

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Н. К. ТУРСУНОВ, А. А. САИДИРАХИМОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Механические свойства материала характеризуют его сопротивление разрушению, деформации или поведение в процессе разрушения. К ним относятся твердость, пластичность, прочность, упругость, ударная вязкость, сопротивление усталости (выносливость) и др.

Одним из основных критериев качества металла является его хладостойкость, т. е. высокая пластичность и вязкость при низких температурах.

Химический состав и механические свойства стали марки 20ГЛ по ГОСТ 32400-2013 приведены в таблицах 1 и 2 [1].

Таблица 1 – Химический состав стали 20ГЛ

В массовых процентах

C	Si	Mn	Al	P	S	Cr	Ni	Cu	Fe
0,17 – 0,25 (–0,020)	0,30 – 0,50 (±0,10)	1,10 – 1,40 (±0,10)	0,020 – 0,060 (+0,005)	0,020 (+0,005)	0,020 (+0,005)	0,30 (+0,20)	0,30 (+0,30)	0,60	ост.
Примечание – В скобках указаны допускаемые отклонения по химическому составу стали.									

Таблица 2 – Механические свойства стали 20ГЛ

Предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость, KCV ⁶⁰ , кДж/м ²
не менее				
343	510	18	30	200

Рассмотрены результаты анализа проб на химический состав и механические характеристики некоторых плавок стали марки 20ГЛ. На рисунке 1 показана зависимость механических характеристик от содержания углерода в стали.



Рисунок 1 – Зависимость механических свойств от содержания углерода

Из рисунка 1 видно, что с увеличением содержания углерода прочность растет, а пластичность и ударная вязкость снижаются. С увеличением углерода от 0,19 до 0,25 % значительно снижается относительное удлинение стали от 30 до 24 %. Повышение содержания углерода в стали, сопровождающееся ростом доли перлита в структуре, приводит к увеличению предела прочности и снижению пластичности. Снижение ударной вязкости, возможно, связано с увеличением перлитной доли в стали.

Кремний также вводят в сталь для ее раскисления. Кремний входит в твердый раствор в феррите, повышает прочностные свойства стали.

На рисунке 2 представлена зависимость механических характеристик от содержания кремния в стали.

Из рисунка 2 видно, что с увеличением содержания кремния в пределах 0,35–0,50 % значение относительного удлинения и ударной вязкости незначительно снижается, а предел прочности повышается.

Марганец – это технологическая добавка, которую вводят в сталь для раскисления и десульфурации – устранения вредного влияния серы.

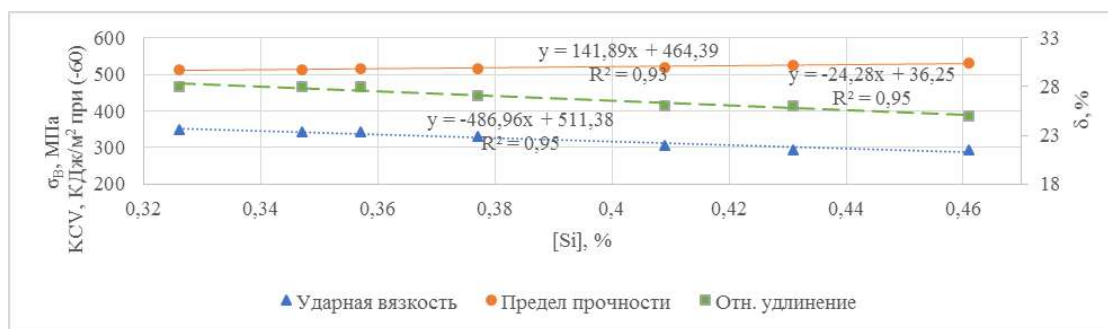


Рисунок 2 – Зависимость механических свойств от содержания кремния

На рисунке 3 показана зависимость механических свойств от содержания марганца.

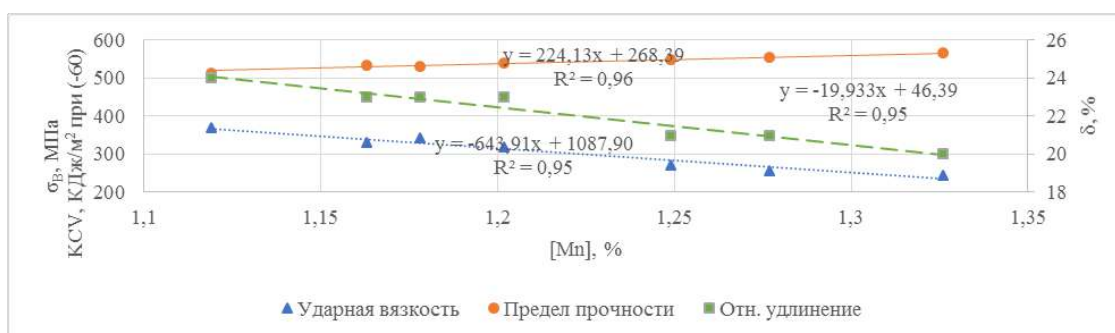


Рисунок 3 – Зависимость механических свойств от содержания марганца

Из рисунка 3 видно, что при повышении содержания марганца от 1,1 до 1,3 % относительное удлинение существенно уменьшается. Марганец также приводит к падению ударной вязкости, однако повышает предел прочности стали.

