

Винахід відноситься до напівфабрикату ливарного чавуну з відмінною оброблюваністю і способу його отримання.

Як в'язкий чавун існує пластичний чавун, отриманий шляхом додавання Мд, Са, Се та інших елементів агенту сфероїдалізації графіту і таких, що викликають сфероїдалізацію графіту, і чавун з компактним червоподібним графітом (у подальшому називається «ливарний чавун С/В»). Крім того, існує ковкий чавун, отриманий шляхом термічної обробки білого чавуну, виготовленого шляхом лиття чавуну.

У цьому ливарному чавуні С/В графіт не стає сфероїдальним і присутній у вигляді проміжної форми графітної маси і т.п. Крім того, після термічної обробки ковкий чавун має хорошу в'язко-текучість, пластичність і в'язкість, подібно до сталі, тому він є суттєвим матеріалом для машинобудування. Цей ковкий чавун класифікується як ковкий чавун з білою серцевиною, ковкий чавун з чорною серцевиною, ковкий чавун, що має конкретний основний матеріал, та ін.

Серед цих матеріалів, у ковкому чавуні з чорною серцевиною, якщо відкласти відливки ковкого чавуну, отримані після лиття, виявляється структура білого чушкового чавуну. Цей матеріал є твердим і крихким, і тому в процесі виробництва його випалюють з метою графітизації.

Умови тривалості і температури випалювання визначаються на основі інших численних факторів лиття, але зазвичай цей випалювання включає дві стадії. Першу стадію випалювання проводять при температурі від 900 до 980 °С упродовж від 10 до 20 годин. При такій обробці вільний цементит цілком розкладається. Другу стадію випалювання проводять шляхом поєднання поступового охолодження в діапазоні температур від 700 до 760 °С з метою безпосередньої графітизації і тривалої обробки в діапазоні від 700 до 730 °С для графітизації цементиту в перліт. Таким чином, для процесу повного випалювання зазвичай потрібен час від 20 до 100 годин, чи біля того, як описано в роботі [Iron and Steel Institute of Japan, (3-є видання), Tekko Binran, т. 5. "Casting, Forging, and Powder Metallurgy", с 115-116, 1982].

Пластичний чавун і ковкий чавун можна піддавати прокатці до певної міри. Можна чекати, що прокатка напівфабрикату ливарного чавуну з метою отримання пластин ливарного чавуну, листів ливарного чавуну, штабового прокату ливарного чавуну й іншого прокату ливарного чавуну може знайти широке застосування в різних галузях. Однак, такий ливарний чавун має вузькі умови прокатки і має обмежені області застосування.

Крім того, оскільки в способі отримання напівфабрикатів ливарного чавуну, що використовують як матеріал для прокатки, зазвичай застосовується метод лиття розплаву в пісок чи іншу форму, аби отримати напівфабрикат ливарного чавуну, іноді, з метою підвищення продуктивності, здійснюється безперервне лиття.

Однак, у способі, описаному в зазначеному вище посиланні, існує така проблема: при литті ковкого чавуну потрібен тривалий період графітизації, і тому продуктивність є дуже низькою, і крім того, тривале нагрівання призведе до окислення і декарбідізації поверхні, тому для стримування цих процесів потрібне нагрівання в атмосфері, яка не окислює, і зростають витрати на обробку. Крім того, незважаючи на відповідний цикл випалювання, після цієї обробки графіт, що осаджується, не є сфероїдальним. Тому неможна сказати, що ця графітизація забезпечує досить хороші характеристики матеріалу. Зокрема, у термінах балансу міцності і пластичності й міцності стиснення ковкий чавун виходить не краще, ніж звичайний чавунний виливок з наростом. Тому бажано подальше удосконалення зазначених характеристик.

На противагу цьому, у публікації патенту Японії (А) 7-138636 не описаний спосіб обробки для короткочасної графітизації, і графіт, що осаджується після обробки, не є сфероїдальним. Більш того, у ливарному чавуні, отриманому шляхом прокатки пластичного чавуну і ковкого чавуну, графіт утворює тонкі пластини, розподілені в шаруватій формі під час прокатки, тому остаточна оброблюваність матеріалу стає поганою.

Крім того, при безперервному розливанні звичайного ливарного чавуну використовуються графітові ливарні форми з метою запобігання охолодженню, однак білий ливарний чавун важко розливати безперервно через широку область співіснування твердої і рідкої фаз. Тому, як показано в патенті Японії № 4074747, таке розливання майже зовсім не проводиться.

