

## ВЫБОР И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕЛКОМОДУЛЬНЫХ ШЕСТЕРЕН

А.П.Лебедев, И.И.Дмитрович

В Проблемной лаборатории порошковой металлургии проделана работа по выбору металлокерамического материала для изготовления шестерен с модулем  $0,65 \pm 1,0$  мм методом порошковой металлургии.

Материал подбирался для малонагруженных шестерен редукторов детских игрушек и для кинопроекторов. Размер цилиндрических шестерен для игрушек: наружный диаметр 9 мм, диаметр внутреннего отверстия 3 мм и ширина шестерни 5 мм, модуль 0,65 мм. Для кинопроекторов изготавливались конические шестерни размером  $m = 1$ ;  $Z = 28$ ;

$$D_0 = 28; \quad h = 2,2.$$

Цилиндрические шестерни изготавливались из металлокерамических брикетов нарезанием на полуавтоматическом зубофрезерном станке производственного объединения игрушек "Мир". Конические шестерни прессовались вместе с зубом.

Брикеты и шестерни изготавливались из чистого железного порошка с добавкой 1% и 1,5% карандашного графита и смеси железного поросика с порошком стали X17H2. Добавка порошка X17H2 в железный порошок составляла 1%, 2%, 3%, 4% и 5%.

Образцы для механических испытаний изготавливались размером  $10 \times 10 \times 65$  мм. Из этих брикетов вытачивались образцы для определения предела прочности при растяжении и относительного удлинения. Все брикеты прессовались на гидравлическом прессе с усилием  $8 \text{ тсн}^2$ . После прессования брикеты спекались в электрической печи в атмосфере эндогаза при температуре  $1200^\circ$ . Часть образцов после спекания использовалась для определения механических свойств, металлографического исследования, определения усадки и плотности.

Вторая часть образцов подвергалась второму прессованию (калибровке) и после этого они подвергались тем же исследованиям, что и первая часть образцов.

Металлокерамические брикеты для шестерен игрушек изготавливались по той же технологии, но после изготовления на них нарезались зубья.

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее высокие механические свойства получены на образцах, изготовленных из железного порошка с добавкой 1% карандашного графита. При этом на брикетах диаметром 9 мм и высотой 5 мм из указанного состава шихты может быть получена плотность 90-91%. При втором прессовании плотность повышается на 1-1,5%. Предел прочности на растяжение равняется 45+50 кг/мм<sup>2</sup>. Второе прессование повышает предел прочности на растяжение до 55-60 кг/мм<sup>2</sup>. Относительное удлинение для железографитовой композиции составляет 1,8-2,0%. После второго прессования относительное удлинение уменьшается в 0,5+0,8 раза. Это объясняется более хрупким состоянием частиц после наклепа, полученного брикетом при калибровании.

Ударная вязкость после первого спекания равняется 2,3-2,5 кгм/см<sup>2</sup>, а после калибрования снижается до 0,75+1 кг/см<sup>2</sup>. Вероятно, в процессе калибрования, помимо наклепа на поверхностях брикетов, в теле брикета появляются микротрещины как между частицами, так и внутри их. Эти трещины являются концентраторами напряжений. Все вместе взятое оказывает влияние на снижение механических свойств брикетов.

Микроструктура железографитовых брикетов представляет собой мелкопластинчатый перлит с небольшими включениями феррита. Феррит заключен между колониями перлита в виде глобул. Крупные поры отсутствуют. Заметны редкоразбросанные мелкие поры, имеющие овальную или круглую форму. Мелкопластинчатый перлит и высокая плотность образцов обеспечивают достаточно высокие механические свойства брикетов.

В микроструктуре брикетов с добавкой порошка стали X17H2 на перлитном поле видны не растворившиеся частицы порошка X17H2. Это говорит о том, что температура спекания 1200°C недостаточна для растворения сложного сплава хрома с никелем в перлитно-ферритной матрице. Наличие крупных не растворенных включений в структуре, естественно, снижает механические свойства брикета. Поэтому предел прочности при растяжении уменьшается до 35-40 кг/мм<sup>2</sup>, а ударная вязкость - до 0,5 кгм/см<sup>2</sup>.

Испытания (трибни) изготовлялись из всех указанных шихт и по указанной технологии. Заготовки имели размеры  $d_H = 9$  мм,  $d'_H = 3$  мм и высоту 5 мм. Но ввиду того, что трибни устанавливались на одном типе ступиц ("Доймочка"), в котором используются две одинаковые трибни, только с разными боковыми ободочными элементами, на час-

ти заготовок производилось рассверливание внутреннего диаметра с 3 мм до 4,6 мм.

Нарезные трибки имели следующие параметры: модуль - 0,65 мм, число зубьев - 10, диаметр начальной окружности - 7,5 мм.

Всего было нарезано около 200 трибок. Скалывания или задиры при нарезании зубьев и при рассверливании отсутствовали. Брикеты, изготовленные из железистографитовой шихты, обрабатывались лучше, чем из стали Ю. Обрабатываемость брикетов из двух следующих шихт приравнивались к стали Ю.

Все нарезанные шестерни были установлены на игрушках "Дюймовочка". Часть игрушек была испытана в объединении "Мир", а часть передана в детские сады. Испытание игрушек производилось до тех пор, пока они не выходили из строя от поломки той или иной детали.

На протяжении всех испытаний не было обнаружено скалывания или смятия зуба ни на одной из трибок независимо от шихты, из которой они были изготовлены.

Для увеличения износостойкости конических шестерен они подвергались закалке до твердости 35-40 HRC. На установленных шестернях после 2,5 тыс. часов обкатки следов износа не обнаружено.

На основании лабораторных и натуральных испытаний шестерен из металлокерамики можно сделать следующие выводы.

1. Металлокерамика может с успехом использоваться для изготовления мелкозубчатых шестерен (трибок), которые надежно работают в малонагруженных редукторах игрушек и приборов.

2. Наиболее высокие механические свойства получены на металлокерамическом материале, состоящем из 99% железного порошка марки ПЖМ1 с добавкой 1% карандашного графита. Этот материал является наиболее дешевым, поскольку нет необходимости вводить в шихту дорогостоящую лигатуру в виде хромоникелевых сплавов.

3. Изготовление мелкозубчатых шестерен методом порошковой металлургии позволяет повысить точность, идентичность и стабильность их размеров, что, в свою очередь, улучшает качество игрушек и приборов.

4. Экономическая эффективность от внедрения метода порошковой металлургии для изготовления шестерен только на производственном объединении игрушек "Мир" составит около 10 тыс. рублей в год. Затраты на покупку оборудования, его монтаж и освоение нового процесса окупятся в течение 2,5 лет.