Алюминий играет роль раскисления и измельчения зерен, что повышает ударную вязкость и пластичность стали. Кроме того, азот может быть связан в нитриды, алюминий (0,05 %) вводят в ковш перед разливкой для получения наследственно мелкозернистой структуры [2].

На рисунке 4 показана зависимость влияния алюминия на механические свойства стали.

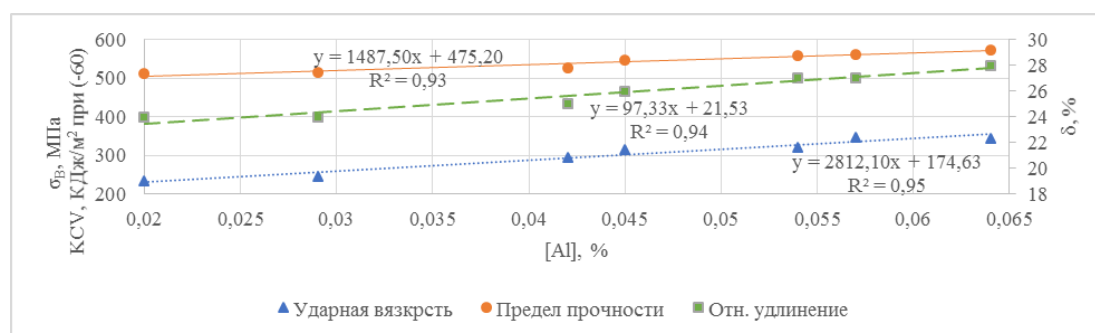


Рисунок 4 – Зависимость механических свойств от содержания алюминия

Из рисунка 4 видно, что при высоком содержании алюминия уровень механических характеристик стали достигает высоких значений. При раскислении алюминием содержание его должно быть на верхнем уровне по ГОСТ в пределах 0,04–0,06 %. Алюминий не оказывает явного вредного влияния на механические свойства стали.

Фосфор является вредной примесью, значительно снижает свойства стали. С повышением содержания фосфора увеличиваются хрупкость, прочность, хладноломкость, снижаются пластичность и вязкость стали [3].

Большой радиус атома серы (0,104 нм) по сравнению с атомом железа приводит к росту прочности и потере пластичности из-за напряженного состояния в решетке железа [4].

На рисунке 5 представлено влияние суммарного содержания серы и фосфора на механические характеристики стали.

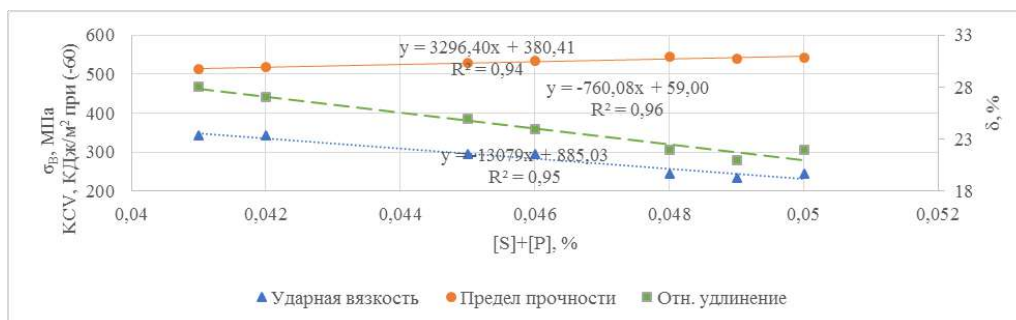


Рисунок 5 – Влияние серы и фосфора на механические свойства стали

Из рисунка 5 видно, что сера и фосфор являются вредными примесями, значительно снижая ударную вязкость и относительное удлинение. Особенно ударная вязкость снижается от 350 до 230 КДж/м² с увеличением суммарного содержания серы и фосфора от 0,040 до 0,050 %.

На рисунке 6 показаны неметаллические включения в стали 20ГЛ. Основная часть оксидных включений (эндогенные включения) образуются в результате раскисления во время присадки раскислителей и охлаждения жидкой стали (докристаллизационные) и во время ее кристаллизации (кристаллизационные) [5].



Рисунок 6 – Неметаллические включения в стали 20ГЛ

С повышением содержания серы сталь загрязняется сульфидными включениями. Падение ударной вязкости и пластичности объясняется не только загрязнением стали неметаллическими включениями, но и изменением растворимости серы, которая будет обогащать границы аустенитных и ферритных зерен при остывании металла [4]. Раскисление только алюминием не обеспечивает благоприятных форм и топографии неметаллических включений, а следовательно, и физико-механических свойств стали. Поэтому применяется комплексное модифицирование, при котором вместе с алюминием вводятся элементы для глобуляризации и более дезориентированного распределения оксидно-сульфидных образований. Наиболее перспективными в этом направлении являются щелочноземельные и редкоземельные металлы (ЩЗМ и РЗМ) [6].

