

Винахід відноситься до металургії чорних металів. Він визначає склад сталі для виробництва продукції масового призначення - зварного арматурного прокату підвищеної міцності для відповідальних залізобетонних конструкцій.

Відома технологія виробництва арматурної сталі, що містить залізо, вуглець, марганець, кремній, хром, нікель, мідь, алюміній, азот, фосфор, сірку, барій і цирконій при наступному співвідношенні компонентів, у % за масою:

- вуглець - 0,18-0,23; - марганець 0,90-1,20; - кремній 0,17-0,37; - хром 0,95-1,25; - нікель 0,50-1,00; - мідь 0,15-0,30; - алюміній 0,012-0,020; - азот 0,015-0,020; - фосфор 0,010-0,035; - сірку 0,010-0,035; - барій 0,001-0,030; - цирконій 0,004-0,050; - залишок - залізо.

[1. Авторское свидетельство СССР №1733499 Заявка №4791268, МПК I322038/50. Заявлено 12.02.90. Опубликовано 15.05.92, Бюл. №18].

Недоліком відомого способу є зниження показників якості арматурного прокату, який одержується зі сталі зазначеного складу при використанні його в зварних конструкціях. Зокрема, високі значення вуглецевого еквіваленту в сталі зазначеного складу, що досягаються при мінімальних значеннях компонентів у рамках зазначених діапазонів їх співвідношень, значень (у % за масою) порядку $S_{\text{екв}}=0,55\%$, а при максимальних значеннях $S_{\text{екв}}=0,72\%$, знижують службові властивості конструкцій з арматурного прокату, отриманих методом зварювання. Зі збільшенням вуглецевого еквіваленту в сталі при зварюванні арматурного прокату збільшується імовірність утворення в навколишній зоні крихких структур, а також виникнення підвищених напружень і навіть тріщин [2. Бродський А.Я., Фридман А.М. Исследование сварки арматуры железобетонных конструкций. М.: Госстройиздат. - 1963. - С.49-69]. Для термічно і термомеханічно зміцненого прокату обмеження максимального значення вуглецевого еквіваленту необхідно, але недостатньо, тому що при зварюванні знеміцнення арматурного прокату тим більше, чим менше вуглецю у сталі [3. Худик Ю.Т. Термическая обработка металлов. Научные труды МЧМ СРСР. М.; Мсталургая. - 1974. - с.127-128]. Тому для термічно і термомеханічно зміцненого зварного арматурного прокату необхідно дотримуватись умови $b \leq S_{\text{екв}} \leq a$, де $S_{\text{екв}}$ - вуглецевий еквівалент, a - максимально припустиме значення вуглецевого еквіваленту, при якому в навколошовній зоні не утворюються тріщини, b - мінімально припустиме значення вуглецевого еквіваленту, при якому знеміцнення арматурного прокату несуттєве.

Таким чином, відсутність регламенту вуглецевого еквіваленту в арматурній сталі зазначеної композиції не гарантує стабільності технологічного процесу виробництва термічно та термомеханічно зміцненого зварного прокату, який забезпечує оптимальне сполучення його фізико-механічних, технологічних та експлуатаційних властивостей при зварюванні.

За прототип прийнята арматурна сталь, що містить залізо, вуглець, марганець, кремній, хром, нікель, мідь, алюміній, азот, фосфор, сірку, бор, титан і миш'як, і яка містить компоненти при наступному співвідношенні, у % за масою:

- вуглець - 0,14-0,24; - марганець 0,40-1,20; - кремній 0,01 -0,15; - хром 0,01 -1,00; - нікель 0,01-0,30; - мідь 0,01-0,30; - алюміній 0,0001-0,06; - азот 0,003-0,009; - фосфор 0,005-0,045; - сірку 0,005-0,045; - бор 0,0003-0,007; - титан 0,0005-0,050; - миш'як 0,001-0,15; - залишок - залізо

[Декларационный патент №41684 Арматурная сталь МПК C22C38/04, C22C38/28, C22C38/50, C22C38/54. Заявлено 22.01.01. Опубликовано 17.09.01, Бюл. №8].

