

ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОЛЕСНОЙ СТАЛИ, СОДЕРЖАЩЕЙ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ

С. И. Губенко, д. т. н., проф., С. И. Пинчук, д. т. н., проф., Е. В. Белая

Национальная металлургическая академия Украины

Введение. В процессе эксплуатации железнодорожных колес при одновременном воздействии агрессивных компонентов окружающих сред и напряжений от динамических нагрузок часто происходит коррозионное разрушение стали. Процесс коррозии колесной стали, а также его влияние на структурные изменения в колесах при эксплуатации исследован в работе [1]. Исследования на изношенных железнодорожных колесах показали, что неметаллические включения являются центрами зарождения коррозионных повреждений. Целью настоящей работы было изучение влияния неметаллических включений на механические свойства колесной стали в различных средах.

Материалы и методики исследований. Исследования проводили на специально полученных плавках колесной стали, программно загрязненной различными типами неметаллических включений: в стали плавки 1 – сульфиды (Fe,Mn)S, FeS-MnS, в стали плавки 2 – Al_2O_3 , MnO \cdot Al $_2$ O $_3$, в стали плавки 3 – SiO $_2$, MnO \cdot SiO $_2$, FeO \cdot SiO $_2$, в стали плавки 4– TiCN. Применяли ускоренный метод испытаний склонности колесной стали к коррозионному растрескиванию, предложенный в работах [2,3]: на установке ИМ-12 для испытаний на растяжение, снабженной приспособлением для использования жидкой коррозионной среды, растяжение образцов со скоростью 1,8 мм/мин проводили на воздухе и в двух различных коррозионных средах: 5%-ном водном растворе NaCl и 1%-ном водном растворе H $_2$ SO $_4$, которые имитировали возможный состав сред при эксплуатации железнодорожных колес, в том числе при воздействиях атмосферных осадков и различных загрязнений. Испытания образцов \varnothing 7,62 мм на усталостную прочность проводили в тех. же средах на машине типа НУ при базе $N 3 \cdot 10^6$ циклов нагружений.

Результаты исследований и их обсуждение. Разрушение стали вследствие коррозионного растрескивания наиболее опасно, так как происходит внезапно (без заметной пластической деформации) при незначительной общей коррозии и напряжениях значительно ниже предела прочности. Такое разрушение возможно только при условиях одновременного воздействия на стальное изделие коррозионной среды и растягивающих напряжений от внешних нагрузок либо остаточных напряжений в изделии [2]. Испытания образцов колесной стали в различных средах показали, что зарождение коррозионных повреждений часто происходит вблизи неметаллических включений [1].

Испытания склонности стали к коррозионному растрескиванию показали, что механические свойства колесной стали, зависели от типа неметаллических включений при испытаниях на воздухе (табл. 1). Эти различия были связаны

со степенью пластичности включений [4]. Испытания в коррозионной среде 1 привели к перераспределению относительного влияния типа включения на механические свойства колесной стали. Предел прочности стали σ_B и сопротивление отрыву S_k наиболее значительно уменьшились для пл. 1 с сульфидными, для остальных видов включений это уменьшение менее значительно. Такие же закономерности видны в изменении характеристик пластичности δ и ψ . При этом четко наметился убывающий ряд по влиянию типа включения на свойства стали: сульфиды $(Fe, Mn)S$, $FeS-MnS \rightarrow$ корунд и шпинель Al_2O_3 , $MnO \cdot Al_2O_3 \rightarrow$ силикаты SiO_2 , $MnO \cdot SiO_2$, $FeO \cdot SiO_2 \rightarrow$ карбонитрид титана $TiCN$.

Указанный выше убывающий ряд просматривается после испытаний образцов опытных плавок в коррозионной среде 2, при этом ухудшение всех механических свойств более существенно для сталей со всеми видами включений по сравнению с испытаниями на воздухе. Наиболее чувствительными к воздействию коррозионной среды оказались такие свойства как сопротивление отрыву S_k , а также показатели пластичности – относительное удлинение δ и относительное сужение ψ . В максимальной степени все механические характеристики под действием коррозионной среды ухудшились в пл. 1 с сульфидными включениями по сравнению со свойствами, определенными при испытаниях в воздушной атмосфере.

