

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ НА СВОЙСТВА ЖАРСТОЙКИХ ХРОМОАЛЮМИНИЕВЫХ СТАЛЕЙ

Национальный технический университет Украины „КПИ”, Киев

М.М. Ямшинский

Под руководством к.т.н., доцента Г.Е. Федорова

В качестве литейного материала для изготовления деталей, которые работают в условиях высоких температур и агрессивных сред, в последние годы используются недорогие и недефицитные хромоалюминиевые стали. Эти стали имеют в своем составе значительное количество хрома и алюминия, элементов, которые существенно снижают теплопроводность металла и способствуют образованию крупного первичного зерна. Такую структуру нельзя изменить никакими режимами термической обработки.

Практикой доказано, что эксплуатационные характеристики литых сталей, которые имеют крупное зерно, зависят, прежде всего, от состояния границ этих зерен. Кроме того, хромоалюминиевые стали имеют невысокую (600...650 °С) температуру рекристаллизации и изделия, изготовленные из них, теряют прочность уже при температурах эксплуатации выше 700 °С.

Прочностные и эксплуатационные характеристики таких сталей во многом зависят также и от разнотекстурности структуры, т.е. от наличия в микро- и макрообъемах изделия одновременно крупных и мелких зерен. Эксплуатация этих изделий при высоких температурах показывает, что в них существует большая вероятность появления на стыке крупных зерен микротрещин, которые со временем перерастают в макротрещины. Установлено, что чем меньше разница в размерах зерен, тем продолжительнее срок службы изделий, т.е. подтверждается тот факт, что наилучшие механические и специальные свойства имеют высоколегированные стали с однородной, максимально гомогенной структурой. Такую структуру можно получить путем изменения очередности ввода легирующих элементов в расплав во время выплавки сталей или их микролегированием и модифицированием.

Перечисленные факторы несколько снижают применение хромоалюминиевых сталей для изготовления литых жаростойких деталей, а решение этой задачи в современных условиях затруднено.

Исследованиями влияния алюминия на литейные свойства хромистой стали установлено, что практическая жидкотекучесть с повышением содержания алюминия несколько снижается вследствие образования оксидных пленок алюминия, однако при содержании больше 3% алюминия жидкотекучесть улучшается из-за существенного снижения температуры ликвидуса.

Увеличение концентрации хрома от 13 до 35% способствует некоторому улучшению жидкотекучести вследствие снижения температуры плавления

стали

С увеличением содержания хрома и алюминия линейная усадка стали уменьшается, что объясняется ростом в структуре ферритной составляющей.

Снижение линейной усадки способствует улучшению почти вдвое трещиностойкости хромоалюминиевых сталей.

Однако расширение интервала кристаллизации с ростом хрома негативно влияет на объемную усадку, что в значительной мере ухудшает условия формирования качественных отливок. Расширение интервала кристаллизации и снижение теплопроводности стали по мере повышения содержания в них хрома способствует увеличению усадочных пустот и концентрированной усадочной раковины. Небольшие добавки алюминия снижают полную объемную усадку из-за очищения металла от газов и других неметаллических включений и образования мелкозернистой структуры.

Изучено влияние очередности ввода титана и алюминия на свойства и структуру хромоалюминиевой стали. Исследованы три варианта: 1 – вводили в расплав титан + алюминий, 2 – 0,2% алюминия + титан + алюминий, 3 – алюминий + титан.

Установлено, что наилучший комплекс литейных и механических свойств имеет сталь, которая предварительно раскислена 0,2% алюминия.

Очередность ввода легирующих элементов практически не влияет на жидкотекучесть, линейная усадка уменьшается после более глубокого раскисления стали, при этом площадь трещины значительно уменьшается. Структура металла такой стали становится гомогенной, однородной вследствие чего повышается комплекс механических свойств (рис.1): повышается ударная вязкость, уменьшается твердость и главным образом повышается на 15...20% временное сопротивление разрыву.

