ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МОДИФИЦИРОВАНИЯ РАСПЛАВА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛИ ОСОБО ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Нодиржон Каюмжонович Турсунов, д.т.н.,
заведующий кафедрой «Материаловедение и машиностроение»
Ташкентского государственного транспортного университета,
главный советник директора АО «Литейно-механический завод»

Челябинск- 2023 год

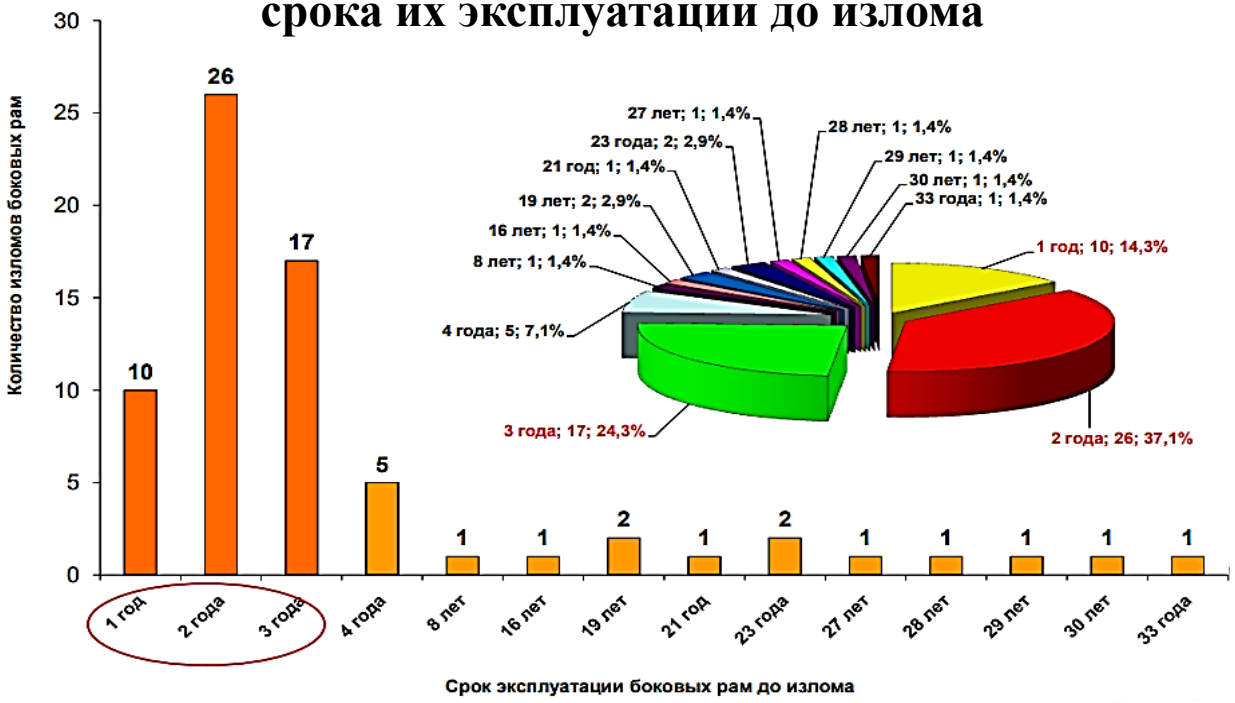
Актуальность и востребованность доклада

Увеличение грузоперевозок в мире предъявляет повышенные требования к стали, используемой, для изготовления железнодорожных деталей и ставит новые задачи в области металлургии, при этом надежность и долговечность являются важнейшими из них. Выполнение этих требований определяет конкурентоспособность изделий на соответствующем сегменте рынка железнодорожного транспорта.

На сегодняшний день перед металлургической отраслью поставлена задача повышение качества выплавляемой стали. Прежде всего, это относится к конструкционному металлу, который на данный момент не всегда удовлетворяет требованиям потребителей по эксплуатационным характеристикам. Традиционные приемы внепечной обработки металла при выплавке исходного полупродукта, как в дуговых, так и в индукционных печах имеют ряд ограничений по степени рафинирования от таких примесей как фосфор, сера, кислород, неметаллические включения и других, во многом определяющих качество готовой металлопродукции.

