

Сплав MAR-M247

Общая характеристика

MAR-M247 — это высокотемпературный никелевый суперсплав, предназначенный для применения в условиях повышенных температур. Относится к категории литейных жаропрочных никелевых сплавов.

Химический состав (массовые проценты)

- **Ni** — основа сплава
- **Cr** — 8,0–8,8%
- **Co** — 9,0–11,0%
- **W** — 9,5–10,5%
- **Al** — 5,3–5,7%
- **Ta** — 2,8–3,3%
- **Hf** — 1,2–1,6%
- **Ti** — 0,9–1,2%
- **Mo** — 0,5–0,8%
- **B** — 0,01–0,02%
- **Zr** — 0,03–0,08%
- **C** — 0,13–0,17%
- **S, Si, Mn, Fe, Re** — в следовых количествах

Механические свойства

- **Предел текучести** при комнатной температуре — 820 МПа
- **Предел текучести** при 871°C — 640 МПа
- **Объемная доля γ' -фазы** — 73,1%
- **Размер первичных γ' -выделений** — 0,2–1 мкм
- **Размер вторичных γ' -выделений** — около 30 нм

Особенности структуры

Сплав характеризуется:

- Высокой плотностью структуры (>99,5%)
- Наличием крупных первичных γ' -выделений
- Присутствием мелких вторичных выделений у границ зерен
- Усовершенствованной микроструктурой благодаря современным методам производства

Области применения

- **Газотурбинное оборудование** — лопатки турбин
- **Авиационная промышленность** — детали горячей секции двигателей
- **Энергетическое машиностроение** — компоненты, работающие при высоких температурах
- **Космическая техника** — элементы, требующие высокой жаропрочности

Преимущества

- **Высокая прочность** при повышенных температурах
- **Отличная жаропрочность**
- **Устойчивость к окислению**
- **Хорошая сопротивляемость** к термической усталости
- **Длительный срок службы** при высоких нагрузках

Сплав Ni80A (Nimonic 80A)

Общая характеристика

Ni80A — это дисперсионно-твердеющий высокотемпературный сплав на основе никеля и хрома, специально разработанный для работы в экстремальных температурных условиях.

Химический состав

- **Никель (Ni)** — основа сплава
- **Хром (Cr)** — 18,0–21,0%
- **Титан (Ti)** — 1,8–2,7%
- **Алюминий (Al)** — 1,0–1,8%
- **Углерод ©** — до 0,10%
- **Сера (S)** — до 0,1%
- **Кремний (Si)** — до 0,2%
- **Медь (Cu)** — до 3,0%
- **Железо (Fe)** — до 1,0%
- **Марганец (Mn)** — до 2,0%
- **Кобальт (Co)** — до 0,008%
- **Бор (B)** — до 0,15%
- **Цирконий (Zr)** — до 0,015%

Механические свойства

- **Предел прочности на разрыв** — 145 000 psi (≈ 1000 МПа)
- **Предел текучести (0,2% смещение)** — 90 000 psi (≈ 620 МПа)
- **Относительное удлинение** — минимум 20%
- **Твердость** — минимум 300 HV
- **Модуль упругости** — около 210 ГПа
- **Усталостная прочность** — 380–450 МПа

Температурные характеристики

- **Длительная работа** — 650–850°C
- **Кратковременная работа** — до 815°C
- **Сопротивление ползучести** — более 10 000 часов при 815°C

Основные преимущества

- Высокая прочность при повышенных температурах
- Отличная стойкость к окислению
- Хорошая сопротивляемость ползучести
- Устойчивость к термической усталости
- Превосходная свариваемость

Области применения

- **Аэрокосмическая промышленность** — лопатки турбин, камеры сгорания, компоненты двигателей
- **Энергетика** — газовые турбины, теплообменники, элементы атомных реакторов
- **Автомобильная промышленность** — высокотемпературные детали двигателей
- **Нефтегазовый сектор** — клапаны, насосы, трубы
- **Химическая промышленность** — реакторы, теплообменники
- **Судостроение** — компоненты выхлопных систем

Общая информация

DZ411 — это никелевый суперсплав, предназначенный для производства лопаток промышленных газовых турбин. Материал обладает высокими механическими характеристиками при повышенных температурах.