Таким образом при изготовлении отливок ответственного назначения перед вводом легирующих элементов необходимо сталь предварительно раскислять по схеме: ферромарганец, ферросилиций и 0,2% алюминия.

Для эксплуатации литых жаростойких деталей при температурах до 1200 °С, в стали должно быть 25...30 % Сг. Это значит, что при этом повышается вероятность образования крупнозернистой структуры, а при наличии в стали больше 0,3 % С - значительного количества остроугольных железо-хромистых карбидов, которые располагаются на границах и в середине зерен и, являясь концентраторами напряжений, заметно снижают прочностные характеристики стали.

При изменении хрома в стали от 13 до 35 % размеры зерен увеличиваются с 87 до 120 мкм, поэтому наилучшие прочностные характеристики имеет сталь с 13 % Сг, а эксплуатационные (повышенную жаростойкость) - с 35 % Сг.



а – 0,28% Ti + 1,28% Al;

б – 0,2% Al + 0,27% Ti +
+ 1,02% Al;

в – 1,28% Al + 0,31% Ti.

Рис. 1. Влияние очередности ввода титана и алюминия на структуру хромоалюминиевой стали

Однако наилучший комплекс литейных, механических и эксплуатационных свойств имеет сталь с 28...32 % Cr. Следует отметить, что увеличение содержания хрома в стали способствует образованию в отливках хрупкой интерметаллидной σ -фазы, из-за чего снижаются пластические свойства стали.

Улучшить механические и эксплуатационные свойства хромистой стали удастся присадкой алюминия до 1,5 %. Вследствие легирующего и рафинирующего действия алюминия сталь приобретает сравнительно однородную и гомогенную структуру со средним размером зерна 40...45 мкм. Дальнейшее увеличение содержания алюминия в хромистой стали с целью повышения ее окалинстойкости приводит к заметному снижению теплопроводности стали, увеличению зерна, появлению крупных неметаллических включений после вторичного окисления расплава при разливке его в формы.

Рассмотрено влияние углерода и титана на свойства хромоалюминиевых сталей.

Установлено, что повышение концентрации углерода от 0,10 до 0,79 % измельчает зерно с 180 до 40 мкм, однако чрезмерная „начинка” стали карбидами, особенно после 0,4% C, заметно снижает пластичность и эксплуатационные свойства стали.

Эффективно измельчают первичное зерно хромоалюминиевой стали присадки титана в количестве 0,25...0,40 %. При увеличении содержания титана более 0,6 % в стали появляются крупные скопления мелких карбидов и карбонитридов титана, которые существенно снижают свойства стали.

Наиболее оптимальную структуру в отливках из хромоалюминиевой стали можно получить при содержании в ней, %: 28...32 Cr, 1,0...1,5 Al, 0,3...0,4 C и 0,3...0,6 Ti. При этом следует отметить, что в сталях, применяемых для работы в условиях умеренных нагрузок, содержание титана должно быть на верхнем пределе. Для получения фасонных тонкостенных отливок без дефектов усадочного характера сталь должна содержать до 0,3...0,4 % C и 0,50...0,65 % Ti.

Исследованиями влияния температуры перегрева металла при заливке в

формы на литейные и механические свойства установлено, что с увеличением температуры перегрева существенно повышается жидкотекучесть стали вплоть до критической температуры жидкотекучести, после которой в связи с постоянством свойств жидкого состояния жидкотекучесть практически не изменяется; полная объемная усадка и усадочные дефекты увеличиваются, линейная усадка и площадь трещин с увеличением температуры заливки значительно уменьшаются, что объясняется более длительным пребыванием металла в форме в жидком состоянии и освобождением его от газов и неметаллических включений.

Механические свойства стали с увеличением температуры ухудшаются, в результате роста зерна (рис.2).

Исходя из полученных результатов относительно влияния температуры заливки на свойства хромоалюминиевых сталей можно сделать такие выводы:

- при производстве простых по конфигурации и относительно толстостенных (30...40 мм) отливок температура заливки литейных форм должна быть в пределах 1560...1580°C;
- при изготовлении крупногабаритных тонкостенных отливок сталь необходимо перегревать до 1650...1700°C.