Таким чином, як показано в [патенті Японії № 3130670], використання двовалкової розливочної машини для лиття білого чавуну в листи і термічної обробки продукту, з метою отримання чавунних листів, що складаються з ковкого чавуну, також можливе як спосіб отримання міцних листів чавуну, однак у цьому випадку, також як і у випадку отримання ковкого чавуну, у результаті утвориться графітова маса, тобто, сфероїдалізація графіту є недостатньою, тому існує проблема незадовільної оброблюваності.

Даний винахід був виконаний з урахуванням цієї ситуації, і його метою є надання міцного ливарного чавуну і напівфабрикату ливарного чавуну з відмінною оброблюваністю без термічної обробки, для якої потрібно багато теплової енергії і значний час, і способу отримання продуктів, який забезпечує ефективне виробництво цих продуктів.

Відзначається, що термін «ливарний чавун і напівфабрикат ливарного чавуну», використовуваний у даному винаході, включає власне чавун після лиття, напівфабрикат ливарного чавуну, отриманий шляхом лиття із зачищенням поверхні та ін., і прокатаний напівфабрикат ливарного чавуну, отриманий шляхом прокатки ливарного чавуну чи напівфабрикату ливарного чавуну. У цьому винаході поставлені такі цілі:

1. Ливарний чавун і напівфабрикат ливарного чавуну з відмінною оброблюваністю, що характеризуються тим, що містять у собі ливарний чавун композиційної системи білого чавуну, усередині якого незалежно чи комплексно дисперговано сфероїдальні чи сплюснені частинки графіту, зовнішня поверхня яких частково чи цілком покрита феритом.

2. Ливарний чавун і напівфабрикат ливарного чавуну з відмінною оброблюваністю за пунктом 1, які відрізняються тим, що сфероїдальні частинки графіту чи сплюснені частинки графіту дисперговані з густиною 50 частинок/мм<sup>2</sup> чи більше.

3. Ливарний чавун і напівфабрикат ливарного чавуну з відмінною оброблюваністю за пунктом 1, які відрізняються тим, що сфероїдальні частинки графіту чи сплюснені частинки графіту мають ширину 0,4 мм чи менше і довжину 50 мм чи менше.

4. Ливарний чавун і напівфабрикат ливарного чавуну з відмінною оброблюваністю за пунктом 1, які

відрізняються тим, що частинка фериту в ливарному чавуні складає 70% чи більше.

5. Ливарний чавун і напівфабрикат ливарного чавуну з відмінною оброблюваністю за кожним з пунктів 1-4, які відрізняються тим, що компоненти, які складають білий чавун, мають склад, що задовольняє умовам:

$(\%C) < 4,3 - (\%Si) \div 3$  і  $C \geq 1,7\%$ .

6. Ливарний чавун і напівфабрикат ливарного чавуну з відмінною оброблюваністю за пунктом 5, які відрізняються тим, що додатково включають як компоненти білого чавуну, принаймні один з  $Cg \geq 0,1$  мас.% і  $Ni \geq 0,1$  мас.%.

7. Ливарний чавун і напівфабрикат ливарного чавуну з відмінною оброблюваністю, за кожним з пунктів 1-4, які відрізняються тим, що сфероїдальні чи сплющені частинки графіту комплексно зв'язані, щонайменше, з одним типом частинок оксидів, сульфідів, чи нітридів їх комплексних сполук, що містять, щонайменше, один з  $Mg$ ,  $Ca$  і рідкоземельних металів (РЗМ).

8. Ливарний чавун і напівфабрикат ливарного чавуну з відмінною оброблюваністю за пунктом 7, які відрізняються тим, що, щонайменше, один тип частинок оксидів, сульфідів, чи нітридів їх комплексних сполук мають діаметр від 0,05 до 5 мкм.

9. Ливарний чавун і напівфабрикат ливарного чавуну з відмінною оброблюваністю, за кожним з пунктів 1-4, які відрізняються тим, що зазначений напівфабрикат білого ливарного чавуну являє собою листовий ливарний чавун, пластинчастий ливарний чавун, чи брусковий ливарний чавун.

10. Ливарний чавун і напівфабрикат ливарного чавуну з відмінною оброблюваністю, за пунктом 9, які відрізняються тим, що зазначений напівфабрикат ливарного чавуну має товщину від 1 до 400 мм.

11. Спосіб виробництва напівфабрикату ливарного чавуну з відмінною оброблюваністю, отриманого шляхом лиття компонентів, що складають білий чавун, до яких додано агент сфероїдалізації, і прокатки отриманого напівфабрикатного продукту.

