специального оборудования, что существенно повышает ресурсо- и энергозатраты при производстве. Одним из возможных методов повышения пластичности и снижения температуры спекания медного волокна, при создании ПФМ, является предварительное диффузионное цинкование [4–6], позволяющее формировать высокоцинковые слои на поверхности каждого отдельного волокна. Однако, в литературе, точных данных по изменению механических свойств медного волокна при формировании диффузионно-цинковых слоёв не обнаружено. Таким образом, целью данной работы являлось исследование некоторых механических характеристик диффузионно-легированных цинком медных волокон.

Материалы и методики. Термодиффузионное цинкование медных отходов, сечением 315...400 мкм и длиной 5...15 мм, проводили на установке для ХТО металлических порошков [7]. При термодиффузионном цинковании медных волокон в порошке цинка, концентрация цинка изменя-

лась от 1:9 %масс. до 1:1 %масс., а температура обработки составляла 400...420 °С. Продолжительность обработки - 30 мин. Были проведены металлографические и микродюрOMETрические исследования по общепринятым методикам. Дополнительно измерения твердости образцов производились методом наноиндентирования по методике Оливера и Фарра [8–10]. Был использован прибор Nano Hardness Tester (ННТ 2), фирмы CSM Instruments (Швейцария) с алмазным трехгранным индентором Берковича. Измерения и построения кривых нагрузки-разгрузки осуществлялись при максимальной нагрузке на индентор 50-100 мН.

Химический состав определяли микрорентгеноспектральным анализом (VEGA II LMU). Исследование структурно-фазового состояния проводили на дифрактометре ДРОН-2.0 в монохроматизированном кобальтовом (CoK_α) излучении.

После всех режимов термодиффузионного цинкования на медном волокне формируются диффузионные слои различной толщины. Толщина сформированного на поверхности каждого отдельного медного волокна диффузионного слоя практически линейно зависит от концентрации цинка при насыщении. Диффузионный слой толщиной 17...20 мкм формируется при насыщении с концентрацией цинка равной 5 % масс. При повышении концентрации цинка толщина слоя растет и после диффузионного цинкования в смеси, содержащей 50 % масс. цинка формируется слой толщиной 90...96 мкм.

Диффузионный слой неоднороден и состоит из двух прослоек. Первый слой, сформированный на поверхности волокна с микротвердостью 1510...2730 МПа и с концентрацией цинка 58,75...62,31 % масс является фазой γ -твердого раствора цинка в меди (Cu_5Zn_8). Образование данной фазы на поверхности медных волокон при насыщении цинком во вращающемся контейнере обуславливается градиентом концентраций цинка и микропластическими деформациями при термодиффузионной обработке. Второй слой, расположенный между медным ядром и первым слоем с микротвердостью 1020...1220 МПа и с концентрацией цинка 36,05...48,31 % масс. является смесью α + β -фаз ($\text{Cu}_3\text{Zn}+\text{CuZn}$). Микротвердость медной основы составляет 790...820 МПа, что согласуется с данными по микротвердости отожженной меди.

При исследовании твердости диффузионных слоев на медном волокне с использованием твердомера DuraScan 20 при нагрузках на индентор 25 г установлено, что твердость медного ядра составляет 87...109 HV 0,025, тонкой прослойки толщиной 10...20 мкм – 155...169 HV 0,025, а твердость верхнего диффузионного цинкового слоя толщиной 70...80 мкм, составляет 430...480 HV 0,025.

При измерении твердости диффузионных слоев методом наноиндентирования по методике Оливера и Фарра с нагрузками 0,03 и 0,05 Н, установлено отличие механических свойств сформированных диффузионных слоев на медном волокне.

Нанотвердость (НГТ) медного ядра после термидиффузионного цинкования составляет 1,1821...1.3973 ГПа или 109,48...129,41 НV, показатель упругого восстановления (H^2/E^*) находится в диапазоне 0,014...0,017, а упругое восстановление (пГТ) для медного ядра составляет 6,58...7,78 %.

Также определено, что нанотвердость (НГТ) подслоя, состоящего из α - и β -латуни составляет 1,8638...4,3837 ГПа или 172,61...405,98 НV, показатель упругого восстановления (H^2/E^*) находится в диапазоне 0,039...0,14, а упругое восстановление (пГТ) для данного слоя составляет 14,34...17,86 %.

