

УДК 621.745.55

Верес И. А., Платонов Е. А., Ямшинский М. М., Федоров Г. Е.

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЖАРОСТОЙКИХ ХРОМОАЛЮМИНИЕВЫХ СТАЛЕЙ

Жаростойкие хромоалюминиевые стали относят к современному классу материалов, используемых для работы в условиях высоких температур (до 1300 °С) и агрессивных сред различного состава.

На сегодня авторами [1] достаточно глубоко изучены литейные и механические свойства этой группы сталей в условиях комнатных температур, определены соотношения основных компонентов химического состава в зависимости от габаритных размеров литых деталей, их толщин стенок и условий эксплуатации.

Промышленным использованием литых деталей, изготовленных из этой группы сталей, подтверждены целесообразность и перспективность их применения в теплоэнергетике, металлургии, химической промышленности и других отраслях промышленности, то есть там, где используют высокотемпературные технологии. Эти стали намного дешевле хромоникелевых и имеют высшую окалиностойкость.

Однако прочностные и пластические свойства хромоалюминиевых сталей при высоких температурах, а также их эксплуатационные возможности в экстремальных условиях изучены мало. Практически не изучено поведение этих сталей во время термомеханической обработки, после выполнения которой можно было бы существенно расширить области использования этой группы жаростойких материалов.

При этом следует знать основные специальные свойства сталей и сохранять или улучшать их как в условиях эксплуатации, так и при выполнении различных технологических операций во время изготовления деталей [2].

Основным комплексным эксплуатационным свойством материала для работы в условиях высоких температур и агрессивных сред является жаростойкость. Термин «жаростойкость» материала следует понимать как комплексную характеристику, которая объединяет окалиностойкость, термостойкость и ростоустойчивость сплава. На долговечность жаростойких литых деталей, которые работают в условиях высоких температур и в агрессивных средах, решающее влияние оказывают процессы их взаимодействия с рабочей средой.

Основные факторы, которые определяют окалиностойкость, термостойкость и ростоустойчивость металла, разделяют на две группы:

- внешние факторы: характер агрессивной среды, температура, характер нагревания (беспрерывный, периодический; скорость нагревания и охлаждения);
- внутренние факторы: характер структуры металлической матрицы (окисляемость, степень гомогенности и др.), склонность к возникновению внутренних напряжений, плотность и газонасыщенность.

Важным свойством сплавов этого класса с точки зрения термомеханической обработки является их термостойкость в условиях высокотемпературной эксплуатации. Сплавы, для которых характерно разрушение по границам зерен, менее термостойкие, чем сплавы, в которых трещины термической усталости развиваются в объеме зерен. Другими словами, термостойкость сплавов в значительной мере определяется механизмом и кинетикой развития в них термоусталостных дефектов.

Таким образом, стойкость против действия окислительной среды при высоких температурах является необходимым свойством жаростойких сплавов и его необходимо сохранить после любого механического или химического воздействия на металл.

Для успешного решения таких задач необходимо овладеть как теоретическими, так и практическими знаниями этих процессов.

Одним из технологических процессов упрочняющей обработки является термомеханическая обработка металлов (ТМО).

Термомеханическая обработка [3] относится к комбинированным способам изменения строения и свойств материалов.

При ТМО оба процесса – пластическая деформация и термическая обработка – могут совмещаться в одной технологической операции, но могут проводиться с разрывом по времени. Однако фазовые превращения при этом должны выполняться в условиях повышенной плотности дефектов решетки, возникающих благодаря пластической деформации металла.

В условиях ТМО сочетание пластической и термической обработок для разных материалов определяется исходным структурным состоянием, чувствительностью к этим воздействиям и последствиям воздействия.

Преимуществом термомеханической обработки является то, что при существенном увеличении прочности характеристики пластичности снижаются незначительно, а ударная вязкость выше в 1,5...2,0 раза по сравнению с ударной вязкостью для той же стали после закалки с низким отпуском.

В зависимости от температуры, при которой проводят деформацию, различают высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО), низкотемпературную термомеханическую обработку (НТМО) и предварительную термомеханическую обработку (ПТМО).