12. Спосіб виробництва напівфабрикату ливарного чавуну з відмінною оброблюваністю за пунктом 11, який відрізняється тим, що зазначений агент сфероїдалізації включає, щонайменше, один з  $Mg$ ,  $Ca$  і РЗМ.

13. Спосіб виробництва напівфабрикату ливарного чавуну з відмінною оброблюваністю за пунктом 11, який відрізняється тим, що прокатаний напівфабрикатний продукт піддають додатковій термічній обробці.

Короткий опис креслень

На Фіг.1 наведені фотографії металевих структур листових продуктів, що відповідають варіанту реалізації даного винаходу. Фіг.1 (а) являє собою фотографію структури металу, яка демонструє структуру відповідно до прикладу №1а винаходу; Фіг.1 (б) представляє структуру відповідно до прикладу №1б винаходу і Фіг.1 (с) представляє структуру відповідно до порівняльного прикладу №1.

На Фіг.2 наведені збільшені фотографії графіту в листових продуктах, що відповідають прикладам даного винаходу, на якій Фіг.2 (а) являє собою збільшену фотографію графіту за прикладом № 1а винаходу, а Фіг.2 (б) відповідає графіту прикладу № 1б винаходу.

На Фіг.3 наведені фотографії металевих структур листових продуктів, що відповідають прикладам даного винаходу після корозії Nital, на якій Фіг.3 (а) являє собою фотографію структури металу за прикладом № 1а винаходу, Фіг.3 (б) відповідає структурі металу за прикладом № 1б винаходу і Фіг.3(с) відповідає структурі металу за прикладом № 2б винаходу.

На Фіг.4 наведено загальний вигляд ливарної машини, що відповідає варіанту реалізації даного винаходу.

Найкращий спосіб реалізації винаходу

Автори винаходу нещодавно виявили, що шляхом лиття розплаву компонентів білого чавуну, до яких додано агент сфероїдалізації аби отримати напівфабрикат ливарного чавуну, прокатки цього відлитого напівфабрикатного продукту з наступною його термічною обробкою, можна отримати ливарний чавун зі сфероїдальним графітом, з відмінною оброблюваністю, що містить прокатаний ливарний чавун, у якому дисперговані сфероїдальні частинки графіту.

Конкретно, автори винаходу додали агент сфероїдалізації до розплаву компонентів ливарного білого чавуну, і потім розливали розплав. У структурі отриманого після лиття напівфабрикатного продукту не вдалося знайти які-небудь частинки графіту. Потім автори піддали прокатці цей відлитий напівфабрикатний продукт при відносно низькій температурі, з наступною його термічною обробкою при відносно високій температурі. У структурі отриманого ливарного чавуну були виявлені сфероїдальні частинки графіту. При згинанні ливарного чавуну було встановлено, що він має дуже хорошу оброблюваність. Автори виявили, що зовнішня поверхня сфероїдальних частинок графіту в ливарному чавуні частково чи цілком покрита феритом і що ливарний чавун з великим вмістом фази фериту має хорошу оброблюваність. Аналогічні результати були отримані для ливарного чавуну, у формі листів, пластин, брусків та ін.

Крім того, автори винаходу нещодавно виявили, що у випадку ливарного чавуну, у якому частинки диспергованого графіту не є сфероїдальними, а сплющеними, виходить хороша оброблюваність, а також чудова здатність до гасіння вібрації і поглинання звуку, і що можливо отримання ливарного чавуну, у якому сплющені частинки графіту дисперговані шляхом лиття розплаву компонентів білого чавуну, до яких додано агент сфероїдалізації, і прокатки отриманого напівфабрикатного продукту.

Конкретно, автори винаходу додали агент сфероїдалізації до розплаву компонентів ливарного білого чавуну, і потім розливали розплав. У структурі отриманого після лиття напівфабрикатного продукту не вдалося знайти будь-які частинки графіту. Потім автори піддали гарячій прокатці цей відлитий напівфабрикатний продукт при відносно високій температурі. У структурі отриманого ливарного чавуну були виявлені дисперговані сплющені частинки графіту. При згинанні ливарного чавуну було встановлено, що він має хорошу оброблюваність і чудові характеристики гасіння вібрації і поглинання звуку. Автори виявили, що зовнішня поверхня сплющених частинок графіту в ливарному чавуні частково чи цілком покрита феритом і що ливарний чавун з великим вмістом фази фериту має хорошу оброблюваність. Аналогічні результати були отримані для ливарного чавуну, у формі листів, пластин, брусків та ін.

