

ПОВЫШЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ СТАЛИ 110Г13Л И ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СПЕЦИАЛЬНЫХ МАШИНАХ, ЛЕГИРОВАНИЕМ Mo, Ni И МОДИФИЦИРОВАНИЕМ РЗМ

Д.А. Цуркан, А.Н. Леонтьев, А.В. Ишков

Осуществлено легирование стали 110Г13Л молибденом и никелем и модифицирование ее гадолинием. У полученных материалов исследованы физико-механические характеристики, влияющие на конструкционную прочность стали. Установлено, что легирование высокомарганцовистого аустенита элементами Mo, Ni и модифицирование Gd повышает его предел прочности в 1,22 - 1,32 раза, ударную вязкость в 1,55 - 2,09 раза и в 5 - 6 раз снижает содержание серы и фосфора в материале.

Ключевые слова: литая сталь, марганцовистый аустенит, легирование, модифицирование, конструкционная прочность материала.

Введение

Создание новых, более совершенных высоконагруженных деталей и узлов различной техники является важной научной и практической задачей современного машиностроения. Не являются здесь исключением и детали гусеничного движителя специальных машин, тракторов, землеройной техники, и т.п. работающие в уникальных по сочетанию нагрузок, скоростных режимов, изнашивающих и агрессивных факторов условиях [1]. Конечно, сама конструкция основного элемента этого типа движителя - гусеничного трака, играет большую роль в его долговечности, надежности и других технических характеристиках, но определяющую роль в формировании потенциала его прочностных свойств, дает материал, из которого изготовлен данный узел.

В настоящее время для изготовления траков гусеничного движителя специальных машин - тягачей, вездеходов, карьерной техники, а также бронемашин (танков, САУ, бронетранспортеров и др.) нашли литые стали 110Г13Л, 38ХС и др. [2]. По износостойкости, отпускной хрупкости, устойчивости к высоким статическим и динамическим нагрузкам, высокомарганцовистая аустенитная сталь 110Г13Л намного превосходит 38ХС и другие аналогичные стали. При деформации на 60-70 % твердость стали 110Г13Л увеличивается в 2-2,5 раз, что объясняется большими искажениями кристаллической решетки, дроблением блоков мозаики, наклепом и даже образованием структуры мартенсита в

поверхностных слоях [3]. Но сталь 110Г13Л не сваривается, а механической обработке поддается, только полностью имея структуру однородного марганцовистого аустенита с HB=200-230, после закалки с 1050-1100 °С в воде, поэтому из нее удастся получать готовые детали только по литейной технологии.

В то же время известна и высокая чувствительность стали 110Г13Л к условиям плавки и незначительному изменению содержания С, Si, S и других элементов, приводящему к невоспроизводимости таких параметров ее конструкционной прочности как σ_B , $\sigma_{0,2}$, ψ , δ и КСЧ (ГОСТ 977-88, 21357-87), поэтому целенаправленное управление значениями физико-механических характеристик образцов плавок стали 110Г13Л, идущей на изготовление траков гусениц спецмашин и устанавливаемых по соглашению потребителя с изготовителем, не технологическими, а материаловедческими факторами является актуальной задачей.

В то же время известно, что легирование близких по свойствам к стали 110Г13Л высокомарганцовистых наплавочных материалов типа DFMB, DFME и пр. Cr, Ni и Mo, повышает не только пластичность, но и свариваемость материала, что немаловажно при ремонте и восстановлении литых деталей [4], а отпускная хрупкость отливок хорошо устраняется модифицированием материала редкоземельными металлами (РЗМ).

Целью настоящей работы являлось получение стали 110Г13Л, легированной Mo и Ni, а также модифицированной РЗМ, и

исследование ее физико-механических свойств, влияющих на конструкционную прочность материала.

Экспериментальная часть

Для получения марганцовистой стали 110Г13Л использовали низкоуглеродистую сталь Ст3 (ГОСТ 380-71) и ферросплавы: ФМн78 (ГОСТ 4755-91), ФМо60 (ГОСТ 4759-91), ФН-12Х (ТУ 48-3500-9-94), расчетное количество которых добавляли в исходную шихту.