Анализ **«Современное состояние процессов рафинирования металлических расплавов»** показывает, что качества литых деталей железнодорожного транспорта, распределение изломов деталей зависит от срока и их условия эксплуатации.

Распределения изломов боковых рам в зависимости от срока их эксплуатации до излома



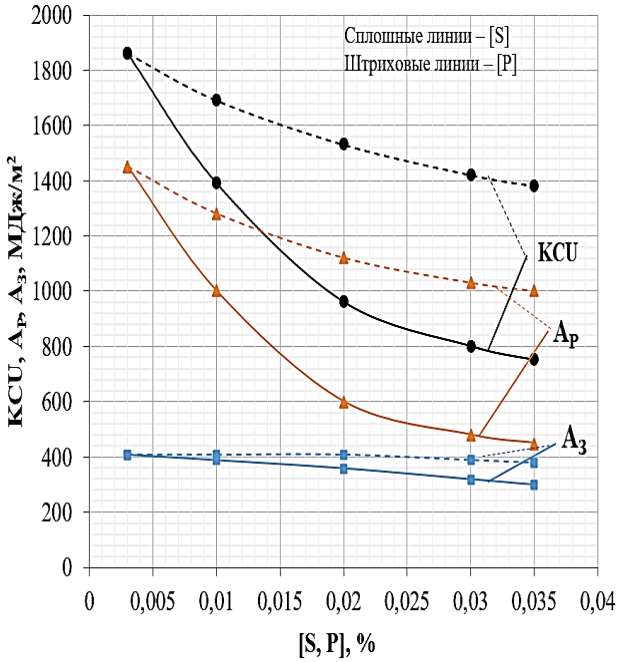
На данный момент в СНГ сертификаты имеют шесть основных предприятий на выпуск боковых рам. Кроме этого, на рынке представлена продукция крупного вагонного литья других стран, которая сертифицирована в СНГ. По данным ВНИИЖТ 44% изломов происходит из-за дефектов литья, 38% из-за перегруза, 12% неудовлетвори-тельного содержание пути, 6% других факторов.

Всего изломов боковых рам в 70 случаях, из них 53 или 76 % боковых рам эксплуатировались не более 3 лет до излома.

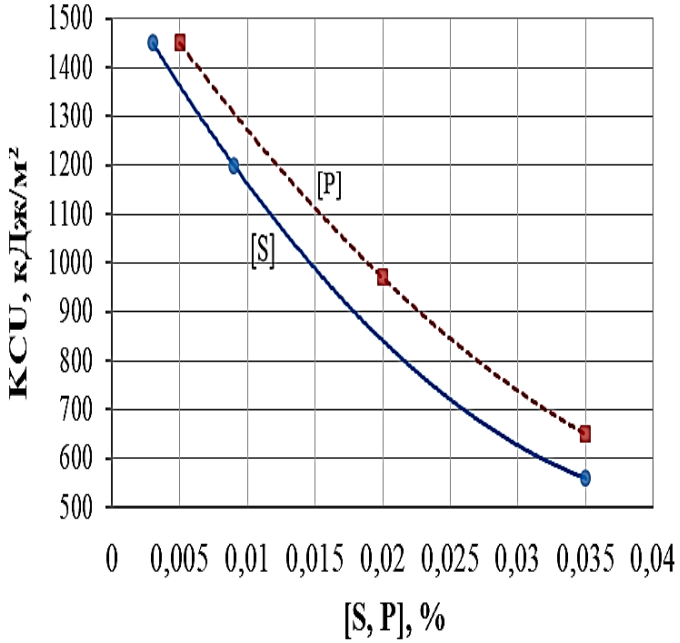
Основными деталями тележек грузовых вагонов, получаемых методами стального литья, являются боковая рама, надрессорная балка тележки и элементы тягового устройства. Наибольшим нагрузкам в процессе эксплуатации подвержена боковая рама тележки, которая воспринимает нагрузки от надрессорной балки и передаёт к колёсным парам.

