

ных линий анализируемых фаз (см. табл. 1) следует, что с повышением температуры нагрева образца в системе уменьшается содержание фазы $\gamma\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, тогда как содержание других фаз увеличивается, причем наиболее существенно растёт $\text{Na}_2\text{Ca}_2(\text{SiO}_3)_3$. Увеличение содержания указанных фаз в композициях с полифосфатом натрия протекает более интенсивно, чем без него.

Для расчета истинного общего уширения выбраны линии анализируемых фаз наибольшей интенсивности (см. табл. 1). Его значение для различных фаз в композициях, предварительно нагретых до 400 °С, увеличивается от 10 до 20 %, а нагретых до 800 °С, — от 15 до 40 % в сравнении с композициями, не содержащими модификатора. Эффект увеличения уширения дифракционных линий свидетельствует об изменениях кристаллической структуры фаз в объемах отдельных кристаллитов и может быть связан с возникновением микронапряжений. При температурах, близких к 1200 °С, в исследуемых композициях возникают необратимые разрушения структуры (трещины, разрывы), что выражается в значительном уменьшении истинного общего уширения дифракционных линий фаз.

Основываясь на приведенных данных, можно заключить, что результаты рентгенофазового анализа соответствуют результатам исследований ТКЛР модифицированного полифосфатом силиката [2] и показывают, что разупрочнение модифицированного жидкого стекла после нагревания до температур выше 400 °С вызывается как макро-, так и микронапряжениями, возникающими в процессе охлаждения связующего. С ростом температуры нагревания исследуемого связующего до 800 °С и выше микро- и микронапряжения повышаются, что способствует большему разупрочнению пленок модифицированного жидкого стекла.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 1289581 (СССР). Связующее для изготовления литейных форм и стержней / Н.Д.Мыльникова, Д.М.Кукуй, Г.Х.Черчес и др. 2. Влияние полифосфата натрия на свойства модифицированного силикатного связующего / Д.М.Кукуй, Н.Д.Мыльникова, Е.А.Есепкин и др. // Металлургия. — Мн., 1986. — Вып. 20. — С. 58—60. 3. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. — М., 1982. — 632 с. 4. Качанов Н.Н., Миркин Л.И. Рентгеноструктурный анализ (поликристаллов). — М., 1960. — 216 с.

УДК 621.785.53

Е.И.ПОНКРАТИН, С.А.ПАВЛОВСКАЯ,
В.М.РОМАНОВСКИЙ

АЗОТИРУЕМЫЕ ШТАМПОВЫЕ СТАЛИ

Нет необходимости доказывать целесообразность разработки штамповых сталей для деформирующего инструмента, подвергаемого химико-термической обработке. Это очевидно, как очевидно и то, что технологические возможности процессов химико-термической обработки практически исчерпаны и дальнейший существенный прирост повышения стойкости технологической осна-

стики в процессах обработки металлов давлением может быть обеспечен только доработкой состава наиболее перспективных сталей.

Исследовалось влияние добавок Ti и Al в стали типа 5ХЗВЗМФС (ДИ-23) на их структуру, теплостойкость после азотирования и прочность.

Теплостойкость азотированных слоев определяли по их микротвердости после нагрева до заданных температур. Наибольшая теплостойкость азотированных слоев при нагреве до 500–700 °С имеет место при суммарном содержании Ti и Al 1,4–1,5 % (по массе). Микроструктура таких слоев характеризуется отсутствием высоконитридной зоны, которая появляется лишь при длительности азотирования более 60 ч.

Положительное влияние титана на теплостойкость азотированного слоя определяется повышением содержания нитридообразующих элементов в твердом растворе в присутствии титана. Об этом свидетельствует тот факт, что при азотировании закаленных и отожженных сталей микротвердость слоя при содержании Ti 0,5–1 % значительно выше по сравнению со сталями без титана. Например, после закалки и азотирования твердость сталей с титаном составляет 12,31–13,61 ГПа, а без титана 10,22–11,74 ГПа.

Кроме того, при увеличении содержания титана уменьшается разность микротвердости азотированного слоя закаленных и отожженных сталей. У стандартных сталей типа 3Х2В8Ф и 5ХЗВЗМФС эта разность составляет 1,98–2,58 ГПа, а у сталей с содержанием Ti 0,5–1 % – 0,4–0,73 ГПа.

Микрорентгеноспектральным анализом установлено, что при введении в сталь титана содержание Cr, W и Mo в твердом растворе повышается примерно на 25 %, V – на 15 %.