Автори припустили гарячу прокатку в середині і виявили, що в прокатаному виливку напівфабрикатного продукту містяться сфероїдальні частинки графіту і графіт, відновлений з продукту такої ж структури, і

встановили, що сплюснені частинки графіту, виявлені в пластинчастому чавуні, отриманому шляхом прокатки, утворюються в результаті того, що сфероїдальні частинки графіту, осаджені в процесі нагрівання чи прокатки вилівка напівфабрикатного продукту, сплюснюються в результаті прокатки.

Даний винахід був виконаний на основі цих відкриттів. Надалі даний винахід буде пояснено докладно.

Насамперед, буде роз'яснений термін «ливарний чавун» компонентів білого чавуну, у якому диспергована велика кількість сфероїдальних частинок графіту згідно з даним винаходом. У цьому зв'язку, у якості згаданого вище «ливарного чавуну» може бути згаданий прокат ливарного чавуну, такий як листовий чавун, пластинчастий чавун і брусковий чавун. Термін «брусковий чавун» означає штабовий прокат, дрітові прутки, рейки, куточки, I-профілі, H-профілі, та інші профілі, листи й ін. Крім того, термін листовий ливарний чавун також може включати чавун, отриманий без прокатки, з використанням машини безперервного лиття зі стінками ливарної форми, що рухаються синхронно з виливом напівфабрикатного продукту. У рівні техніки не був відомий ливарний чавун, що має такі властивості. За рахунок отримання ливарного чавуну, що має властивості відповідно до винаходу, може бути забезпечена дуже хороша оброблюваність.

У наступному листовий ливарний чавун буде використаний як приклад для пояснення винаходу.

Листовий ливарний чавун отримують шляхом додавання агенту сфероїдалізації до розплаву білого ливарного чавуну і лиття суміші, що утворилася, аби отримати ливарний напівфабрикатний продукт, прокатки і термічної обробки цього ливарного напівфабрикатного продукту. Подробиці способу отримання будуть роз'яснені далі.

У сфероїдальних частинках графіту даного винаходу термін «сфероїдальний» не обов'язково означає ідеальну сферу. Поверхня частинок може бути грубою, крім того, окремі її частини можуть бути плоскими.

Потім буде роз'яснено термін «компоненти» білого чавуну. Найбільш важливими елементами для отримання білого чавуну є C і Si, які суттєво впливають на швидкість графітизації. Якщо вміст C і Si у мас. % складає  $(\%C) \leq 4,3 - (\%Si) \div 3$  і  $C \geq 1,7\%$ , переважно  $(\%C) \leq 4,3 - 1,3 * (\%Si)$  і  $C \geq 1,7\%$ , то в результаті виходить білий чавун. Тут  $(\%C)$  означає мас. % вуглецю в білому чавуні, тоді як  $(\%Si)$  означає мас. % кремнію в білому чавуні. Якщо вміст C складає менше 1,7 мас. %, то білий чавун неможливо отримати, тому граничне значення зазначене як 1,7 мас. % чи більше.

Крім того, для забезпечення оброблюваності, переважно, густина сфероїдальних частинок графіту складає 50 частинок/мм<sup>2</sup> чи більше. Якщо густина сфероїдальних частинок графіту менше 50 частинок/мм<sup>2</sup>, то оброблюваність до певної міри погіршується.

Розмір сфероїдальних частинок графіту конкретно не обмежується, але зазвичай він складає, у виді діаметра еквівалентного кола, 0,4 мм чи менше.

Крім того, для забезпечення оброблюваності, кількість фериту, що покриває зовнішню поверхню частинок графіту, переважно, є підвищеною. Частинка фериту в ливарному чавуні переважно складає 70% (від об'єму) чи більше, переважніше від 80 до 90% (від об'єму) чи більше. Якщо частинка фериту в ливарному чавуні складає менше 70% (від об'єму), то оброблюваність до певної міри погіршується.

Тут частинка фериту в ливарному чавуні знаходиться шляхом визначення відносної площі фериту в поперечному перерізі ливарного чавуну. Це значення відносної площі фериту може бути знайдене шляхом аналізу зображення та ін.

Крім того, як компоненти ливарного чавуну, переважно, вводяться, щонайменше, один з Cr  $\geq 0,1$  мас. % і Ni  $\geq 0,1$  %. Ці добавки Cr і Ni вводяться з метою забезпечення контролю утворення частинок графіту в процесі виробництва чавуну: а саме, Cr придушує графітизацію в процесі лиття, у той час як Ni відіграє роль промотору графітизації під час термічної обробки. Однак, якщо вміст Cr чи Ni менше, ніж 0,1 мас. %, то цей контроль важко здійснити, тому вміст Cr чи Ni, рівний чи більший 0,1 мас. %, є кращим. Крім того, верхня межа конкретно не встановлюється, але може бути встановлена з міркувань вартості, необхідної оброблюваності та ін.