Влияние вредных примесей на свойства стали

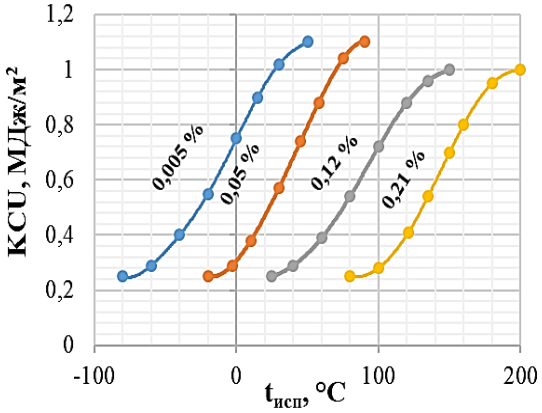
Влияние серы и фосфора на составляющие ударной вязкости



Влияние серы и фосфора на ударную вязкость стали 20ГЛ



Влияние температуры испытания на ударную вязкость металла при различных содержаниях [P]



В.В. Лунев, В.В. Аверин. Сера и фосфор в стали.

Проанализированы и исследованы научно-исследовательские работы зарубежных и отечественных ученых по улучшению качества, механических и эксплуатационных характеристик стали особо ответственного назначения. Показана зависимость механических свойств от содержания химических элементов и вредных примесей. Установлена причина излома особо ответственных деталей тележек грузового вагона. Показано, что на месте излома увеличены содержания таких примесей как сера и фосфор, который приводят к повышенной хрупкости металла.

Динамика изменения химического состава и механических свойств стали 20ГЛ

Химический состав и механические свойства стали 20ГЛ ГОСТ 32 400-2013

Массовая доля элементов, %								
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Al
			не более					
0,17 - 0,25	0,30 - 0,50	0,90 - 1,40	0,030 0,020*	0,030 0,020*	0,30	0,30	0,30	0,02 - 0,06

* С 01.01. 2016 г.

Наименование показателей	до 2016	с 2016
Предел текучести, МПа	**300**	**343**
Временное сопротивление, МПа	**500**	**510**
Относительное удлинение, %	**20,0**	**18,0**
Относительное сужение, %	**35,0**	**30,0**
Ударная вязкость KCV^{-60}, кДж/м^2	**170**	**200**

Поэтому с 2016 года были внесены изменения по химическому составу стали 20ГЛ по вредным примесям и механическим свойствам. Так как ряд предприятий сталкиваются с проблемой, заключающейся в низких значениях ряда параметров, характеризующих механические свойствам из-за повышенного содержания фосфора и серы.

Целью исследования является совершенствование технологического процесса модифицирования стали 20ГЛ в ковше.

«Экспериментальные исследования процесса модифицирования металла по улучшению эксплуатационных характеристик стали

С целью повышения эксплуатационной надежности и улучшения механических свойств, сталь в ковше обработано алюминием Al, силикокальцием СК30, порошковой проволокой ПП и редкоземельными металлами РЗМ по семи различным вариантам. ПП состоит из стальной оболочки, масса которого составляет 41 % от общей массы проволоки и порошкового наполнителя (24,5% Ca, 23,1% Al, 0,8% Si, 1,3% Mn, 0,25% C и 24,5% V). ПП добавлено после алюминия на 1/3 часть ковша в количестве 0,1 % наполнителя проволоки, РЗМ добавлено на тонкостенном стальном стержне в виде лигатуры (55,7% Ce, 34,75% La, 1,27% Nd, 6,03% Pr, 1,8% Fe, 0,45% прочие РЗМ) в количестве 0,1 % от массы металла.