Высокотемпературная термомеханическая обработка практически устраняет развитие отпускной хрупкости в опасном интервале температур, ослабляет необратимую отпускную хрупкость и резко повышает ударную вязкость при комнатной температуре. Понижается температурный порог хладноломкости. Высокотемпературная термомеханическая обработка повышает сопротивление хрупкому разрушению, уменьшает чувствительность к трещинообразованию при термической обработке.

Высокотемпературную термомеханическую обработку эффективно использовать для углеродистых, легированных, конструкционных, пружинных и инструментальных сталей.

Последующий отпуск при температуре 100...200 °С осуществляют для сохранения высоких значений прочности.

При рассмотрении влияния структуры металла на пластичность различают литую структуру и деформированную. Металл в литом состоянии обладает меньшей пластичностью, чем в деформированном состоянии. Структурная неоднородность литого металла, которая выражается в различном строении дендритов, дендритной и зональной ликвации, наличии неплотностей и неравномерном распределении примесей снижает его пластичность.

После горячей пластической деформации литого металла структурная неоднородность его уменьшается и повышается его пластичность. Как правило, пластичность металлов повышается с повышением температуры. Наибольшую пластичность металлы имеют между температурой рекристаллизации T_p и температурой плавления $T_{пл}$.

Основными факторами, определяющими пластичность металла при ТМО, являются: химический состав и структура металла, скорость деформации, схема напряженного состояния.

Целью данной работы является изучение процесса термомеханической обработки жаростойких хромоалюминиевых сталей.

В работе сделана первая попытка использования термомеханической обработки для возможного расширения областей использования жаростойких хромоалюминиевых сталей. Определение механических свойств сталей осуществляли с использованием специальной приставки к разрывной машине, а возможность и параметры термомеханической обработки стали – прессованием и осадкой образцов, нагретых до разных температур на прессе и установке, разработанной на кафедре литейного производства.

Исследованы механические характеристики хромоалюминиевых сталей с разным содержанием углерода и микролегированных титаном для измельчения первичного зерна.

Для исследований выбраны углерод и титан элементы, которые оказывают существенное влияние на поведение металла хромоалюминиевых сталей при высоких температурах.

Результаты исследований представлены на рис. 1–2.