Металлографические исследования проводили на поперечных шлифах из литого металла (трефовидных проб) и после травления 3%-м раствором HNO₃, в спирте. Использован модульный микроскоп «Olympus BX 41M LED» для определения микроструктуры металла.

На рисунке 7 представлена микроструктура стали 20ГЛ после термообработки.



Рисунок 7 – Микроструктура стали 20ГЛ после нормализации и отпуска (×100)

Микроструктура однородная, ферритно-перлитная, мелкозернистая, с равномерным распределением структурных составляющих. Балл зерна по ГОСТ 5639-82 – 8–9, что является допустимым по ГОСТ 32400-2013 (не ниже 8) [7].

Феррит – мягкая, пластичная составляющая структуры. Свойства феррита, в первую очередь, зависят от содержания в нем углерода, легирующих элементов и величины зерна. Углерод и азот,

образующие с железом твердые растворы внедрения, обеспечивают наиболее значительный эффект упрочнения феррита, что в основном обусловлено их сильным взаимодействием с дислокациями и закреплением последних [8].

На прочность феррита сильно влияет размер его зерна. С измельчением зерна феррита одновременно с дополнительным упрочнением снижается температура вязко-хрупкого перехода [8].

Таким образом, измельчение зерен феррита является эффективным способом упрочнения, поскольку одновременно уменьшается склонность к хрупкому разрушению.

Вязкость сталей с ферритно-карбидной структурой увеличивается при измельчении перлитных колоний и зерен феррита. Эти структурные параметры существенно зависят от размера аустенитного зерна. Поэтому для получения высокой степени механических свойств при проведении термической обработки стремятся получить мелкое аустенитное зерно [8].

Испытания показывают, что структура стали с минимальным содержанием вредных примесей и оптимальной легирующей системой обеспечивает высокий уровень прочности и эксплуатационной надежности. Таким образом, эффективное управление химическим составом и технологиями модифицирования стали позволяет получить оптимальные механические характеристики, необходимые для надежной и безопасной эксплуатации деталей подвижного состава.

Список литературы

- 1 ГОСТ 32400-2013. Рама боковая и балка надрессорная литые тележек железнодорожных грузовых вагонов. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2014. – 62 с.
- 2 Металловедение : учеб. для вузов : в 2 т. Т. 2. Термическая обработка. Сплавы / И. И. Новиков, В. С. Золоторевский, В. К. Портной [и др.] ; под общ. ред. В. С. Золоторевского. – 2-е изд., испр. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2014. – 528 с.
- 3 Семин, А. Е. Современные проблемы металлургии и материаловедения : практикум / А. Е. Семин, А. В. Алпатов, Г. И. Котельников. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2015. – 56 с. – ISBN 978-5-87623-890-0.
- 4 Лунев, В. В. Сера и фосфор в стали / В. В. Лунев, В. В. Аверин. – М. : Металлургия, 1988. – 256 с.
- 5 Электрометаллургия стали и ферросплавов : учеб. для вузов / Д. Я. Поволоцкий, В. Е. Рошин, М. А. Рысс [и др.] – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1984. – 568 с.
- 6 Дурынин, В. А. Исследование и совершенствование технологии производства с целью повышения ресурса стальных изделий из крупных поковок ответственного назначения / В. А. Дурынин, Ю. П. Солнцев. – СПб. : Химиздат, 2006. – 272 с. – ISBN 5-93808-127-0.
- 7 ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. – Взамен ГОСТ 5639-65 ; введ. 1983-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 15 с.
- 8 Смирнов, М. А. Основы термической обработки стали : учеб. пособие / М. А. Смирнов, В. М. Счастливцев, Л. Г. Журавлев. – М. : Наука и технологии, 2002. – 519 с.

УДК 669.14:536.7

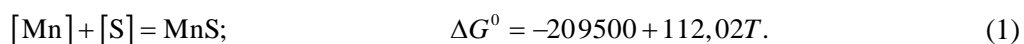
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОБРАЗОВАНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СТАЛИ МАРКИ 20ГЛ

Н. К. ТУРСУНОВ, А. А. САИДИРАХИМОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Неметаллические включения по природе происхождения разделяются на два вида:

- 1) эндогенные включения – образуются в результате химических реакций в процессе выплавки, раскисления, разливки, а также при кристаллизации вследствие изменения растворимости элементов;
- 2) экзогенные включения – соединения, попавшие в сталь из шихтовых и огнеупорных материалов. Эти включения также могут образовывать комплексные соединения [1]:



$$\lg K_{\text{MnS}} = -\frac{\Delta G^0}{2,3RT} = -\frac{-209500 + 112,02T}{2,3 \cdot 8,31 \cdot T} = \frac{10961,12}{T} - 5,86. \quad (2)$$

$$K_{\text{MnS}} = \frac{a_{\text{MnS}}}{a_{\text{Mn}} \cdot a_{\text{S}}} = \frac{1}{[\text{Mn}] \cdot f_{\text{Mn}} \cdot [\text{S}] \cdot f_{\text{S}}} = \frac{1}{[\text{Mn}] \cdot [\text{S}]}. \quad (3)$$