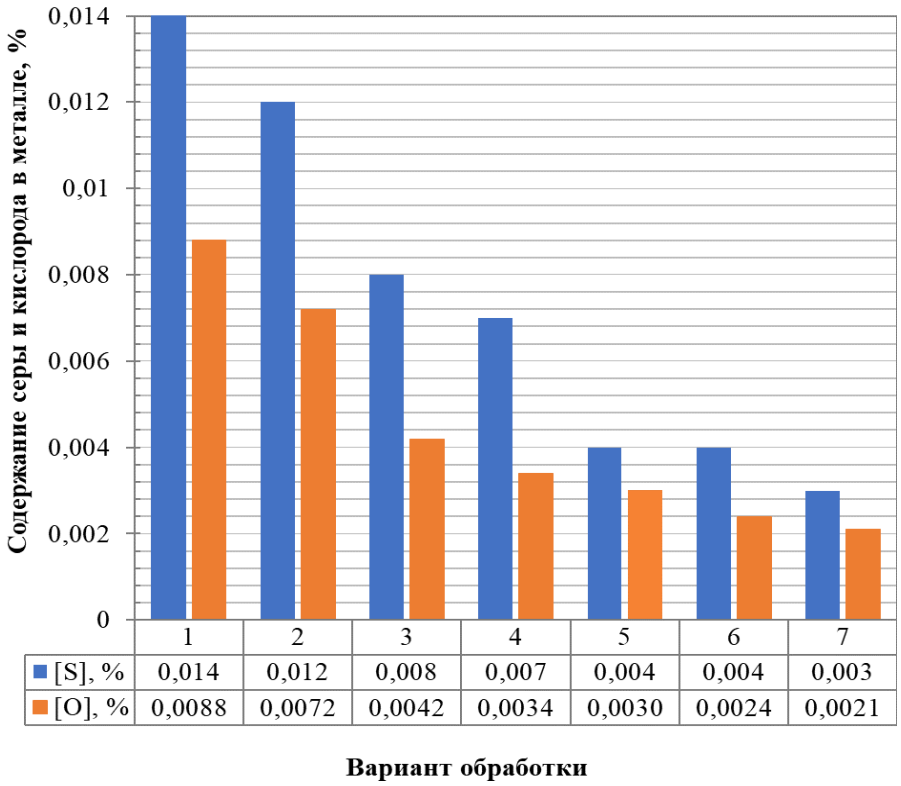
Химический состав металла перед процессом модифицирования, %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
0,208	0,465	1,195	0,014	0,015	0,119	0,123	0,135	0,012

Экспериментальные исследования процесса модифицирования металла по улучшению эксплуатационных характеристик стали

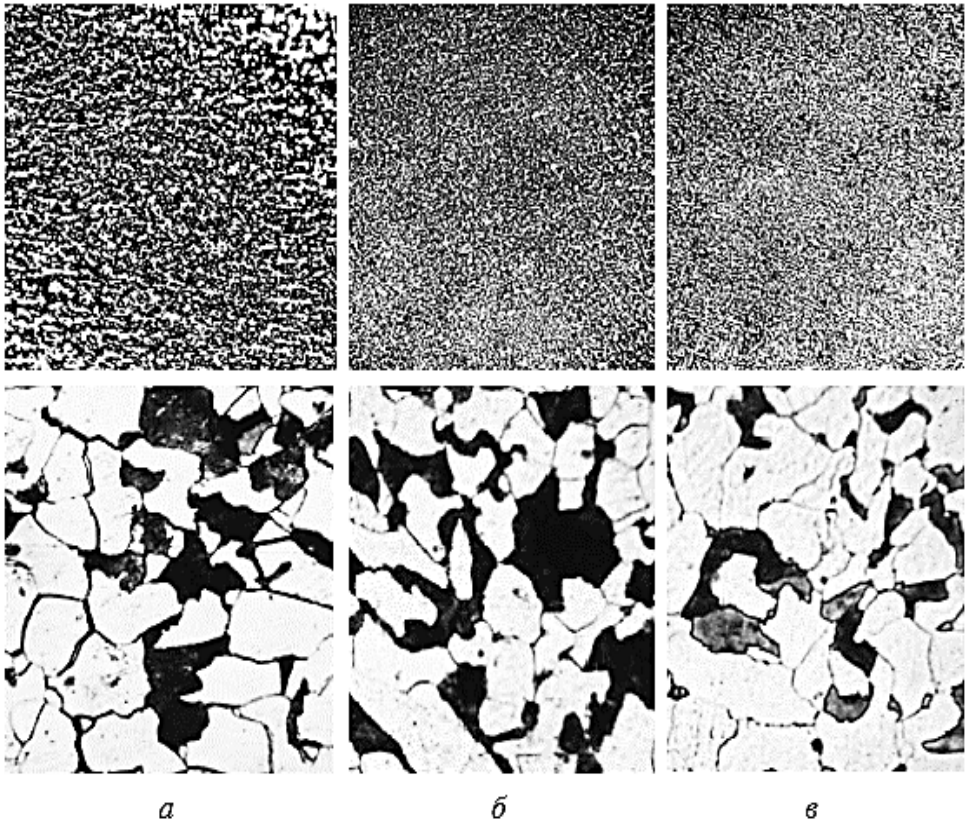
Основные результаты плавок при ковшевой обработке стали