Содержание алюминия в нитридных фазах не превышает 12 %. В конечном итоге это приводит к тому, что в сталях с добавками Ti и Al значительно повышается энергия разупрочнения азотированного слоя Q . Так, у сталей с Ti и Al $Q = 0,016–0,024$ Дж (г·атом), а у сталей 5ХЗВЗМФС и 3Х2В8Ф $Q = 0,009–0,015$ Дж/ (г·атом).

При рассмотрении влияния добавок Ti и Al на прочность сталей было установлено, что при их суммарном содержании более 1,2 %, когда содержание Ti более 0,45 %, прочность стали снижается во всем интервале исследуемых температур и становится ниже, чем у стали 5ХЗВЗМФС.

При содержании добавок Ti и Al до 1,2 % прочность сталей выше, чем у стали 5ХЗВЗМФС. Причем сохраняется высокая вязкость и пластичность исследуемой стали. Добавка алюминия повышает точку начала мартенситного превращения сталей, что приводит к образованию структуры мартенсита, который обладает повышенной пластичностью.

На основании проведенных исследований определено оптимальное содержание добавок Ti и Al в азотируемых штамповых сталях: Al – 0,2–0,8%; Ti – 0,1–0,4 % при суммарном их содержании 0,5–1,2 %. Это позволило установить оптимальные составы сталей, подвергающихся азотированию.

За счет высокой теплостойкости азотированного слоя износостойкость инструмента из таких сталей при работе в диапазоне 300–900 °С в 1,5 раза превосходит стойкость инструмента, изготовленного из стандартных сталей.

При разработке низколегированных азотированных штамповых сталей использовали более сложный легирующий комплекс.

Применение в качестве материала азотируемого инструмента низколегированных штамповых сталей (5ХНМ, 4ХМФС) не дает существенного повышения его стойкости по той причине, что данные стали не содержат активных нитридообразующих элементов. Кроме того, они обладают низкой теплостойкостью, что также снижает стойкость инструмента. Поэтому при разработке низколегированных азотируемых штамповых сталей легирующий комплекс должен повышать не только свойства азотированного слоя, но и теплостойкость и прочность самой стали. Для достижения этой цели базовую сталь 5ХНМ легировали комплексом ФЮТР. Титан и ванадий являются карбидообразующими элементами, бор и алюминий – некарбидообразующими. Установлено, что важную роль в повышении эксплуатационных свойств азотируемых штамповых сталей играют соотношения легирующих элементов, правильный выбор которых позволяет создавать термодинамические условия для образования тех или иных фаз. Таким образом, комплексное легирование стали 5ХНМ титаном, бором, алюминием, ванадием позволило получить следующие стали:

сталь для крупного штампового инструмента, имеющую после отпуска 600 °С твердость 42–44 НRC, прочность σ_B – 1450 МПа, ударную вязкость 5–7 МДж/м², микротвердость азотированного слоя $H_{0,0981}$ – 9,5 ГПа;

сталь для мелкого прессового инструмента, имеющую после отпуска 620°С твердость 48–50 НRC, прочность σ_B – 1800 МПа, ударную вязкость – 3,5 – 4 МДж/м², микротвердость азотированного слоя $H_{0,0981}$ – 14,5 ГПа.

УДК 621.74:669.131.7

С.С.ГУРИН, В.А.СТЕФАНОВИЧ,
Г.И.КЛЕЩЕНКО

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА МОДИФИЦИРУЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ФТОРИДА МАГНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИМПЛЕКСНОГО МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ

Толщина слоя с шаровидным графитом (ШГ), а также степень его сферидизации, по которым оценивали модифицирующую способность покрытий, при прочих равных условиях зависят главным образом от соотношения таких компонентов, как фторид магния, силикокальций и аморфный графит.

Оптимизация состава модифицирующего покрытия производилась с использованием модели неполного третьего порядка [1] (рис. 1, а). Проведенные исследования показали, что наиболее стабильные результаты получаются при содержании в составе покрытия фторида магния в пределах 25–60 %, силикокальция и аморфного графита соответственно 35–70 % и 5–40 %. С учетом этого план эксперимента для построения выбранной модели можно представить в виде табл. 1.

Переход от кодированных координат к натуральным и наоборот осуществляли, используя соотношение $(A, B, C) = X_1(60, 35, 5) + X_2(25, 70, 5) + X_3(25, 35, 40)$ по уравнениям: