

Изобретение относится к составам сталей, содержащих углерод, марганец, кремний, хром, никель, медь, мышьяк, азот, титан и бор и предназначенных для производства проката, например, арматуры периодического профиля повышенной прочности, используемой при изготовлении ответственных железобетонных конструкций.

Известна сталь, содержащая в % по массе:

углерод	0,20–0,29
марганец	1,20–1,60
кремний	0,60–0,90
хром	не более 0,30
никель	не более 0,30
медь	не более 0,30
сера	не более 0,045
фосфор	не более 0,040
железо	остальное
и сталь, содержащая в % по массе:	
углерод	0,30–0,37
марганец	0,80–1,20
кремний	0,60–0,90
хром	не более 0,30
никель	не более 0,30
медь	не более 0,30
сера	не более 0,045
(ГОСТ 5781, стали 25Г2С и 35ГС)	
фосфор	не более 0,040
железо	остальное

обладающие в арматурных стержнях диаметром 6–40 мм повышенными прочностными свойствами

$\sigma_b$  не менее 590 Н/мм<sup>2</sup>  
 $\sigma_t$  не менее 390 Н/мм<sup>2</sup> и удовлетворительной пластичности;  
 $\delta_s$  не менее 14%

Известна также полуспокойная сталь повышенной прочности, которая имеет следующий химический состав, в % по массе:

углерод	0,35–0,45
марганец	1,40–2,00
кремний	0,02–0,09
никель	0,05–0,40
хром	0,05–0,40
железо	остальное

(Авторское свидетельство СССР № 508558, М.кл. С 22 С 38/00, 1974 г)

При производстве этой стали обеспечивается высокий выход годного проката из слитка и повышенная прочность проката.

Однако прокат из этой стали характеризуется неудовлетворительной свариваемостью и недостаточной стойкостью против атмосферных коррозии.

Наиболее близким аналогом по технической сущности и составу к заявляемым является полуспокойная сталь, содержащая следующие компоненты, в процентах по массе:

углерод	0,10–0,25
марганец	0,8–1,6
кремний	0,02–0,15
хром	0,02–0,40
никель	0,02–0,20
медь	0,02–0,40
ванадий	0,05–0,15
азот	0,010–0,025
мышьяк	0,05–0,25
железо	– остальное,

(Авт.св. СССР № 899703).

Этот состав стали обеспечивает хорошую свариваемость проката и повышенную стойкость прокатных профилей против коррозии под напряжением. Однако в состав этой стали входит остродефицитный ванадий, что препятствует ее широкому промышленному использованию. Кроме того, прокат из этой стали из-за повышенного содержания азота обладает недостаточной сопротивляемостью раскрытию хрупких трещин, что определяет низкую живучесть конструкций.

Исходя из этого, задачей настоящего изобретения является разработка состава полуспокойной стали, при использовании которой повышается сопротивляемость металла раскрытию хрупкой трещины, следовательно возрастает живучесть арматуры и эксплуатационная надежность ответственных железобетонных конструкций.

Согласно изобретению поставленная задача решается тем, что в известный состав, содержащий железо, углерод, марганец, кремний, хром, никель, медь, мышьяк, азот, дополнительно введен титан, т.е. один из элементов с пониженной раскислительной способностью и высоким сродством к углероду и азоту при следующем соотношении компонентов, в % по массе:

<b>углерод</b>	<b>– 0,20–0,40</b>
<b>марганец</b>	<b>– 0,80–1,40</b>
<b>кремний</b>	<b>– 0,01–0,10</b>
<b>хром</b>	<b>– 0,01–0,40</b>
<b>никель</b>	<b>– 0,01–0,40</b>
<b>медь</b>	<b>– 0,01–0,40</b>
<b>мышьяк</b>	<b>– 0,001–0,15</b>
<b>азот</b>	<b>– 0,003–0,009</b>
<b>титан</b>	<b>– 0,0005–0,03</b>
<b>железо</b>	<b>– остальное</b>

Титан, обладая высоким сродством к азоту и углероду, образует мелкодисперсные когерентные с матрицей выделения карбонитридов, которые измельчают действительное зерно феррита и структуру перлита, чем способствуют повышению хладостойкости, сопротивляемости механическому старению и прочности полуспокойной стали и в итоге обеспечивают повышение живучести конструкций.