Теоретический и практический интерес представляют данные о влиянии хрома, как основного элемента и температуры перегрева стали на её склонность к пленообразованию. Влияние хрома на пленообразование изучали в диапазоне его концентрации от 22 до 30%. Установлено, что с увеличением содержания хрома длина неслитин увеличивается почти в 1,5 раза по сравнению с исходной (22%Cr).

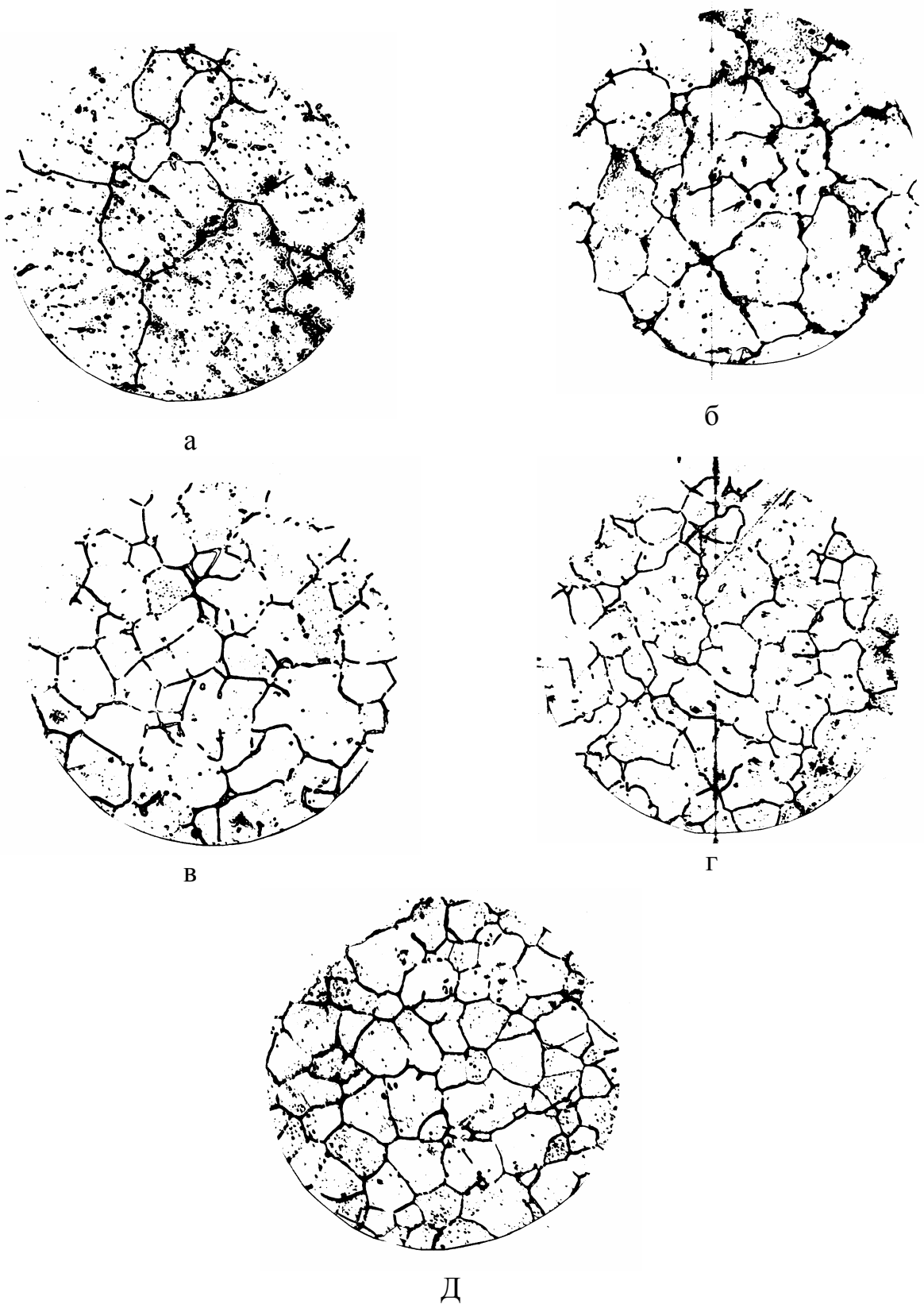
Температура перегрева оказывает противоположное действие на пленообразование: сталь с 30% хрома имеет значительно меньшую способность к пленообразованию при температуре 1580, чем при 1540°C. Это дает основание утверждать, что для получения качественных отливок температура металла, перед заливкой форм должна находиться в пределах 1560...1580°C.