Недоліком прототипу є зниження показників якості арматурного прокату, що одержується зі сталі зазначеного складу. Це не гарантує стабільності технологічного процесу виробництва зварюваного арматурного прокату, у тому числі, термічно і термомеханічно зміцненого, який забезпечує оптимальне сполучення його фізико-механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей при виготовленні з нього металевих конструкцій методом зварювання. Це обумовлено тим, що в сталі зазначеного складу значення вуглецевого еквіваленту ($S_{\text{екв}}$) при мінімальних значеннях компонентів у рамках зазначених діапазонів їхніх співвідношень складають (у % за масою) порядку $S_{\text{екв}}=0,20\%$, а при максимальних значеннях $S_{\text{екв}}=0,64\%$.

Високі значення вуглецевого еквівалента в арматурній сталі приводять при зварюванні арматурного прокату до тріщиноутворення в зоні зварного шва. Низькі значення вуглецевого еквіваленту при виробництві термічно і термомеханічно зміцненого арматурного прокату зі сталі такої композиції приводять до підвищеного знеміцнення арматурного прокату.

Задача, яку вирішує винахід, складається з розробки технології виплавки арматурної сталі для виробництва зварного арматурного прокату, яка попереджає тріщиноутворення при її зварюванні і підвищене знеміцнення в зоні зварного шва, і що забезпечує, тим самим, оптимальне сполучення фізико-механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей зварюваного арматурного прокату.

Технічний результат, що досягається при використанні винаходу, складається з підвищення техніко-економічних показників виробництва і конкурентноздатності зварного арматурного прокату одержуваного з арматурної сталі.

Вирішення поставленої задачі забезпечується тим, що арматурна сталь, яка містить залізо, вуглець, марганець, кремній, хром, нікель, мідь, алюміній, азот, фосфор, сірку, бор, титан і миш'як, містить компоненти при наступному співвідношенні, у % за масою:

- вуглець - 0,12-0,32; - марганець 0,40-1,30; - кремній 0,01-0,15; - хром 0,01-1,00; - нікель 0,01-0,30; - мідь 0,01-0,30; - алюміній 0,0001-0,06; - азот 0,003-0,009; - фосфор 0,005-0,045; - сірку 0,005-0,045; - бор 0,0003-0,007; - титан 0,0005-0,050; - миш'як 0,001-0,15; - залишок - залізо, при цьому вуглецевий еквівалент арматурної сталі складає 0,40-0,52%.

При розробці технології арматурної сталі, що забезпечує вирішення поставленої задачі, необхідно було враховувати можливість її виплавки в будь-яких сталеплавильних агрегатах із застосуванням доступних легуючих елементів і розкислювачів.

Запропонована технологія виплавки арматурної сталі повинна бути технологічна на всіх етапах металургійного переробу, а в зварному арматурному прокаті який виготовляється з цієї сталі, у тому числі термомеханічно та термічно зміцненого, не повинно бути схильності до тріщиноутворення і знеміцнення при його зварюванні в зоні зварного шва.

З урахуванням цих обставин, запропонована арматурна сталь для виробництва арматурного прокату, що зварюється, може бути виплавлена в будь-яких сталеплавильних агрегатах. Металошихта для виплавки арматурної сталі в конвертерах (умови меткомбінату "Криворіжсталь") складається з 20-25% металобрухту і 75-80% рідкого чавуна. При виплавці сталі в електропечі: (умови Молдавського і Білоруського металургійних заводів) склад металошихти - 70-90% металобрухту і 10-30% твердого чавуна.

При її виплавці за металошихту можна використовувати 30-100% металізованих окотишів і 0-70% чистого за домішками кольорових металів і азоту металобрухту. У конвертор чи в електропечі завантажують металошихту. Після закінчення завантаження в конвертор подають через фурму кисень, а в електропечі опускають електроди і подають електричний струм (можливе застосування пальників і кисневих фурм). По ходу процесу в агрегати подають флюси (вапно, вапняк, плавиковий шпат та ін.). Процес виплавки сталі ведуть або до заданого вмісту вуглецю, або до низького вмісту вуглецю з наступним навуглецевуванням металу в ковші. При випусканні сталі у ківш присаджують феросплави. Видалення фосфору здійснюється, як правило, у сталеплавильних агрегатах, видалення сірки на установці піч-ківш. На цій же стадії здійснюється остаточне доведення металу за складом і температурою. Отриману сталь розливають або в зливки, або на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).