Приведенные содержания в стали углерода и марганца обусловлены тем, что именно в этих пределах данные элементы обеспечивают требуемый уровень прочности, пластичности металла при дополнительном вводе микродобавок титана. При выбранных интервалах содержания кремния в стали обеспечивается нормальная раскисленность полуспокойной стали в процессе раскисления полупродукта марганцем и титаном.

Содержание в стали хрома, никеля, меди и мышьяка ниже приведенных пределов практически не оказывают какого-либо влияния на свойства проката. Содержание этих элементов в указанных пределах обеспечивает требуемую коррозионную, стойкость проката, в том числе под напряжением, за счет снижения интенсивности электрохимических процессов на поверхности изделий. Комплексное легирование стали хромом, никелем и медью оказывает положительное влияние также на хладостойкость металла. При этом коррозионная стойкость и хладостойкость проката заметно повышаются при одновременном присутствии в стали в выбранных пределах хрома и никеля, поскольку они способствуют повышению растворимости меди в твердом растворе. Ввод хрома, никеля и меди выше указанных верхних пределов экономически нецелесообразен.

Мышьяк при содержании в стали менее 0,001 % не оказывает влияния на коррозионную стойкость проката под напряжением, а выше 0,15% приводит к снижению пластичности и хладостойкости металла.

Азот в выбранных пределах положительно влияет на прочностные характеристики стали без существенного влияния на показатели хладостойкости и чувствительности микролегированного титана к механическому старению. При содержании азота менее 0,003% его влияние на прочность стали незначительно.

Повышение концентрации азота более 0,009% приводит к резкому снижению хладостойкости и сопротивляемости деформационному старению металла.

При содержании титана менее 0,0005% влияние их микродобавок на живучесть проката незначительно. Повышение содержания титана более 0,03% в полуспокойной стали заявляемого состава нежелательно из-за возможности перераскисления металла и получения повышенной головной обрезки раскатов слитков.

Вторым вариантом полуспокойной стали является сталь следующего химического состава, в % по массе:

<b>углерод</b>	<b>0,20–0,40</b>
<b>марганец</b>	<b>0,80–1,40</b>
<b>кремний</b>	<b>0,01–0,10</b>
<b>хром</b>	<b>0,01–0,40</b>
<b>никель</b>	<b>0,01–0,40</b>
<b>медь</b>	<b>0,01–0,40</b>
<b>мышьяк</b>	<b>0,001–0,15</b>
<b>азот</b>	<b>0,003–0,009</b>
<b>бор</b>	<b>0,0005–0,005</b>
<b>железо</b>	<b>остальное</b>

В данной стали по сравнению с первым вариантом отличие заключается в том, что вместо титана в количестве 0,0005–0,03% по массе она содержит бор в количестве 0,0005–0,005%.

Бор также является одним из элементов с пониженной раскисляющей способностью и с высоким сродством к углероду и азоту.

Обладая этим свойством, бор также образует мелкодисперсные когерентные с матрицей выделения карбонитридов, также измельчает действительное зерно феррита и структуру перлита и тем самым способствует повышению хладостойкости, сопротивляемости механическому старению, а также прочности полуспокойной стали, а это в результате обеспечивает повышение живучести конструкций.

Содержание в стали бора свыше 0,005% по массе нежелательно из-за возможности ухудшения качества

поверхности слитков и раскатов в результате образования крупных карбонитридов бора в процессе кристаллизации слитка.