Диспергований сфероїдальний графіт комплексно зв'язаний, щонайменше, з одним типом частинок оксидів, сульфідів, чи нітридів комплексних сполук елементів агенту сфероїдалізації. Тут термін «агент сфероїдалізації» означає агенти сфероїдалізації Fe-Si-Mg, Fe-Si-Mg-Ca, Fe-Si-Mg-P3M, Ni-Mg та інші, які застосовуються у виробництві ливарного чавуну зі сфероїдальним графітом, і конкретно не обмежується.

Якщо присутні елементи агенту сфероїдалізації, то ці елементи агенту сфероїдалізації в ливарному чавуні зв'язуються з киснем, сіркою й азотом з утворенням частинок оксидів, сульфідів, нітридів та їх комплексних сполук. Ці сполуки служать зародками при утворенні сфероїдального графіту під час термічної обробки після прокатки, у силу чого утворюються сфероїдальні частинки графіту, що комплексно зв'язані, щонайменше, з одним типом цих сполук.

Як конкретні елементи агенту сфероїдалізації кращими є Mg, Ca і рідкоземельні метали (РЗМ), з точки зору ефекту прискорення сфероїдалізації. Серед цих металів, магній має особливо сильний ефект і тому є більш бажаним. Отже, як агент сфероїдалізації кращою є сполука, що містить Mg, Ca чи рідкоземельні метали (РЗМ).

Агент сфероїдалізації може бути індивідуальним елементом чи являє собою суміш багатьох елементів. У будь-якому випадку проявляється ефект агенту.

Потім у даному винаході термін «лист» означає лист ливарного чавуну з компонентами білого чавуну, у якому дисперговані частинки, щонайменше, одного типу з оксидів, сульфідів, чи нітридів комплексних сполук елементів агенту сфероїдалізації.

Листовий ливарний чавун отримують шляхом додавання агенту сфероїдалізації до розплаву компонентів білого чавуну і лиття розплаву, щоб отримати напівфабрикат ливарного чавуну, з наступною прокаткою цього відлитого напівфабрикатного продукту, тобто, листовий ливарний чавун піддається якій-небудь термічній обробці після його прокатки. Подробиці способу отримання такого чавуну будуть пояснені далі.

Оскільки цей листовий ливарний чавун не піддається термічній обробці, то в ньому не осаджуються сфероїдальні частинки графіту. Тому він являє собою лист ливарного чавуну з компонентами білого чавуну, у якому дисперговані частинки, щонайменше, одного типу з оксидів, сульфідів, чи нітридів комплексних сполук

елементів агенту сфероїдалізації. Компоненти білого чавуну, елементи агенту сфероїдалізації і вплив добавок Cr і Ni, такі як зазначено вище.

Крім того, якщо густина частинок складає менше, ніж 50 частинок/мм<sup>2</sup>, то сфероїдальні частинки графіту формуються досить повільно в процесі термічної обробки, густина сфероїдальних частинок графіту, що утворилися, стає досить низькою, і частинки сфероїдального графіту стають грубими, і

таким чином, сильно погіршується оброблюваність та ін. показники. Тому густина частинок переважно складає 50 частинок/мм<sup>2</sup> чи більше.

Крім того, якщо ці частинки мають розмір менше, ніж 0,05 мкм, то вони стають неефективними як зародки для утворення сфероїдальних частинок графіту, у той же час, якщо частинки крупніше 5 мкм, то сфероїдальні частинки графіту, що утворилися, можуть стати грубими, і буде сильно погіршуватися оброблюваність та ін. показники. Тому розмір частинок переважно складає від 0,05 до 5 мкм. Тут термін «розмір частинок» означає діаметр еквівалентного кола для частинок.

Крім того, відлитий напівфабрикатний продукт даного винаходу, у такий же спосіб, як і лист, не підданий термічній обробці після прокатки, являє собою відлитий напівфабрикатний продукт ливарного чавуну, що містить компоненти білого чавуну, у якому дисперговані частинки, щонайменше, одного типу з оксидів, сульфідів, чи нітридів комплексних сполук - елементів агенту сфероїдалізації.

Відлитий напівфабрикатний продукт отримують шляхом додавання агенту сфероїдалізації до розплаву компонентів білого чавуну і лиття суміші з утворенням відлитого напівфабрикатного продукту. Подробиці способу отримання продукту будуть наведені далі. Цей відлитий напівфабрикатний продукт, також як і лист, не підданий термічній обробці після прокатки, не містить сфероїдальних частинок графіту, осаджених у продукті.