Известно, что РЗМ на цериевой или лантановой основах являются хорошими дегазаторами, десульфураторами и дефосфораторами. С учетом того, что на предприятиях машиностроительных заводов шихтовые материалы не отвечают необходимым требованиям, проведены исследования относительно влияния РЗМ на комплекс свойств хромоалюминиевых сталей с целью улучшения металла в литой детали.

При введении до 0,3% РЗМ образуются несмачиваемые оксиды, которые прежде всего способствуют снижению температуры пленообразования, что повышает все литейные и механические свойства стали. Кроме этого осуществляется достаточно глубокая десульфурация и дефосфорация металла.

При увеличении РЗМ более 0,3% образуются тугоплавкие соединения, которые не успевают всплывать на поверхность металла, остаются в нем и снижают как литейные так и механические свойства.

Работы украинских ученых последних лет показывают, что РЗМ, кроме названных действий, в значительной мере очищают расплав от легкоплавких примесей (олова, цинка, свинца, сурьмы, висмута и др.).



а – 1710°C; б – 1660°C; в – 1620°C; г – 1570°C; д – 1530°C. (X100)

Рис. 2. Влияние температуры стали при заливке формы на её структуру (сталь 35X30ЮТЛ).

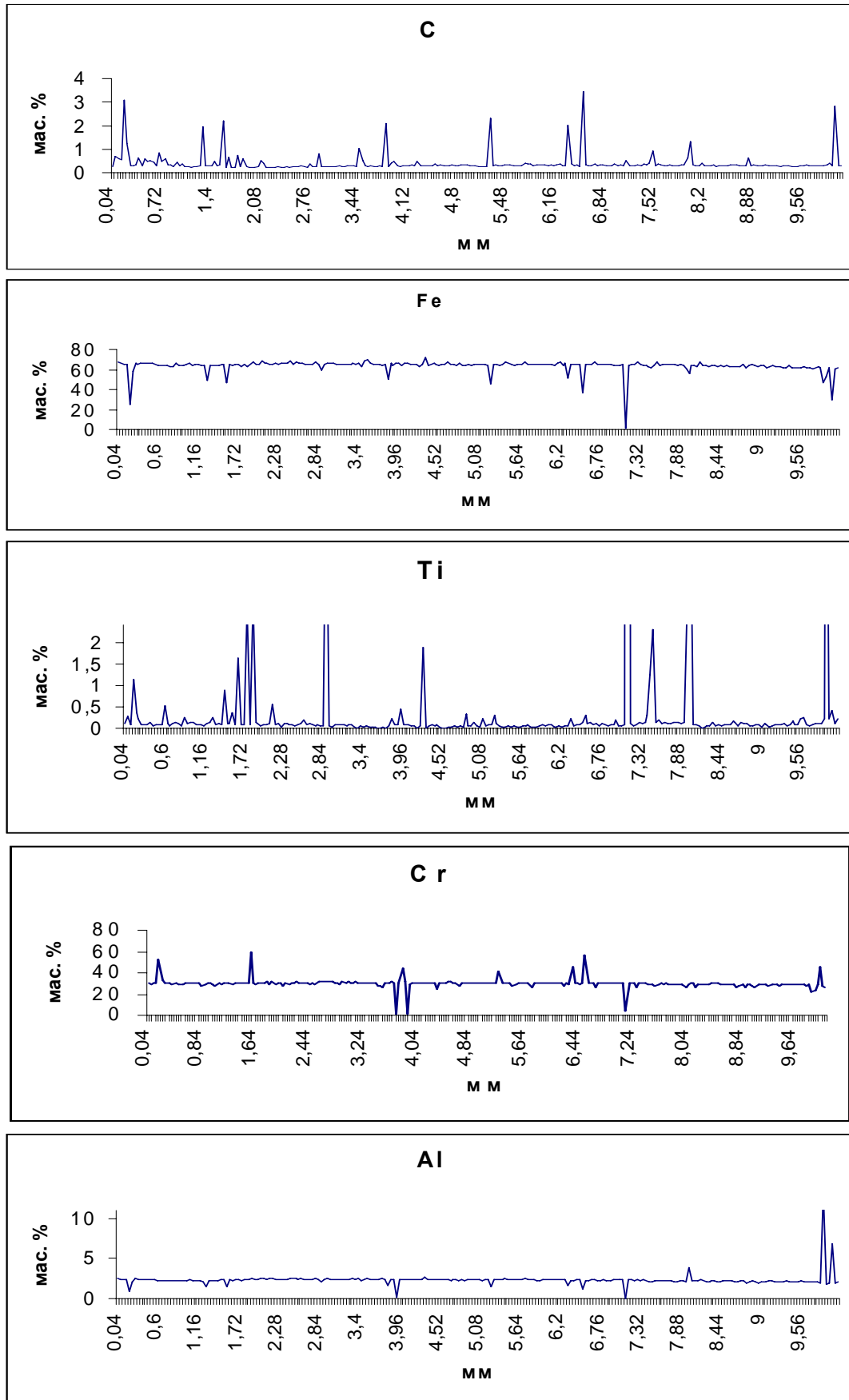


Рис. 3. Распределение легирующих элементов от периферии к центру образца

Практика подтверждает теоретические расчеты относительно того, что при высоких температурах процесс испарения легкоплавких примесей происходит не в полной мере и примеси остаются в виде сложных соединений, которые снижают механические свойства отливки. РЗМ образуют оболочку вокруг легкоплавких компонентов и этим создают крупные неметаллические включения, которые всплывают в шлак и очищают металл от вредных примесей.