Комплекс фізико-механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей зварного арматурного прокату (міцність, пластичність, пружність, зварюваність, корозійну стійкість, чутливість арматурного прокату до надрізу зони низьких температур, термічне і деформаційне старіння прокату та ін.), визначається хімічним складом сталі і прийнятою технологією його виробництва.

Здатність сталей зварюватися є важливою характеристикою, що визначає можливість одержання звареного з'єднання з заданими властивостями. Всі елементи, що входять до складу сталі, за різними ступенями впливають на її зварюваність. Для зручності порівняння різних сталей, що відрізняються одна від одної хімічним складом, уведений спеціальний показник - вуглецевий еквівалент. Тому хімічний склад арматурної сталі, розробленої композиції в пропонованих діапазонах їх зміни регламентується значенням вуглецевого еквіваленту. Діапазони вмісту елементів, що заявляються, в арматурній сталі і значення вуглецевого еквіваленту встановлені експериментальним шляхом. Причому, значення вуглецевого еквіваленту визначали за емпіричною залежністю (Тольдштейн М.І. Грачов С.У, Векслер Ю.Г. Специальные стали. М. МИСиС. - 1999г), установлені на підставі численних експериментальних досліджень виду:

$$C_{\text{екв}} \% = C + Mn/6 = Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 + Cu/13 + P/2, \%$$

Якщо вміст вуглецю в арматурній сталі буде більше діапазону, що заявляється, (більше 0,32%), то при високих значеннях вмісту марганцю, кремнію, хрому, нікелю, міді, які визначають значення вуглецевого еквіваленту в рамках запропонованих діапазонів це приведе до збільшення Секв. Високі значення вуглецевого еквіваленту арматурної сталі знижують службові властивості конструкцій з арматурного прокату, отриманих методом зварювання, тому що в цьому випадку збільшується імовірність виникнення в околшовній зоні підвищеного напруження, які приводять до тріщиноутворення. До цього ж приведе збільшення заявлених діапазонів вмісту марганцю, кремнію, хрому, нікелю, міді. У цьому випадку значення вуглецевого еквіваленту буде більше заявленого діапазону його зміни (більше 0,52%).

Якщо вміст вуглецю у запропонованій арматурній сталі буде меншим заявленого діапазону (менше 0,12%), то при низьких значеннях вмісту марганцю, кремнію, хрому, нікелю, міді, що визначають значення вуглецевого еквіваленту в рамках заявлених діапазонів, це приведе до зниження Секв. До цього ж приведе знижене менше діапазонів, що заявляються, вмісту, марганцю, кремнію, хрому, нікелю, міді. У цьому випадку значення вуглецевого еквіваленту буде також менше запропонованого діапазону його зміни (менше 0,40%). Для термічно і термомеханічно зміцненого арматурного прокату це приведе до підвищеного знеміцнення арматурному прокату при зварюванні.

Таким чином, запропоновані діапазони вмісту елементів і значення вуглецевого еквіваленту в арматурній сталі запропонованої композиції, забезпечують комплекс фізико-механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей зварного арматурного прокату, що виготовляється з неї. Сталь може бути виплавлена в умовах масового виробництва на типових металургійних підприємствах. Вказана обставина свідчить про те, що використання арматурної сталі запропонованої композиції у виробництві високоміцного зварного арматурного прокату, у тому числі, термічно і термомеханічно зміцненого, забезпечує вирішення поставленої задачі: попереджує тріщиноутворення і підвищене знеміцнення в зоні зварного шва при зварюванні прокату, і забезпечує, тим самим, оптимальне сполучення фізико-механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей зварного арматурного прокату.

Експерименти по визначенню оптимального складу сталі виконувалися на КДГМК "Криворіжсталь" та Інституті чорної металургії НАН України. Задачею дослідження було визначення впливу вуглецевого еквіваленту в термічно зміцненому з прокатного нагрівання арматурному прокаті, отриманому з арматурної сталі різного складу, на його знеміцнення при зварюванні протяжними швами, що характеризує зварюваність сталі. Арматурні сталі з різним значенням вуглецевого еквіваленту виплавляли а промислових умовах меткомбінату "Криворіжсталь" за існуючою технологією. Високоміцну стержневу арматуру №20 з цієї сталі одержували на дрібносортному стані 250. Арматурні профілі зміцнювали з прокатного нагрівання в потоці стану на клас міцності А500С за існуючою на стані технологією. Значення вуглецевого еквіваленту досліджуваних арматурних сталей складали $C_{\text{екв}} \% = 0,38, 0,40, 0,47, 0,48, 0,52, 0,55$.