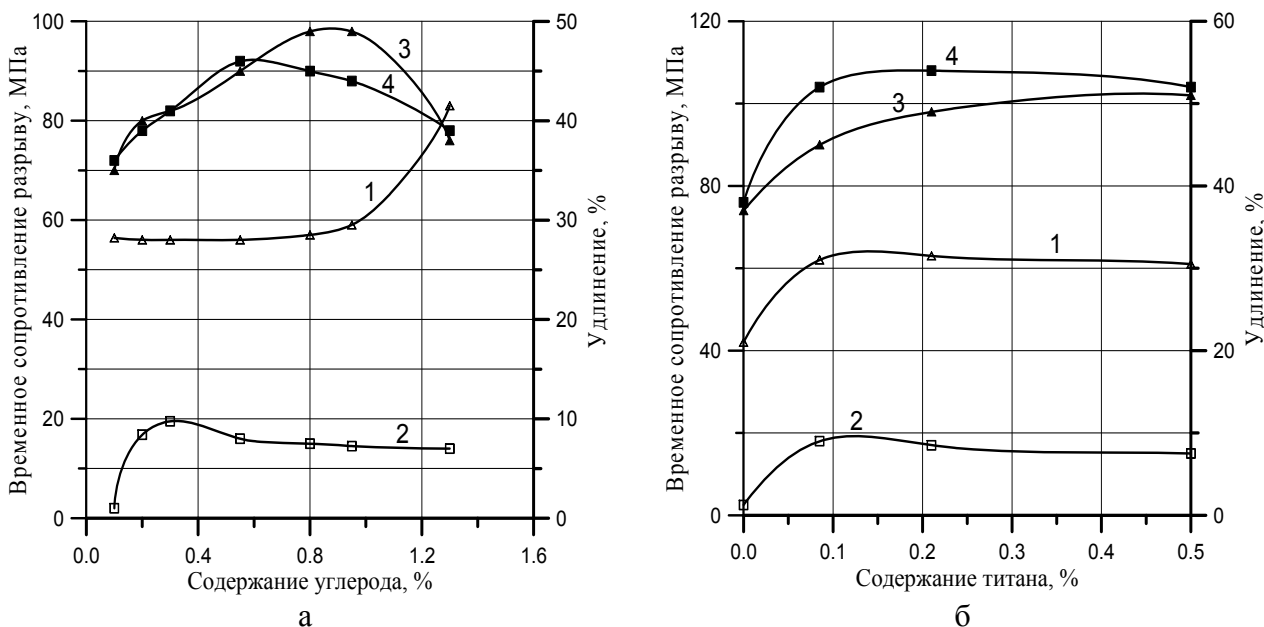


Рис. 1. Изменение механических свойств хромоалюминиевой стали (25,2 % Cr, 2,3 % Al) в зависимости от содержания углерода (а) и титана (б):

1 – прочность при 800 °С; 2 – прочность при 1000 °С; 3 – относительное удлинение при 800 °С; 4 – относительное удлинение при 1000 °С

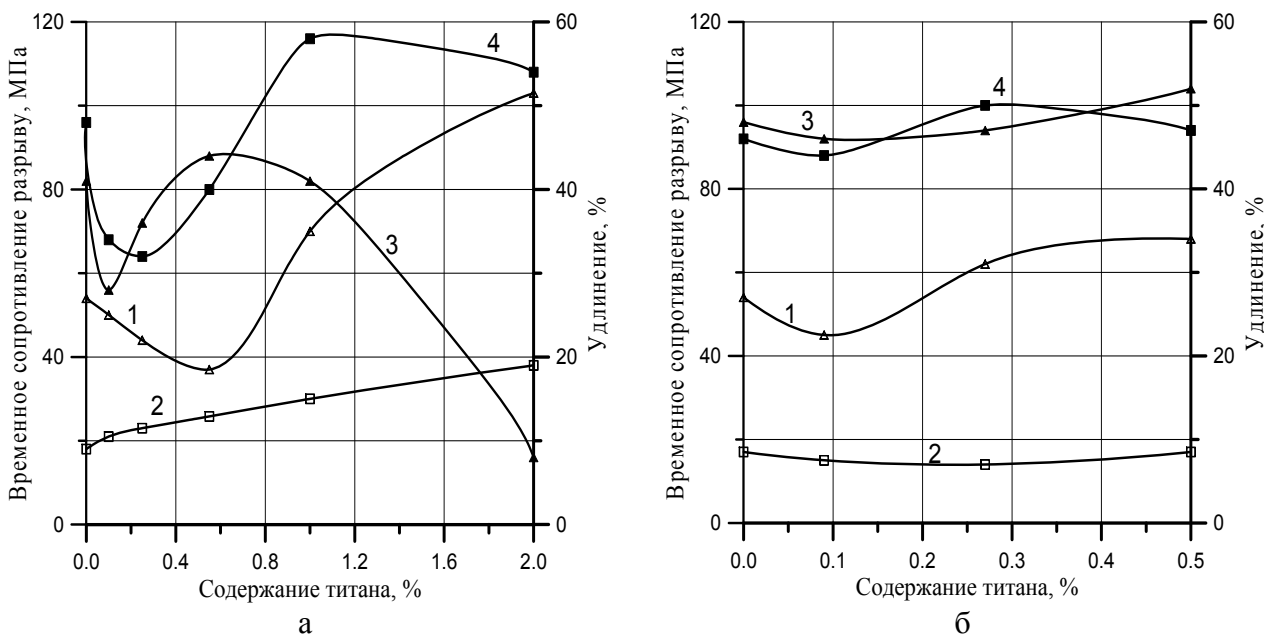


Рис. 2. Влияние титана на механические свойства хромоалюминиевой стали (0,32 % С, 24,6 % Cr, 2,3 % Al) (а) и (0,45 % С, 23,5 % Cr, 2,4 % Al) (б):

1 – прочность при 800 °С; 2 – прочность при 1000 °С; 3 – удлинение при 800 °С; 4 – удлинение при 1000 °С

Полученные результаты изменения пластических характеристик дают возможность предположить положительное поведение металла во время термомеханической обработки.