Химический состав

Основной состав сплава включает следующие элементы (в массовых процентах):

- **Cr** — 14,09%;
- **Co** — 9,46%;
- **Mo** — 1,52%;
- **W** — 3,92%;
- **Ti** — 4,87%;
- **Al** — 3,15%;
- **C** — 0,095%;
- **B** — 0,01%;
- **Ni** — основа.

Механические свойства

Сплав демонстрирует следующие характеристики:

- **Предел выносливости** на 60–130 МПа выше по сравнению с аналогами.
- **Среднее относительное удлинение** при разрушении составляет 12,9%.
- **Высокая термостойкость** — материал сохраняет свойства при температурах до 930 °С.

Особенности структуры

Направленная кристаллизация материала формирует столбчатую структуру, обеспечивающую отличные комплексные свойства. Добавление таких элементов, как Ta (тантал), способствует:

- уменьшению сегрегации элементов в сплаве;
- увеличению междендритных расстояний;
- формированию МС карбидов и эвтектик γ - γ' ;
- повышению микротвёрдости как в области первичных дендритов, так и в междендритных зонах.

Применение

Основное назначение — производство лопаток для промышленных газовых турбин. Материал особенно эффективен в условиях повышенных температур, где требуется высокая прочность и устойчивость к ползучести.

Испытания на ползучесть

При испытаниях были получены следующие результаты:

- при температуре 850 °С и нагрузке 450 МПа — срок службы до 226 часов;
- при температуре 930 °С и нагрузке 320 МПа — срок службы до 57 часов.

Эти характеристики делают сплав DZ411 одним из наиболее перспективных материалов для применения в современной энергетике и авиационной промышленности.

Нержавеющая сталь SS321 (AISI 321)

Общая характеристика

SS321 — это аустенитная хромоникелевая нержавеющая сталь, стабилизированная титаном. Относится к сплавам типа 18-8 с улучшенной стойкостью к межкристаллитной коррозии.

Химический состав (массовые проценты)

- **C** — $\leq 0,08\%$
- **Mn** — $\leq 2,0\%$
- **P** — $\leq 0,045\%$
- **S** — $\leq 0,03\%$
- **Si** — $\leq 0,75\%$
- **Cr** — 17,0–19,0%
- **Ni** — 9,0–12,0%
- **Ti** — до 0,5%
- **Fe** — основа

Механические свойства

- **Предел прочности** — минимум 515 МПа
- **Предел текучести (0,2%)** — 205 МПа
- **Относительное удлинение** — минимум 40%
- **Твердость по Бринеллю** — максимум 217 НВ
- **Усталостная прочность** — 260 N/mm²

Физические свойства

- **Плотность** — 7,79 г/см³
- **Рабочая температура** — до 800°C
- **Магнитные свойства** — отсутствуют

Особенности структуры

- **Аустенитная структура**
- **Устойчивость** к межкристаллитной коррозии благодаря титану
- **Жаропрочность** и жаростойкость
- **Отсутствие склонности** к образованию карбидов хрома

Области применения

- **Нефтехимическая промышленность** — оборудование для переработки нефти и газа
- **Химическая промышленность** — реакторы, теплообменники
- **Фармацевтика и медицина** — оборудование для производства
- **Автомобилестроение** — выхлопные системы
- **Авиационная промышленность** — коллекторы, выхлопные трубы
- **Энергетика** — пароперегреватели, корпуса котлов
- **Текстильная промышленность**

Стандарты и аналоги

- **ASTM стандарты:** A182, A213, A240, A269, A403
- **Международные аналоги:**
 - Германия — X10CrNiTi18-9, Европейские (EN) — 1.454, Япония (JIS) — SUS 321

Сплав GH3030 (аналог ХН78Т, ЭИ435)

Общая характеристика

GH3030 — это суперсплав на основе никеля, относящийся к группе жаропрочных материалов. Представляет собой однофазный аустенитный сплав с высокой термической прочностью и пластичностью.