У таблиці приведені окремі результати досліджень, що визначають оптимальні границі запропонованих діапазонів вмісту хімічних елементів в арматурній сталі: заліза (Fe, %), вуглецю (C, %), марганцю (Mn, %), кремнію (Si, %), хрому (Cr, %), нікелю (Ni, %), міді (Cu, %), алюмінію (Al, %), азоту (N, %), фосфору (P, %), сірки (S, %), бору (Y, %), титану (Ti, %) і миш'яку (As, %), а також значення вуглецевого еквіваленту ($C_{\text{екв}} \%$) арматурної сталі.

У композиції сталі №1 низька кількість хімічних елементів, що визначають величину вуглецевого еквіваленту, зокрема, вуглецю, марганцю, кремнію, хрому та ін., а також обумовлене цим низьке значення вуглецевого еквіваленту приводить до підвищення пластичних властивостей арматурного прокату, одержуваного з цієї сталі. Однак, при цьому не забезпечуються службові властивості конструкцій з арматурного прокату, отриманих методом зварювання. Зокрема, при виробництві арматурного прокату, зміцненого з прокатного нагрівання, зі сталі даного складу при зварюванні відзначалося підвищене знеміцнення. Причому, зниження тимчасового опору

розриву (межі міцності, σ_B) - величина знеміцнення арматурного прокату - досягало 100Н/мм^2 і склало дець 500Н/мм^2 замість 600Н/мм^2 .

Збільшення кількості вмісту вуглецю до 0,13% у композиції сталі №2 при вмісті інших хімічних елементів, що визначають величину вуглецевого еквівалента, у рамках заявлених діапазонів знизило знеміцнення термічно зміцненого арматурного прокату (знеміцнення не перевищило 8%), за рахунок того, що був збільшений вуглецевий еквівалент. Це забезпечило необхідну зварюваність арматурного прокату.

У композиціях сталі №3, 4 і 5 збільшення вмісту вуглецю в рамках діапазону, що заявляється, забезпечує необхідну зварюваність термозміцненого арматурного прокату навіть при мінімальних значеннях вмісту хімічних елементів, що визначають величину вуглецевого еквіваленту (марганцю, кремнію, хрому та ін.), у рамках діапазонів, що заявляються.

Збільшення значення вуглецевого еквіваленту понад 0,52 у композиції сталі №6, як показали результати досліджень, призвело до утворення тріщин, у зоні звареного шва при зварюванні арматурного прокату.

Таким чином, арматурна сталь із запропонованими співвідношеннями вмісту, хімічних елементів, а також значенням вуглецевого еквіваленту забезпечують оптимальне сполучення фізико-механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей високоміцного зварного арматурного прокату. При цьому запобігається тріщиноутворення при зварюванні арматурного прокату, одержуваного із запропонованої арматурної сталі і підвищене знеміцнення в зоні зварного шва. Це сприяє підвищенню техніко-економічних показників виробництва і конкурентноздатності зварного арматурного прокату, одержуваного з арматурної сталі.

Таблица

Композиція сталі	C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Al, %	N, %	P, %	S, %	B, %	Ti, %	As, %	Fe, %	C'екв, %
1.	0,12	0,36	0,11	1,0	0,01	0,30	0,01	0,005	0,001	0,01	0,002	0,01	0,01	ост	0,38
2	0,13	0,40	0,15	1,0	0,01	0,30	0,02	0,005	0,001	0,02	0,003	0,01	0,01	ост	0,40
3	0,22	0,40	0,15	0,8	0,01	0,30	0,01	0,005	0,001	0,02	0,002	0,01	0,01	ост	0,47
4	0,22	1,30	0,14	0,01	0,30	0,30	0,01	0,005	0,001	0,01	0,002	0,01	0,01	ост	0,48
5	0,32	0,80	0,15	0,25	0,01	0,28	0,01	0,005	0,001	0,01	0,002	0,01	0,01	ост	0,52
6	0,32	1,0	0,01	0,45	0,02	0,30	0,01	0,005	0,001	0,01	0,002	0,01	0,01	ост	0,59