Отже, цей відлитий напівфабрикатний продукт являє собою ливарний чавун з компонентами білого чавуну, у якому дисперговані частинки, щонайменше, одного типу з оксидів, сульфідів, чи нітридів комплексних сполук елементів агенту сфероїдалізації. Компоненти білого чавуну, елементи агенту сфероїдалізації, ефект від Cr і Ni, густина частинок, розмір частинок та ін. характеристики є такими, як зазначено вище.

Відлитий напівфабрикатний продукт може бути отриманий шляхом лиття болванки чи при безперервному литті, однак мається тенденція більш легкого утворення графіту при зниженій швидкості охолодження під час лиття. Тому переважно продукт отримують шляхом безперервного лиття, використовуючи мідну ливарну форму, охолоджувану водою. При безперервному литті, коли товщина злитка стає більше, швидкість охолодження в центрі злитка знижується, тому краща товщина відлитого напівфабрикатного продукту, отриманого при безперервному литті, складає від 1 до 400 мм.

Конкретно, при виробництві листа з плоскої заготовки з використанням машини безперервного лиття отримують відлитий напівфабрикатний продукт, що має товщину приблизно від 30 до 120 мм. Крім того, якщо лиття проводиться за допомогою зведеного стрічкового конвеєра, короткого конвеєра, зведеного барабану чи ливарної машини з коротким барабаном, з використанням стрічок, чи валків інших рухливих ливарних форм, то отримують відлитий напівфабрикатний продукт, що має товщину приблизно від 1 до 30 мм (який може називатися «листом»).

Потім буде пояснений спосіб отримання відлитого напівфабрикатного продукту даного винаходу.

Спочатку додають агент сфероїдалізації до розплаву компонентів білого чавуну, відлитого напівфабрикатного продукту. Компоненти білого чавуну є такими, як зазначено вище. Додавання агенту сфероїдалізації, переважно, щонайменше, одного з Mg, Ca і рідкоземельних металів, є ефективним у зв'язку з прискоренням сфероїдизації. Зазвичай агент сфероїдалізації додають у ливарний ківш, ливарний пристрій та ін. Крім того, додана кількість агенту сфероїдалізації конкретно не обмежується, поки може бути забезпечена хороша оброблюваність кінцевого листового продукту. Доцільно, вона може бути встановлена в попередньому дослідженні, але зазвичай вона складає близько 0,02 мас. % у розрахунку на розплавлене залізо.

Крім того, переважно, це розплавлене залізо містить добавки, щонайменше, одного з Cr  $\geq 0,1$  мас. % і Ni  $\geq 0,1$  мас. %. Зазвичай ці добавки Cr чи Ni вводять у ливарний ківш, ливарний пристрій та ін.

Відлитий напівфабрикатний продукт даного винаходу отримують шляхом лиття розплавленого заліза, що утворилося в такий спосіб. Спосіб лиття конкретно не обмежується, поки в ньому забезпечується швидкість охолодження, що приводить до білого чавуну у всьому матеріалі після лиття. Крім того, швидкість охолодження конкретно не обмежується, оскільки на неї також впливають умови лиття, і вона може бути доцільно відрегульована. Однак, чим вище швидкість охолодження, тим легше утворюється білий чавун, що є кращим.

Отже, при отриманні цього відлитого напівфабрикатного продукту в процесі лиття можуть бути використані звичайні піщані чи інші ливарні форми, однак існує тенденція більш легкого формування частинок графіту зі зменшенням швидкості охолодження, тому кращим є виробництво з використанням машин безперервного лиття, з відносно більш високою швидкістю охолодження. Крім того, використання машин безперервного лиття приводить до підвищення продуктивності і забезпечує зниження витрат виробництва продукту.

Відзначається, що даний винахід ґрунтується на отриманні структури білого чавуну після лиття. Це необхідно для запобігання процесу укрупнення частинок графіту, що утворилися з первинних кристалів і евтектичних кристалів у ході затвердіння, і для усунення перешкод утворення кристалів. Крім того, для частинок графіту, що утворилися під час лиття, стан формування частинок графіту змінюється в залежності від швидкості охолодження, тому іноді в напрямку товщини продукту з'являється неоднорідність розмірів і концентрації частинок графіту. Зокрема, поблизу центру (по товщині) існує висока ймовірність формування великих частинок графіту.