Неметаллические включения способствуют снижению механических свойств колесной стали в коррозионных средах, поскольку они являются концентраторами напряжений [4], имеют различный уровень электропроводности и полупроводниковые свойства, отличные от таковых у стальной матрицы, а также способствуют протеканию адсорбционных процессов вдоль межфазных границ включение-матрица, что все вместе вызывает повышение электрохимической микрогетерогенности стали [5]. Очевидно, наиболее вредное влияние сульфидных включений на свойства колесной стали в коррозионных средах связано с наличием растягивающих остаточных напряжений вблизи этих включений; вблизи остальных исследованных включений эти напряжения являются сжимающими [4]. Таким образом, проявилось наиболее вредное влияние сульфидных включений на коррозионное растрескивание колесной стали.

Скоростной метод испытания колесной стали на ее склонность к коррозионному растрескиванию в слабо агрессивных коррозионных средах показал, что неметаллические включения проявляют себя как активные центры зарождения и развития коррозионных повреждений.

Известно, что основным критерием влияния окружающей среды на усталостную прочность сталей служит предел усталости, определяемый в различных средах. В качестве показателя, характеризующего влияние среды, принят коэффициент циклической прочности β при влиянии среды, представляющий собой отношение предела усталости, определенного при испытаниях в коррозионной среде, к пределу усталости, полученному при испытаниях на воздухе [6]. Этот коэффициент обычно меньше 1, поскольку усталостная прочность стали в агрессивной среде должна быть ниже усталостной прочности на воздухе. Чем больше величина этого коэффициента

Строительство, материаловедение, машиностроение

отличается от 1, тем сильнее проявляется влияние среды и неметаллических включений на усталостную прочность колесной стали.

Таблица 1.

Механические свойства колесной стали с разными неметаллическими включениями после испытаний на растяжение в разных средах

Опытная среда	Опытная плавка №	Вид включения	свойства			
			$S_{кз}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %
воздух	1	сульфиды (Fe,Mn)S, FeS-MnS	1105	1124	13,2	32,2
	2	Al ₂ O ₃ , MnO·Al ₂ O ₃	1053	1025	11,8	29,6
	3	SiO ₂ , MnO·SiO ₂ , FeO·SiO ₂	1109	1084	11,4	33,4
	4	TiCN	1071	1048	12,3	30,2
водный раствор NaCl	1	сульфиды (Fe,Mn)S, FeS-MnS	975	1015	10,1	27,4
	2	Al ₂ O ₃ , MnO·Al ₂ O ₃	1025	1018	10,8	28,2
	3	SiO ₂ , MnO·SiO ₂ , FeO·SiO ₂	1040	1075	11,1	28,5
	4	TiCN	1044	1040	11,1	28,9
водный раствор H ₂ SO ₄	1	сульфиды (Fe,Mn)S, FeS-MnS	834	960	8,9	24,2
	2	Al ₂ O ₃ , MnO·Al ₂ O ₃	906	988	9,1	26,3
	3	SiO ₂ , MnO·SiO ₂ , FeO·SiO ₂	945	997	10,2	27,1
	4	TiCN	962	1005	10,4	27,4

Результаты испытаний на усталостную прочность колесных сталей пл. 1 – 4 приведены в таблице 2. Очевидно, при испытаниях на воздухе величина предела усталости колесной стали определяется типом неметаллических включений (при одинаковом их содержании в плавке): самый высокий предел усталости у плавки 1 с сульфидами, потом он снижается у плавки 4 с карбонитридами титана, плавки 3 с силикатами и самое низкое значение σ_1 имеет плавка 2 с оксидами алюминия. Это несколько противоречит данным работы [4], где детально изучалось влияние типа включений на усталость различных сталей и где самыми опасными включениями при испытаниях на

воздухе признаны включения корунда, затем следуют нитриды, кремнезем и сульфиды (мы называет те включения, которые идентичны изучаемым в данной работе). Очевидно, для воздушной атмосферы величина коэффициента циклической прочности β для всех плавок колесной стали равна 1 (табл. 2).

Таблица 2.