Третьим вариантом состава полуспокойной стали является сталь, содержащая, в % по массе:

<b>углерод</b>	<b>0,20–0,40</b>
<b>марганец</b>	<b>0,80–1,40</b>
<b>кремний</b>	<b>0,01–0,10</b>
<b>хром</b>	<b>0,01–0,40</b>
<b>никель</b>	<b>0,01–0,40</b>
<b>медь</b>	<b>0,01–0,40</b>
<b>мышьяк</b>	<b>0,001–0,15</b>
<b>азот</b>	<b>0,003–0,009</b>
<b>титан</b>	<b>0,0005–0,022</b>
<b>бор</b>	<b>0,0003–0,004</b>
<b>железо</b>	<b>– остальное,</b>

при этом суммарное количество титана и бора составляет 0,0007-0,025%.

Отличие от первого варианта заключается в наличии бора в количестве 0,0003-0,004% по массе, а от второго варианта - в наличии в этом составе титана в количестве 0,0005-0,022%.

Роль каждого элемента в стали та же, что и в стали первого состава, однако одновременное легирование ее титаном и бором усиливает их влияние на решение поставленной задачи, в связи с чем их общее количество в стали по массе уменьшено.

Производство стали предлагаемых составов может осуществляться по технологиям, принятым в конвертерных и мартеновских цехах.

В опытно-промышленных условиях выплавлены опытные партии стали по аналогу 2 и прототипу 3 и предложенного состава по среднему значению каждого ингредиента, кроме титана и бора, которые присутствовали в 5 различных кол-вах. Слитки опытных и сравнительных плавов при содержаниях титана и бора в заявляемых пределах были нормально раскислены, а головная обрезь на блюминге составляла 3-4%. Раскаты слитков имели хорошую поверхность и не требовали огневой зачистки. Заготовки опытных и сравнительных плавов были прокатаны в идентичных условиях на арматуру № 18. По методике практического раскрытия трещины (КРТ) исследована живучесть проката из сравниваемых сталей. В качестве критерия живучести арматуры приняли температуру ( $T_{крт}$ ), при которой наблюдалось разрушение специальных натуральных образцов проката при величине раскрытия вершины инициированной усталостной трещины менее 0,2 мм.

Результаты исследований приведены в таблице.

Таким образом, заявляемый состав полуспокойной стали решает поставленную задачу, благодаря чему в итоге обеспечивается повышение эксплуатационной надежности железобетонных конструкций.

Сталь	Ткрт, °С	Примечание
Аналог		
Критерии	<b>+ 50 ÷ +100</b>	
Предлагаемый состав, %:		
1. а) с 0,0001 Т	<b>+ 40 ÷ +60</b>	<b>Отдельные слитки перераспределены (головная обрезь раскатов - до 15%).</b>
б) с 0,0005 Т	<b>+10 ÷ +20</b>	
в) с 0,015 Т	<b>-5 ÷ +5</b>	
г) с 0,030 Т	<b>-10 ÷ 0</b>	
д) с 0,035 Т	<b>-5 ÷ +5</b>	
II. а) с 0,0003% В	<b>+ 45 ÷ +60</b>	<b>На поверхности раскатов отдельных слитков имелись раковины, требующие зачистки</b>
б) с 0,0005% В	<b>+15 ÷ +25</b>	
в) с 0,002% В	<b>-5 ÷ 0</b>	
г) с 0,005% В	<b>-10 ÷ +5</b>	
д) с 0,006% В	<b>-50 ÷ +5</b>	
III. а) с 0,0002Т и 0,0001В	<b>+50 ÷ +70</b>	<b>Все слитки перераспределены (головная обрезь - до 20%)</b>
б) с 0,0003Т и 0,0004В		
в) с 0,012Т и 0,002В	<b>-20 ÷ -5</b>	
г) с 0,021Т и 0,004В	<b>-20 ÷ 10</b>	
д) с 0,035% Т и 0,005% В	<b>-15 ÷ -5</b>	