Исследованием структуры образцов установлено, что трещины и микродефекты в структуре отсутствуют, что позволяет сделать вывод относительно возможностей применения термомеханической обработки, при этом температура является наиболее действенным фактором.

Исследованы и проанализированы способы и параметры технологических процессов производства проката из высокохромистых сталей, содержащих 23,0...28,0 % хрома, 0,1...0,2 % углерода и 0,3...0,7 % никеля, алюминия, меди.

Установлено, что температурный режим (температура начала и конца обработки) при прокатке, степень обжатия и темп термомеханической обработки в значительной степени зависят от содержания углерода и хрома.

Прессование изделий из высокохромистых сталей связано с определенными трудностями из-за необходимости осуществлять процесс при низких температурах (ниже 1000 °С) в условиях значительной разовой деформации. При более высоких температурах окончания деформации происходит интенсивный рост зерна и охрупчивание металла.

Для прессования прутков диаметром 10 и 12 мм на готовый размер выбраны заготовки диаметром 50 мм (черновой вариант – без механической обработки). После механической обработки заготовки имели диаметр 49 мм, рис. 3. Коэффициент вытяжки при этом составляет 25 и 17,3 соответственно. Вследствие низкого сопротивления деформации стали такие параметры позволяют производить прессование на прессе усилием 500 т.

В опытно-производственных условиях апробирован технологический процесс производства прутков диаметром 10 мм из жаростойких хромоалюминиевых сталей марок 25X25Ю2Т и 15X27ЮНТД.

Химический состав сталей, технология их выплавки и получения слитков разработаны с учетом требований дальнейшего горячего прессования.

Качество всех отпрессованных прутков было удовлетворительным, поверхностных дефектов не наблюдалось. Прутки выдерживали холодную гибку на угол до 100° без образования трещин, рис 4.

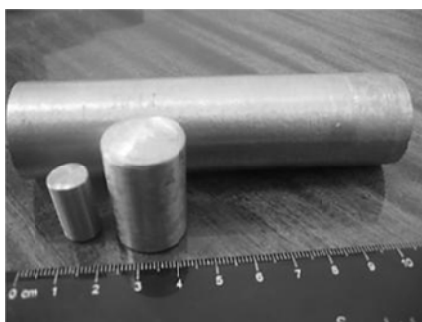


Рис. 3. Образцы для прокатки (большой) и исследования осадки металла (средний по размерам) и окалинстойкости



Рис. 4. Образец хромоалюминиевой стали после прессования в виде изогнутого прутка

Исследование качества прутков заключалось в установлении предельных отклонений их диаметра и оценки качества поверхности. Диаметр прутков отпрессованных на матрице с центральным отверстием находился в пределах 9,7...9,9 мм, что ниже номинала ($10 \pm 0,2$ мм).

Структуру хромоалюминиевой стали в литом состоянии и после прессования показано на рис. 5.



Рис. 5. Микроструктура хромоалюминиевой стали в литом состоянии (а) и после деформации (б)

Возможность и параметры термомеханической обработки стали определяли осадкой образцов, нагретых до разных температур. Результаты исследований представлено на рис. 6–9.