Вариант обработки	Кол-во присадки, %	$[O]_{\Sigma}^{нач}$, %	$[S]_{кон}$, %	$[O]_{\Sigma}$, %	$[Al]_{кон}$, %	$[V]_{кон}$, %	$[Ce]_{кон}$, %
1	1.Al - 0,1	0,0203	0,014	0,0088	0,026	-	-
2	1. Al – 0,1 2.СК 30 – 0,1	0,0090	0,012	0,0072	0,031	-	-
3	1.Al – 0,1 2.РЗМ – 0,1	0,0083	0,008	0,0042	0,046	-	0,014
4	1. Al – 0,1 2. ПП – 0,1	0,0085	0,007	0,0034	0,041	0,019	-
5	1.Al – 0,1 2.СК 30 – 0,1 3. РЗМ – 0,1	0,0077	0,004	0,0030	0,051	-	0,030
6	1. Al – 0,1 2. СК 30 – 0,1 3. ПП – 0,1	0,0072	0,004	0,0024	0,054	0,022	-
7	1. Al – 0,1 2.СК 30 – 0,1 3. ПП – 0,1 4. РЗМ – 0,1	0,0069	0,003	0,0021	0,059	0,024	0,034



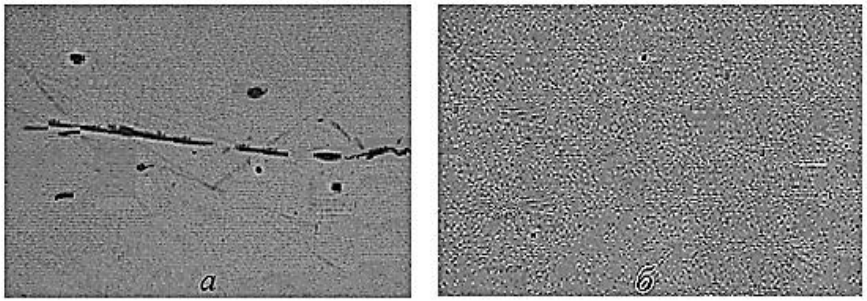
В зависимости от режима обработки расплава содержание серы в металле снижалось от исходных значений ($[S]_{нач}$) 0,015% до 0,008…0,003%. За время обработки металла в ковше содержание серы снижалось на 0,012…0,007%, что отвечает степени десульфурации $(\Delta[S]/[S]нач)\cdot 100=46,7…80,0\%$. Содержание общего кислорода в металле, полученное по варианту 7, в 4,2 раза меньше, чем при использовании технологии по варианту 1 (традиционной для данного предприятия).

Сравнительный анализ металлографических характеристик стали



а *б* *в*

Микроструктура стали 20ГЛ при различных вариантах обработки (х100 и х500): а – только Al, б – Al+ПП, в – Al+РЗМ



Неметаллические включения в стали 20ГЛ (х500)