Нанотвердость (НГТ) поверхностного слоя, состоящего из γ -латуни составляет 4,5773...7,2221 ГПа или 423,91...668,85 НV, показатель упругого восстановления (H^2/E^*) находится в диапазоне 0,143...0,305, а упругое восстановление (пГТ) для слоя равняется 23,18...25,34 %.

Установлено, что во всех обработанных медных волокнах диффузионный слой состоит из двух зон с соотношением толщин 2/3. Нижний диффузионный слой, сформированный на поверхности медной основы, с концентрацией цинка 36,05...48,31 % масс, является смесью α + β -фаз. Данный слой обладает прочностью 200...300 МПа и пластичностью равной 40...60 %. Верхняя зона диффузионного слоя, на поверхности медного волокна, за счет высокой концентрации цинка равной 58,75...62,21 % масс, является твердым раствором на базе электронного соединения γ (Cu_5Zn). Образование данной фазы на поверхности медного волокна при ДЛ цинком, приводит к снижению прочности волокна до 70...120 МПа и пластичности до 5...10 %. Пористость диффузионных слоев при ДЛ с минимальной концентрацией цинка составляет 1...2 % и постепенно возрастает до 4...7 % с увеличением концентрации цинка. Высокая пористость в образовавшихся слоях с концентрацией цинка 30...50 % масс, объясняется высокой концентрацией насыщающего элемента и одновременной микропластической деформацией отдельных поверхностных участков медного волокна во время насыщения.

Литература

1. Очистка и регенерация смазочных материалов в условиях сельскохозяйственного производства: монография / В. М. Капцевич [и др.]. – Минск, БГАТУ, 2007. – 232 с.
2. Новые фильтрующие материалы и перспективы их применения / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск, БГАТУ, 2008. – 232 с.

3. Капцевич В.М., Кусин Р.А., Корнеева В.К., Кривальцевич Д.И., Заревский И.В., Чугаев П.С., Самкевич В.В. Взаимосвязь структурных и гидродинамических свойств пористых волоконных материалов из медных отходов // Материалы докладов Междунар. симп. Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка. 23-25 марта 2011 г. / Под ред. П.А. Витязя. Минск, 2011, Ч. 1, с. 141–145.

4. Константинов В.М., Капцевич В.М., Щербаков В.Г., Корнеева В.К., Чугаев П.С. Опыт использования диффузионно-легированных отходов медных волокон при изготовлении пористых спеченных фильтрующих материалов // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: материалы 13-й Междунар. науч.- техн. конф., Минск, 16-18 мая 2018 г. / Под ред. А.Ф. Ильюшенко и др. Минск, Беларусь. наука, 2018, с. 116–117.

5. Щербаков, В.Г. Исследование диффузионных процессов при спекании оцинкованных медных волокон / В.Г. Щербаков, В.М. Константинов, Б.Б. Хина // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 1. Материаловедение / редколлегия: А.В. Белый (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2018. – С. 274–287.

6. Щербаков, В.Г. Особенности структурообразования при спекании диффузионно-легированных медных волокон цинком / В.Г. Щербаков // Литье и металлургия. – 2018. – № 4 (93). – С. 127 – 132.

7. Вращающаяся электрическая печь для химико-термической обработки сыпучего материала: пат. ВУ 15412 / В.М. Константинов, О.П. Штемпель, В.Г. Щербаков. – Опубл. 28.02.12.

8. Oliver, W.C. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments / W. C. Oliver, G. M. Pharr. – Journal of Materials Research. – 1992. – Vol. 7, № 6. – p. 1564–1583.

9. Oliver, W.C. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology / W. C. Oliver, G. M. Pharr. – Journal of Materials Research. – 2004 – Vol. 19, № 1. – p. 3-20.

10. Головин, Ю.И. Наноиндентирование и механические свойства твердых тел в субмикроробъектах, тонких приповерхностных слоях и пленках (Обзор) / Ю.И. Головин. – Физика твердого тела. – 2008 – том 50, вып. 12. С. 2113–2142.