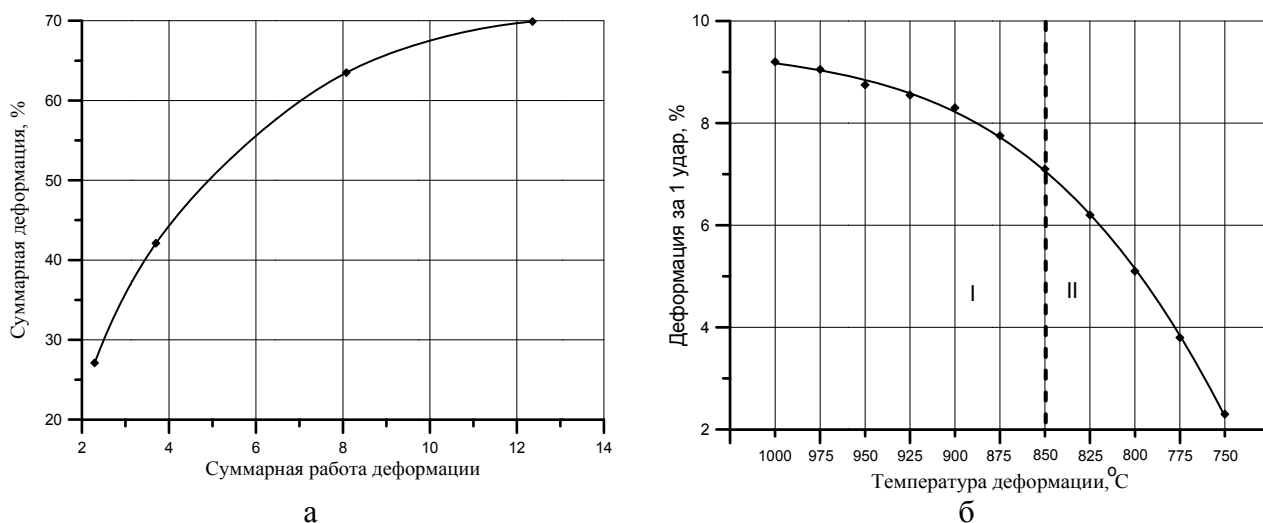


Рис. 6. Зависимость суммарной деформации от работы деформации (температурный интервал испытаний 1000...750 °С) (а) и деформации от температуры за один удар:

I – рекомендуемый температурный интервал термомеханической обработки;
 II – температурный интервал возможного образования трещин

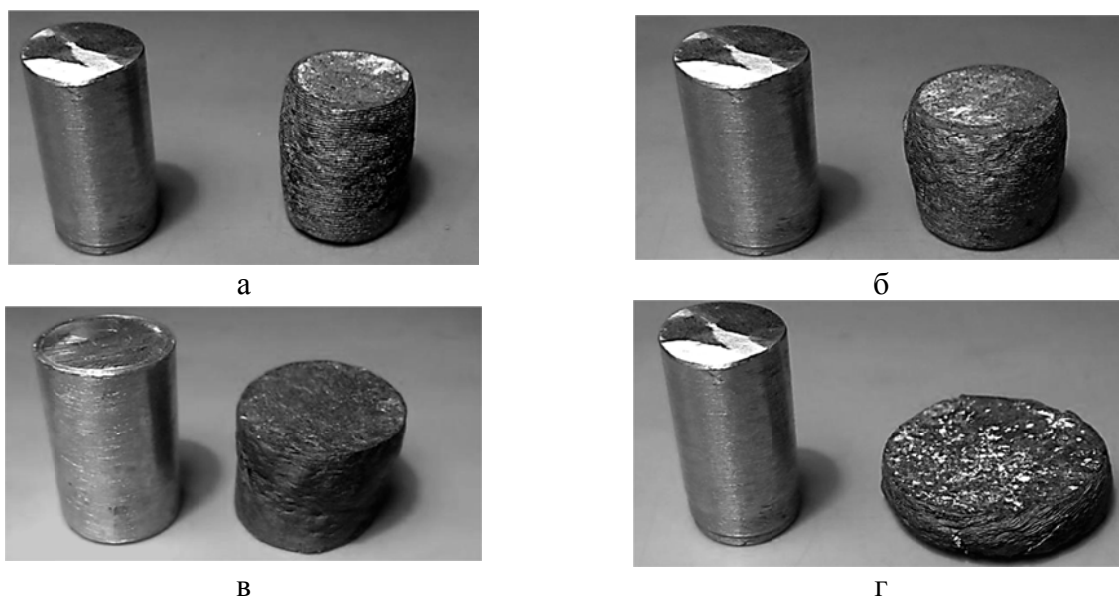


Рис. 8. Деформация образцов после разного количества ударов: а – после 3-х ударов; б – после 5-и ударов; в – после 10-и ударов; г – после 15-и ударов

