

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения
Российской академии наук

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**Перспективные материалы
с иерархической структурой
для новых технологий
и надежных конструкций**

19 - 23 сентября 2016 г.

Томск, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

1. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

The coarse-grained material displays tensile curves typical of Al-Mg alloys, with an extensive initial strain hardening and an overall parabolic shape until necking, so that the maximum stress corresponds to a well-defined peak in the flow stress. Mixed type A+B serrations take place during the strain hardening stage and the apparent “steady state”. The alloy tested in the coarse-grained condition exhibits usual behavior of the PLC effect to 150°C. Type A+B serrations are observed at the reference conditions (25°C and $\dot{\epsilon} = 10^{-3} \text{ s}^{-1}$) corresponding to the middle part of the temperature and strain-rate domain of the PLC effect.

The financial support received from the Ministry of Education and Science, Russia, (Belgorod State University project №14.587.21.0018 (RFMEFI58715X0018)) is acknowledged. The main results were obtained by using equipment of Joint Research Center, Belgorod State University.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 12%-НЫХ ХРОМИСТЫХ ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНЫХ СТАЛЕЙ

Полехина Н.А.^{1,2}, Литовченко И.Ю.^{1,2}, Тюменцев А.Н.^{1,2}, Кравченко Д.А.², Чернов В.М.³, Леонтьева-Смирнова М.В.³

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия,

²НИ Томский государственный университет, Томск, Россия,

³ОАО «ВНИИНМ им. академика А.А. Бочвара», Москва, Россия

Nadejda89tsk@yandex.ru

Жаропрочные 12 %-ные хромистые ферритно-мартенситные стали являются перспективными конструкционными материалами для активных зон и внутрикорпусных устройств ядерных и термоядерных энергетических реакторов. С целью расширения интервала рабочих температур сталей необходимо дополнительное повышение их высокотемпературной прочности при сохранении необходимого запаса низкотемпературной пластичности. Решение этих задач связано с возможностью изменения и управления микроструктурой ферритно-мартенситных сталей с помощью термических/термомеханических обработок.

В настоящей работе исследовано влияние высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) на микроструктуру и механические свойства 12 %-ных хромистых ферритно-мартенситных сталей ЭК-181 (16X12B2ФТаР) и ЧС-139 (20X12НМВБФАР). ВТМО включала нагрев до $T = 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ (выдержка 1 ч), горячую (в аустенитной области) пластическую деформацию прокаткой до $\epsilon \approx 30 \%$ за один проход и последующую закалку в воду. После закалки проводили отпуск при $T = 720 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 0,5-3 ч. Традиционная термическая обработка (ТТО) этих сталей: закалка от $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ (на воздух) + отпуск при $T = 720 \text{ }^\circ\text{C}$ (3 ч).

Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО) сталей приводит к значительному (от $\rho \sim 10^{11} \text{ см}^{-2}$ до $\rho \sim 10^{12} \text{ см}^{-2}$), по сравнению с закалкой, увеличению плотности дислокаций в мартенситной структуре, а также дисперсности и объемной доли наночастиц карбонитрида ванадия $V(C, N)$, выделяющихся непосредственно в процессе деформации в температурном интервале существования аустенита и последующей закалки. Предполагается, что важными факторами повышения объемной доли наночастиц являются снижение барьера зарождения и критических размеров зародышей новой фазы и увеличение скорости роста частиц за счет возрастания коэффициентов диффузии ванадия на дислокациях.

Последующий (после ВТМО) отпуск стали при $T = 720 \text{ }^\circ\text{C}$ (3 ч) приводит к формированию структурного состояния со значительно более низкой, чем после ТТО, плотностью грубодисперсных карбидов $M_{23}C_6$. Это связано с более интенсивным, по

1. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

сравнению с ТТО, обеднением твердого раствора углеродом при образовании более высокой плотности наноразмерных частиц карбонитрида V(C, N) уже в процессе ВТМО. После указанного выше отпуска происходит также коагуляция и уменьшение плотности наночастиц V(C, N), тем не менее, их дисперсность (размеры частиц не превышают ~ 10 нм) остается достаточно высокой. Кроме того, при сохранении высокой объемной доли отпущенного мартенсита, наблюдается снижение внутренних напряжений и уменьшение плотности дислокаций (до $\rho \sim (2-5) \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$).

Сформированные после ВТМО структурные состояния с высокими значениями объемной доли наноразмерных частиц V(C, N), плотности дислокаций и внутренних напряжений обеспечивают значительное (на $\approx 300 \text{ МПа}$) повышение значений предела текучести сталей при комнатной температуре испытаний.

ВТМО + отпуск при $T = 720 \text{ }^\circ\text{C}$ также приводит к существенному (по сравнению с ТТО) увеличению значений предела текучести сталей как при комнатной (на $\Delta\sigma_{0.1} \leq 290 \text{ МПа}$), так и при повышенной ($T = 650 \text{ }^\circ\text{C}$; на $\Delta\sigma_{0.1} \leq 100 \text{ МПа}$) температурах испытаний. При этом сохраняются достаточно высокие ($\delta \approx 10-13 \%$) значения пластичности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00145.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ-ВЫПРЕССОВКИ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Истомин А.Д.¹, Матолыгин А.А.², Носков М.Д.¹

¹Северский технологический институт национального исследовательского университета «МИФИ», Северск, Россия,

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия
lfmm@mail.ru, matolygin.andrei@yandex.ru

Операция прессования таблеток из керамических порошков предназначена для придания заготовкам формы, размеров и механической прочности, необходимых для последующего спекания таблеток. Качество получаемых таблеток зависит от средней плотности сформованных заготовок, а также ее распределения по объёму прессовки. Эти характеристики определяются условиями прессования и свойствами прессуемого порошка. Для прогнозирования свойств прессуемых таблеток и оптимизации технологического процесса целесообразно использовать математическое моделирование. Как правило используемые порошки обладают развитой, иерархической структурой и представляют собой агломераты частиц. Поэтому, при прессовании происходит не только переукладка и слипание частиц порошка, но и разрушение агломератов. Детальное описание этих процессов связано с большими трудностями и требует применения различных моделей. Перспективным подходом к моделированию прессования является описание порошкового тела как сплошной среды с некоторыми эффективными характеристиками, определяющими свойства представительного объема.

Для описания процесса прессования-выпрессовки предлагается математическая модель упругопластического тела, которая учитывает сложное реологическое поведение прессовки, при котором одновременно проявляются упругие и пластические свойства. Предложенная модель прессования основана на фундаментальных законах сохранения массы, импульса и энергии. Граничные условия на стенках пресс-формы соответствуют нулевым значениям радиальных компонент вектора перемещений. На границах, отвечающих за подвижные поверхности задаются значения перемещений вдоль вертикальной оси на каждом шаге нагружения и выпрессовки. На границах задаются так же поверхностные силы возникающие вследствие трения прессовки о пресс-форму и пуансоны.