Значения предела усталости σ_{-1} и коэффициента циклической прочности β колесной стали с различными типами включений

Опытная среда	Опытная плавка №	Вид включения	показатели циклической прочности	
			σ_{-1} , МПа	β
воздух	1	сульфиды (Fe,Mn)S, FeS-MnS	370	1
	2	Al ₂ O ₃ , MnO Al ₂ O ₃	324	1
	3	SiO ₂ , MnO SiO ₂ , FeO SiO ₂	355	1
	4	TiCN	367	1
водный раствор NaCl	1	сульфиды (Fe,Mn)S, FeS-MnS	292	0,79
	2	Al ₂ O ₃ , MnO Al ₂ O ₃	295	0,91
	3	SiO ₂ , MnO SiO ₂ , FeO SiO ₂	334	0,94
	4	TiCN	356	0,97
водный раствор H ₂ SO ₄	1	сульфиды (Fe,Mn)S, FeS-MnS	237	0,64
	2	Al ₂ O ₃ , MnO Al ₂ O ₃	275	0,85
	3	SiO ₂ , MnO SiO ₂ , FeO SiO ₂	312	0,88
	4	TiCN	345	0,94

Испытания в коррозионных средах привели к уменьшению величин предела усталости сталей опытных плавок. При испытаниях в среде 1 (5%-ный водный раствор NaCl) наиболее сильное снижение предела усталости наблюдается у пл. 1 с сульфидными включениями, которая становится лидером по вредному влиянию коррозионной среды на уменьшение предела усталости колесной стали. Это проявляется при анализе значений коэффициента циклической прочности β сталей с различными включениями (табл. 2). Кроме того, происходит перераспределение включений по степени

их вредного влияния на усталость стали по сравнению с данными работы [4], поскольку проявляется тенденция к образованию убывающего ряда по степени влияния неметаллических включений на предел усталости колесной стали: сульфиды (Fe,Mn)S, FeS-MnS → корунд и шпинель Al_2O_3 , $MnO \cdot Al_2O_3$ → силикаты SiO_2 , MnO SiO_2 , FeO SiO_2 → карбонитрид титана TiCN. Еще более четко выражены эти закономерности при испытаниях в среде 2 (1%-ный водный раствор H_2SO_4), о чем свидетельствуют как уменьшение значений предела усталости σ_{-1} , так и снижение величины коэффициента циклической прочности β колесной стали с различными типами включений по сравнению с результатами, полученными при испытаниях в среде 1 (табл.2).

Очевидно, по результатам испытаний колесной стали на усталостную прочность в коррозионных средах следует выделить наиболее вредное влияние сульфидных включений.

Выводы. Испытания на склонность колесной стали к коррозионному растрескиванию показали, что неметаллические включения существенно ухудшают механические характеристики. Наиболее чувствительными к воздействию коррозионной среды оказались сопротивление отрыву S_K и показатели пластичности δ и ψ по сравнению с пределом прочности σ_B . В максимальной степени все механические характеристики под действием коррозионной среды ухудшились в опытной плавке с сульфидными включениями.

Испытания на усталостную прочность в коррозионных средах показали, что самое сильное снижение предела усталости колесной стали наблюдается при наличии сульфидных включений. Определена степень вредного влияния типа неметаллического включения на механические свойства колесной стали в коррозионных средах.

Использованная литература.

1. Губенко С.И., Пинчук С.И., Белая Е.В. Влияние структурного состояния колесной стали на развитие коррозии. *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2009, №2, с. 69-73.
2. Степуренко В.Т. Об ускоренном методе определения склонности металла к коррозионному растрескиванию. В сб. Влияние рабочих сред на свойства стали. Вып. 1, изд-во АН УССР, К., 1961, с. 51-58.
3. Карпенко Г.В. Влияние активных жидких сред на выносливость сталей. К., изд. АН УССР, 1955, 206с.
4. Губенко С.И., Парусов В.В., Деревянченко И.В. Неметаллические включения в стали. Днепропетровск, АРТ-ПРЕСС, 2005, 536с.
5. Куслицкий А.Б. Неметаллические включения и усталость стали. К., Техника, 1976, 128с.
6. Лихтман В.И., Шукин Е.Д., Ребиндер П.А. Физико-химическая механика материалов. М., изд. АН СССР, 1962, 303с.