Химический состав (массовые проценты)

- **Ni** — основа (около 55%)
- **Cr** — 19,0–22,0%
- **Fe** — 17,0–20,0%
- **Mn** — $\leq 2,0\%$
- **Si** — $\leq 0,8\%$
- **C** — $\leq 0,12\%$
- **S** — $\leq 0,015\%$
- **P** — $\leq 0,020\%$
- **Al** — $\leq 0,15\%$
- **Ti** — 0,15–0,35%

Физические свойства

- **Плотность** — 8,4 г/см³
- **Температура плавления** — 1350–1400°C
- **Теплопроводность** — 11,2 Вт/м·К
- **Коэффициент температурного расширения** — 13,3 мкм/м·К (при 20–1000°C)

Механические свойства

- **Предел прочности** — ≥ 650 МПа
- **Предел текучести** — ≥ 240 МПа
- **Удлинение** — $\geq 30\%$
- **Твердость** — 150–200 НВ

Основные характеристики

- **Жаропрочность** — сохраняет механические свойства при высоких температурах
- **Окислительная стойкость** — высокая устойчивость к окислению до 1000°C
- **Коррозионная стойкость** — отличная защита от агрессивных сред
- **Пластичность** — высокая при температурах ниже 800°C
- **Свариваемость** — хорошая, совместим с различными методами сварки

Области применения

- **Аэрокосмическая промышленность** — камеры сгорания, лопатки турбин, детали двигателей
- **Энергетика** — компоненты газовых турбин, теплообменники
- **Химическая промышленность** — реакторы, трубопроводы для агрессивных сред
- **Металлургия** — элементы печей и термического оборудования
- **Ядерная энергетика** — компоненты реакторов

Сплав Nimonic 75 (Ni75)

Общая характеристика

Nimonic 75 — высокохромистый никелевый сплав, разработанный для работы в условиях повышенных температур. Относится к категории суперсплавов с выдающимися жаростойкими и коррозионными характеристиками.

Химический состав

- **Ni** — основа (76–79%)
- **Cr** — 18–21%
- **C** — 0,08–0,15%
- **Ti** — 0,2–0,6%
- **Mn** — до 1,0%
- **Si** — до 1,0%
- **Fe** — до 5,0%
- **Cu** — до 0,5%

Механические свойства

- **Предел текучести** — 275–350 МПа
- **Относительное удлинение** — 42–50%
- **Ударная вязкость** — 120–150 Дж/см²
- **Твердость** — НВ 170–210
- **Модуль упругости** — 216 ГПа

Физические характеристики

- **Плотность** — 8,19 г/см³
- **Температура плавления** — 1340–1380°C
- **Теплопроводность** — 12,6 Вт/(м·К)
- **Коэффициент теплового расширения** — $12,6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Температурные характеристики

- **Рабочая температура** — до 870°C
- **Кратковременная работа** — до 950°C
- **Стойкость к окислению** — до 1000°C
- **Циклическая жаропрочность** — 10^5 циклов при 750°C

Коррозионная стойкость

- **Атмосферная коррозия** — отличная стойкость
- **Морская вода** — хорошая стойкость при комнатной температуре
- **Пресная вода** — превосходная стойкость
- **Дымовые газы** — высокая стойкость
- **Водяной пар** — отличная стойкость при высоких температурах

Области применения

- Газотурбинное оборудование
- Аэрокосмическая промышленность
- Энергетическое машиностроение и ядерная техника
- Компоненты промышленных печей и оборудование для термообработки