

Исследование процесса уплотнения при спекании ППМ из сферических порошков группы железа и титана

Ковалевский В.Н., Керженцева Л.Ф., Жук А.Е.
Белорусский национальный технический университет

В работе реализуется получение ППМ путем нанесения конденсата из карбидообразующих элементов и углерода или молибдена и кремния на сферические порошки титана или стали 12X18H9T магнетронным распылением комбинированных катодов Si – C или Mo – Si. Наличие графита и отсутствие ковалентных связей в покрытии позволяет уплотнять частицы с перемещением друг относительно друга с получением спеченных изделий при отсутствии трещин. Ti в зоне контакта с конденсатом образует высоко- и низкотемпературные фазы TiSi и TiSi₂ при 650 – 900 °C. Процесс уплотнения при спекании ППМ происходит вследствие вязкого течения конденсата в объем пор. Дилатометрическими испытаниями установлена температура взаимодействия молибдена и кремния при 950 °C образуется MoSi₂ и тройная фаза (MoSi₂C) при 1000 °C с изотермической выдержкой в течение часа. При нагреве в зоне контакта выдавливается покрытие и формируется шейка, характерная для спекания. Сферическая форма частиц обеспечивает хорошее перемешивание и качественное покрытие из слоев кремния и смеси кремния с молибденом, что формирует аморфно – кристаллическую структуру. Нанесенные активные технологические покрытия, толщиной близкой к 1 мкм участвуют в деформации при формовании частиц в металлической прессформе. Прессование проводили при давлении $p < \sigma_s$ материала частиц. Линейное температурное расширение частиц при нагреве в зоне контакта частично выдавливает покрытие и формирует типичную шейку, образующуюся при спекании. Термическое линейное расширения порошковых частиц Fe ($\alpha = 12,4 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) приводит к растягивающим напряжениям в конденсате, т.к. коэффициент линейного термического расширения для Mo составляет $\alpha = 5,1 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, а для Si ($\alpha = 3,72 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), для C ($\alpha = 3,02 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), что облегчает процесс диффузии. Для порошков FeSi и стали 12X18H10T с покрытием Si при 600 – 1000 °C происходит интенсивная усадка за счет диффузионных процессов спекания частиц через прослойку Si. Нанесение комбинированного покрытия Si+C в течение первых 15 – 20 мин. формирует аморфную структуру смеси. Реакционное спекание в объеме конденсата с формированием α –(SiC) протекает при температуре – 850 °C. Силициды титана и железа образуется при 1100 °C, а молибдена при 940 °C. Конденсат наносили со скоростью 1,2 – 1,6 н/мин .