Наши исследования показали, что наилучший комплекс свойств имеет хромоалюминиевая сталь, дополнительно обработанная РЗМ в количестве 0,15...0,25% (по расчету).

В условиях Фрайбергской горной академии (Германия) с использованием современной техники исследованы распределение легирующих элементов по сечению отливки (рис. 3) и кинетика окисления образцов. Поскольку толщины стенок литых деталей, которые работают при высоких температурах, как правило, не превышают 20мм, то в исследованиях выбран образец диаметром 15мм.

Установлено, что хром и углерод склонны к сегрегационным процессам – это хорошо совпадает с литературными данными; алюминий меньше склонен к сегрегации, а это значит, что рабочая поверхность детали в процессе эксплуатации будет все время иметь пленку оксидов одинакового состава. Титан неравномерно располагается по сечению отливки, поскольку он расходуется и на образование карбонитридов, которые повышают механические свойства, и на образование твердого раствора с железом, и на раскисление металла.

Изучение кинетики окисления показало, что образцы которые не поддавались механической обработке, имели меньшую степень окисления вследствие наличия на его поверхности плотной пленки оксидов, которая образовалась в литейной форме.

Образцы, которые поддавались механической обработке, окислялись интенсивнее.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что для работы при высоких температурах и в агрессивных средах лучше использовать литые, а не механически обработанные детали.

Изучение распределения элементов и кинетики окисления еще раз подтвердило перспективность использования хромоалюминиевых сталей для изготовления отливок, которые работают при высоких температурах и агрессивных средах.