а – без присадок РЗМ (сульфиды марганца); б – с присадкой РЗМ

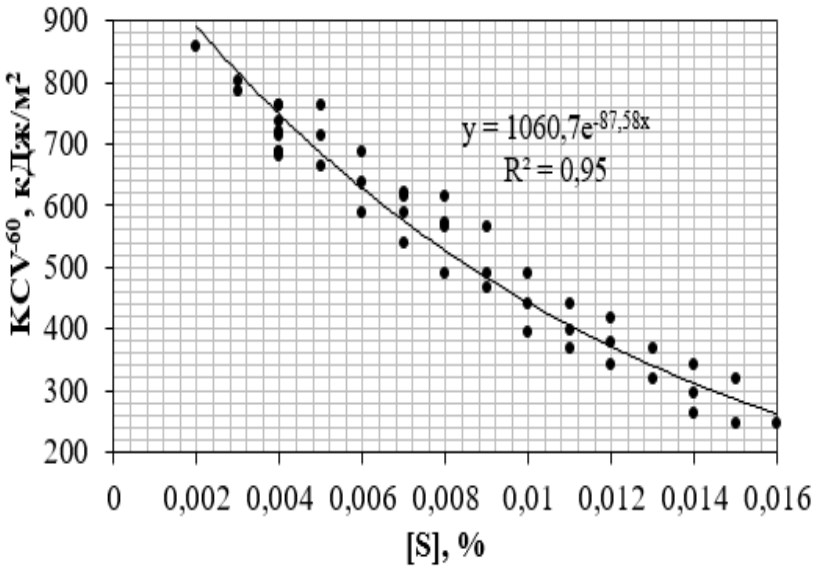
При обработке только алюминием в количестве 0,1 % структура металла феррито-перлитная (45/55), мелкозернистая, с выделением перлита по межосным пространствам дендритов, номером зерна 8. В процессе модифицирования стали происходит измельчение зерна, при обработке алюминием и порошковой проволокой структура металла феррито-перлитная (45/55), мелкозернистая, с отдельными выделениями неравноосных зерен феррита с номером зерна 9.

Лучшие результаты получены при обработке металла алюминием и КМ, структура металла феррито-перлитная, мелкозернистая, с равномерным распределением структурных составляющих, с номером зерна 9-10. Плавки, обработанные КМ, отличаются более высокой раскисленностью и степенью десульфурации.

Сравнительный анализ механических характеристик стали

Механические свойства стали марки 20ГЛ

Вариант	Категория свойств				
	Предел текучести $\sigma_т$, МПа	Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ, %	Относительное сужение ψ, %	Ударная вязкость, кДж/м^2, (-60°С)
НД	не менее				
	343	510	18,0	30,0	200
1	377	556	23,5	40,9	262
2	393	562	25,7	48,0	376
3	416	592	21,4	45,8	572
4	433	610	23,9	62,3	622
5	441	606	24,7	48,4	678
6	415	622	21,9	38,9	720
7	460	622	26,1	52,2	802



Наиболее высокие значения механических свойств получено при обработке металла по вариантам 5, 6 и 7. Значение предела текучести увеличился от 10 до 22 %, временного сопротивления повысился от 9 до 12%, особенно, значение ударной вязкости в 2,6…3,1 раза больше, чем при технологии по варианту 1.

С уменьшением содержания серы в металле, увеличивается значение ударной вязкости при отрицательных температурах. Лучшие результаты наблюдаются при содержании серы в металле менее 0,008%, при этом значение ударной вязкости составляет более 570 кДж/м^2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана технология модифицирования стали с использованием комплексных модификаторов, которая может быть применена к конструкционным литейным сплавам с низким (менее 0,015 %) содержанием серы, что позволило обеспечить высокую раскисленность, степень десульфурации, мелкодисперсную структуру, повышенные механические свойства, устранить образование неметаллических включений по границам зерен в виде длинных строчек.

Определена зависимость значения ударной вязкости стали при отрицательных температурах от содержания серы в металле, на основе механических характеристик.

Обоснована технология модифицирования металла в сталеразливочном ковше, предварительно раскисленной алюминием, силикокальцием и модификаторами, что позволило снизить содержание серы в металле от 0,015% до 0,008…0,003%, общего кислорода в металле от 0,0095% до 0,0021 % чем по традиционной технологии.

Внедрена технология модифицирования стали марки 20ГЛ в сталеразливочном ковше на АО «Литейно-механический завод». В результате внедрения технологии позволило увеличить значения предела текучести на 22%, временного сопротивления - 12% и ударную вязкость - 3,1 раз.

В результате внедрения разработанной технологии выход годных особо ответственных литых деталей тележек грузовых вагонов увеличился с 60 до 97%.

СПАСИБО
ЗА
ВНИМАНИЕ!!!