Крім того, якщо відлитий напівфабрикатний продукт уже містить частинки графіту, у процесі прокатки цього відлитого напівфабрикатного продукту з метою отримання листового чавуну може ініціюватися утворення частинок графіту у вигляді тонких пластин (флокени). Ці частинки графіту у вигляді тонких пластин

будуть розподілятися шарами, тому може погіршитися оброблюваність та інші показники. Отже, необхідно, щоб у відлитому напівфабрикатному продукті не формувалися частинки графіту.

На противагу цьому, у способі відповідно до винаходу в розплав додають агент сфероїдалізації, що включає такі елементи, як Mg, Ca і PЗМ. Шляхом лиття цього розплаву, в отриманому відлитому напівфабрикатному продукті не містяться частинки осажденного графіту, однак у ньому містяться частинки оксидів, сульфідів, нітридів і комплексних сполук елементів агенту сфероїдалізації, зв'язані з киснем, сіркою й азотом, що дисперговані в чавуні.

Крім того, у процесі безперервного лиття чавуну зазвичай використовуються графітові чи тугоплавкі ливарні форми, однак у цьому випадку швидкість охолодження є низькою, тому легко утворюються частинки графіту. Швидкість росту затверділої оболонки також мала, тому лиття білого чавуну стає важким.

До того ж, якщо білий чавун відливають, застосовуючи графітову ливарну форму, яку використовують при безперервному литті звичайного ливарного чавуну, вуглець розчиняється в розплаві, тому ливарна форма істотно пошкоджується, і тривале лиття стає неможливим. Крім того, для білого чавуну характерна широка область співіснування твердої і рідкої фаз, тому з графітовою ливарною формою затверділа оболонка має низьку міцність, легко відбуваються її розриви, і, отже, лиття стає важким.

Тому при використанні мідної ливарної форми, охолоджуваної водою, з'являється можливість збільшити швидкість охолодження і запобігти утворенню частинок графіту у відлитому напівфабрикатному продукті. Крім того, за рахунок полегшення утворення затверділої оболонки, стає можливим стабільне безперервне лиття протягом тривалого періоду часу. Швидкість лиття також може бути збільшена в порівнянні з варіантом, де застосовуються графітові чи тугоплавкі ливарні форми, тому покращується продуктивність процесу.

У процесі лиття існує тенденція до більш важкого формування частинок графіту зі збільшенням швидкості охолодження. Отже, для запобігання утворенню частинок графіту застосування машини безперервного лиття з високою швидкістю охолодження є кращим. Конкретно, краще застосування машини безперервного лиття з використанням мідної ливарної форми, охолоджуваної водою, що експлуатується при звичайному безперервному литті сталі, переважно машини безперервного лиття тонких листових заготовок (слябів) чи машини безперервного лиття зі стінками ливарної форми, що рухаються синхронно з відливкою напівфабрикатного продукту.

Відлитий напівфабрикатний продукт, отриманий шляхом лиття за допомогою машини безперервного лиття листових чи квадратних заготовок з використанням мідної ливарної форми, охолоджуваної водою, що експлуатується при звичайному безперервному литті сталі, має товщину приблизно від 120 до 400 мм; відлитий напівфабрикатний продукт, отриманий з використанням машини безперервного лиття тонких листових заготовок, має товщину приблизно від 30 до 120 мм; і відлитий напівфабрикатний продукт, отриманий шляхом лиття з використанням здвоєного стрічкового конвеєру, короткого конвеєру, здвоєного барабану чи ливарної машини з коротким барабаном, з використанням стрічок, чи валків інших рухливих ливарних форм, має товщину приблизно від 1 до 30 мм (який може називатися «листом»).

Крім того, при виробництві продуктів, що мають форму прутка, можуть бути використані машини безперервного лиття заготовок, що мають квадратний чи круглий поперечний переріз. При цьому лінійний розмір однієї сторони перетину чи діаметр круглого перерізу відлитого напівфабрикатного продукту складає приблизно від 75 до 250 мм.

Як пояснюється вище, у відлитому напівфабрикатному продукті, отриманому за способом даного винаходу, відсутні будь-які частинки графіту, що сформувалися. Тому можна збільшити швидкість відновлення в процесі гарячої прокатки, а в деяких випадках при холодній прокатці відлитого напівфабрикатного продукту.

У цьому випадку, під час прокатки, при виробництві листового чавуну, відлитий напівфабрикатний продукт, отриманий шляхом безперервного лиття чи розливанням у ливарну форму, нагрівається в печі, чи фактично отримують гарячий відлитий напівфабрикатний продукт і піддають гарячій прокатці з утворенням штаби на машинах грубого прокату й остаточного прокату. Потім його згортають у намотувальному пристрої з утворенням листа гарячої прокатки. У деяких випадках згорнутий лист гарячої прокатки розмотують, протравлюють, потім піддають холодній прокатці в машині холодного прокату і знову згортають, щоб отримати штабу холодної прокатки.