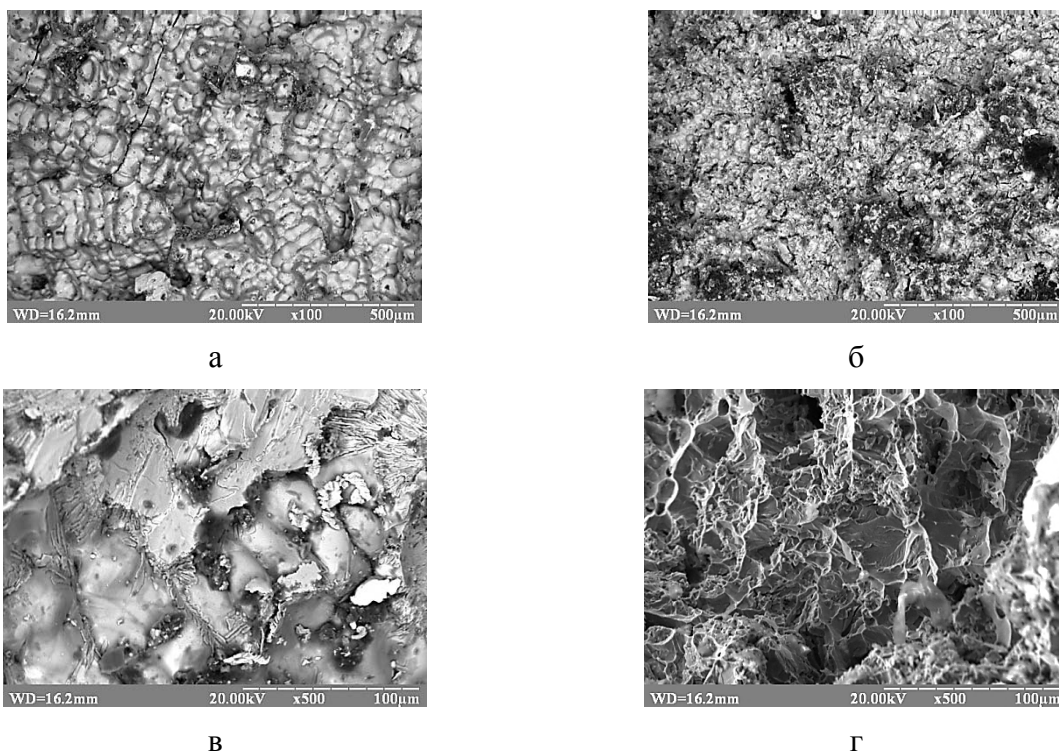


Рис. 9. Излом хромоалюминиевой стали в литом состоянии (а, в) и после термомеханической обработки (б, г)

Таким образом, проведенными исследованиями однозначно установлена возможность использования термомеханической обработки жаростойкой хромоалюминиевой стали с целью получения из нее проката.

ВЫВОДЫ

Изучены механические свойства сталей (с различным содержанием углерода и титана) при высоких температурах. Установлено, что лучшие характеристики для термомеханической обработки имеет сталь с содержанием 0,20...0,25 % углерода и 0,15...0,40 % титана.

Исследована возможность использования термомеханической обработки хромоалюминиевых сталей. Установлено изменение осадки образцов в зависимости от работы деформации и температурного интервала.

Установлен оптимальный температурный интервал термомеханической обработки хромоалюминиевой стали.

Для осуществления прокатки хромоалюминиевой стали температура заготовок должна быть в пределах 1000...1050 °С, а для осадки ковкой – в пределах 850...1000 °С.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаревич О. П. *Виробництво виливків із спеціальних сталей* / О. П. Макаревич, Г. Є. Федоров, Є. О. Платонов. – К. : Видавництво НТУУ «КПІ», 2005. – 712 с.
2. Шульте Ю. А. *Производство отливок из стали* / Ю. А. Шульте. – К. : Донецк : Вища школа, 1983. – 184 с.
3. Бернштейн М. Л. *Термомеханическая обработка металлов и сплавов* / М. Л. Бернштейн. – Т. 1, Т. 2. – М : Металлургия, 1968. – 1171 с.

Статья поступила в редакцию 04.11.2011 г.