Плавку осуществляли в индукционной печи ИСТ-0,25/0,32И1 (ОАО «Индуктор», г. Новозыбков) емкостью 200 кг с хромагнетитовой (основной) футеровкой под флюсом состава, мас. %: известь негашеная - 80, магнезит металлургический - 15, плавиковый шпат - 5. Металл раскисляли силикокальцием СК15 (ГОСТ 4762-71) и окончательно - алюминием (ГОСТ 11069-2001), присадкой в ковш при выпуске и перед подачей РЗМ.

В качестве модификатора использовали 75 % феррогадолиний IG75 (производство КНР), который вводили на штанге вместе с СК15 в разливочный ковш при его заполнении металлом на 1/3.

Химический состав стали устанавливали атомно-эмиссионным и рентгенофлуоресцентным методом на приборах FOUNDRY MASTER UV (ОАО «Алтайвагон», г. Новоалтайск) и ALPHA SERIES™ 2000 (ФГБОУ ВПО «АлтГУ», г. Барнаул).

Механические испытания образцов проводили на машине Р-5 по ГОСТ 1497-84, ударную вязкость по ГОСТ 9454-78. Влияние чувствительность к надрезам и предела выносливости определяли по ГОСТ 2860-65 на машине МУИ-6000 при 10^7 симметричных циклах нагружения.

Результаты и их обсуждение

Известно, что эффективность влияния легирующих элементов на прочность аустенитных упрочняемых сталей, к которым относится и 110Г13Л, возрастает в следующем порядке: Ni, V, Mo, Cr, Mn. Это связано с увеличением энергии упругого искажения решетки твердого раствора Fe-Me с ростом разности между атомными радиусами, модулями упругости и валентностями легирующего элемента [5]. Кроме того на прочностные свойства сплава влияет предел растворимости легирующего элемента в γ -фазе.

Конструкционная прочность материала

возрастет с увеличением количества элементов, стабилизирующих мартенситную структуру стали 110Г13Л, а также суммарного количества растворенных атомов в элементарной ячейке Fe-раствора при комплексном легировании.

Ранее, для исследования свойств сложнолегированного марганцовистого аустенита, в [6] был предложен оригинальный метод оценки эффективности влияния отдельных элементов по их концентрациям, эквивалентным определенному количеству Mo. Так 1 % Mo в стали 110Г13Л эквивалентно: 2,8 % Ni, 1,5 % V, 0,6 % Cr; 0,55 % Mn.

Поэтому нами были получены 4 плавки стали 110Г13Л с близким фазовым составом, содержащие различные количества легирующих элементов, эквивалентные 1 % Mo.

Состав опытных плавки стали 110Г13Л приведен в табл. 1.

Таблица 1. Состав опытных плавки стали 110Г13Л

№	Содержание элемента, %						
	C	Mn	Si	Cr	X	S	P
1	0,65	13,3	0,32	-	-	0,01	0,02
2	1,15	13,3	0,54	0,57	0,3Mo	0,02	0,02
3	1,15	13,3	0,55	0,57	0,6Mo	0,01	0,02
4	0,74	13,3	0,38	0,63	2,88Ni	0,01	0,02

Примечание: X - легирующий элемент из группы Ni, Mo.

В качестве критериев для первоначальной оценки эффективности легирования и модифицирования стали 110Г13Л нами были приняты эффективный коэффициент концентрации напряжений K_σ и показатель чувствительности материала к надрезам q , рассчитываемые по формулам 1-2:

$$K_\sigma = \sigma_{-1} / \sigma_{-1k}, \quad (1)$$

$$q = (K_\sigma - 1) / (\alpha_\sigma - 1), \quad (2)$$

где σ_{-1} - предел выносливости гладкого образца, σ_{-1k} - предел выносливости напряженного образца, α - теоретический коэффициент концентрации напряжений.

Данные, приведенные в табл. 2, свидетельствуют о более высоком уровне конструкционной прочности и выносливости сложнолегированной стали по сравнению с исходной.

Так легирование стали 110Г13Л

ПОВЫШЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ СТАЛИ 110Г13Л
И ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В СПЕЦИАЛЬНЫХ МАШИНАХ,
ЛЕГИРОВАНИЕМ Mo, Ni И МОДИФИЦИРОВАНИЕМ РЗМ

элементами Mo и Ni снижает ее чувствительность к концентраторам напряжений. Напротив, при испытании гладких образцов усталостная прочность обычной и модифицированной сталей практически одинакова (табл. 2).

Таблица 2. Прочностные характеристики образцов из опытных плавок стали 110Г13Л

№	Параметр							
	σ_B	σ_σ	δ	ψ	KCU	σ	K_σ	q
1	623	386	17,2	38,4	510	263	0,74	2,3
2	851	684	17,5	38,7	840	350	0,69	1,0
3	847	680	18,4	40,6	1070	345	0,75	1,1
4	792	639	17,6	39,2	792	322	0,72	1,2

Примечание: KCU измерена при 20 °С.

Полученные результаты могут быть обусловлены характером формирующихся при литье неметаллических включений, их формой и расположением в материале. Структура литой стали после термического улучшения (закалка 860-880°С, отпуск 590-610°С) у всех вариантов плавок оказалась идентичной и представлена сорбитом отпуска.

Раскисление и модификация стали 110Г13Д добавкой Gd снижает растворимость серы, фосфора и кислорода (табл. 1). В результате при кристаллизации отливки в ней интенсивно идут процессы зарождения большого количества мелких кристаллов новых неметаллических фаз (сульфидов, фосфидов, оксисульфидов и др.), формирующихся как на границах зерен, так и в объеме всей отливки, что обеспечивает ее дисперсное упрочнение.

Размер аналогичных включений в необработанном модификаторами металле выше а их морфология иная, что повышает хрупкость такого материала (табл. 2). Это можно определить, например, при исследовании микрохимической неоднородности немодифицированной стали с помощью электронного микроскопа [7].

Выявленное снижение чувствительности к надрезу и предела выносливости у модифицированной стали 110Г13Л, по-видимому, обусловлено тем, что глобулярные РЗМ-содержащие частицы не способствуют зарождению усталостных трещин и их развитию.

Напротив, вытянутые остроугольные включения сульфидов марганца в немодифицированной стали, содержащей Cr,

могут служить концентраторами напряжений и обуславливать возникновение усталостных трещин.

Выводы

1. Проведены исследования прочностных свойств стали 110Г13Л легированной Mo, Ni и модифицированной Gd.

2. Установлено, что введение в состав высокомарганцовистого аустенита Mo до 0,6 а Ni до 2,88 мас. % позволяет повысить σ материала от 1,22 до 1,32 раза, а его ударную вязкость от 1,55 до 2,09 раза.

3. Модифицирование стали 110Г13Л феррогадолинием позволяет снизить содержание серы и фосфора в материале в 5 и 6 раз, соответственно, и уменьшить его отпускную хрупкость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чобиток В. А., Данков Е. В., Брижинев Ю. Н. и др. Конструкция и расчёт танков и БМП. -М.: Воениздат, 1984.
2. Кривцов Ю.С., Горобченко С.Л. Развитие литых сталей. // Материалы в машиностроении. - 2010. -№ 5(68). -С. 62-67.
3. Муляк Н.М. Анализ эксплуатационной стойкости отливок из стали 110Г13Л. // Известия Челябинского научного центра. -2001. -Вып. 4(13). -С. 28-30.
4. Welding Materials for Heat Resistant Alloy & Nickel Alloy. // Электрон. ресурс. режим доступа: <http://www.tokai-yogyo.co.jp/english/product/index.html#item01>
5. Рудюк С.И., Михайлова И.В., Томенко Ю.С. Влияние легирования и термической обработки на свойства заэвтектоидных сталей для прокатных валков. // Металловедение и термическая обработка металлов. 1990. - № 4. -С.21-24.
6. Филиппов М.А. Разработка новых и немагнитных сталей на основе исследования фазовых превращений в марганцовистом аустените. Дисс. докт. техн. наук. -Екатеринбург: УПИ, 1993.
7. Цуркан Д.А., Корзунин Ю.К., Расщупкин В.И. Повышение эксплуатационной надёжности машин. // Омский научный вестник. -2010. -№2. -С. 113-115.

Цуркан Д.А., ст. преп., подполковник,
Леонтьев А.Н., к.т.н., доцент, ген.-майор,
тел.: 8-(3812)-65-07-55,
e-mail: yakovleva_ng@sibadi.org
«Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия», г. Омск;
Ишков А.В., д.т.н., профессор
тел.: 8-(3852)-62-83-80; e-mail: olg168@rambler.ru
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»