Крім того, у такий же спосіб, коли роблять пластинчастий чавун, відлитий напівфабрикатний продукт, отриманий шляхом безперервного лиття, чи при нагріванні ливарної форми в печі, тоді, відповідно до потреби, продукт піддається безперервній прокатці в машині для прокату пластин у повздовжньому напрямку й у поперечному напрямку аби отримати пластину заданих розмірів, яку потім охолоджують.

Крім того, коли виробляють брусківий чавун, відлитий напівфабрикатний продукт, отриманий шляхом безперервного лиття, чи при нагріванні ливарної форми та ін. у печі, тоді, продукт піддається прокатці в машині грубого прокату, машині проміжного прокату і машині остаточного прокату, що має валки заданої форми аби отримати штабовий прокат, дровові прутки, бруски, куточки, І-профілі, Н-профілі, та інші профілі, що потім нарізають з визначеною довжиною або згортають.

Прокатаний ливарний чавун також не містить будь-яких частинок графіту. В агенті сфероїдалізації підтримується стан елементів, зв'язаних з киснем, сіркою й азотом у залізі, з утворенням диспергованих частинок оксидів, сульфідів, нітридів та їх комплексних сполук.

Крім того, за рахунок термічної обробки ливарного чавуну після прокатки, який було отримано шляхом прокатки, і який не містить частинок графіту аби сформувалися сфероїдальні частинки графіту, з'являється можливість виробництва чавуну зі сфероїдальним графітом, без частинок графіту у вигляді тонких пластин, розподілених у чавуні шарами.

У ливарному чавуні, термічно обробленому після прокатки, дисперговані частинки оксидів, сульфідів, нітридів і комплексних сполук елементів агенту сфероїдалізації, зв'язані з киснем, сіркою й азотом у залізі, утворюють ядра для формування сфероїдальних частинок графіту в ході термічної обробки, тому частинки графіту розподілені рівномірно, причому цих частинок багато і вони мають малі розміри. Таким чином, завдяки тонкому диспергуванню сфероїдальних частинок графіту виходить ливарний чавун з відмінною

оброблюваністю. Процеси гарячої прокатки і холодної прокатки можуть бути доцільно обрані відповідно до товщини чи матеріалу обраного продукту.

У випадку відсутності елементів агенту сфероїдалізації в чавуні, навіть при термічній обробці після прокатки, частинки графіту будуть являти собою не сфероїдальний графіт, а графітову масу чи відпрацьований графіт. Для графітизації також буде потрібно багато часу. На відміну від цього випадку, короточасна термічна обробка забезпечує сфероїдальну графітизацію. Крім того, вище був пояснений спосіб термічної обробки чавуну після лиття, однак, наприклад, коли відлитий напівфабрикатний продукт, отриманий за допомогою здвоєного стрічкового конвеєру, короткого конвеєру, здвоєного чи барабану ливарної машини з коротким барабаном, з використанням стрічок, чи валків інших рухливих ливарних форм, має товщину приблизно від 1 до 30 мм (який може називатися «листом»), не повинен піддаватися прокатці, продукт можна термічно обробляти без прокатки.

У ході гарячої прокатки, якщо задана температура прокатки вище 900 °C, то утворення частинок графіту буде полегшуватися, тому кращою є температура 900 °C чи нижче. Задаючи температуру прокатки 900 °C чи нижче, можна підвищити ймовірність отримання ливарного чавуну без частинок графіту, що утворилися після прокатки листа. Крім того, ця процедура може застосовуватися для термічної обробки до прокатки, тобто, якщо задана температура нагрівання вище 900 °C, утворення частинок графіту буде полегшуватися, тому кращою є температура 900 °C чи нижче.

Потім буде обговорена температура термічної обробки після прокатки ливарного чавуну. Тут метою цієї термічної обробки є полегшення сфероїдальної графітизації. При температурі термічної обробки 900 °C чи нижче для протікання сфероїдальної графітизації потрібен значний час, тому кращою є температура вище 900 °C. Верхня межа температури термічної обробки конкретно не обмежується, однак, якщо ця температура вище 1150 °C, то міцність знижується, і може істотно збільшитися напруженість термічної обробки, тому кращою є термічна обробка при 1150 °C чи нижче.

Далі буде обговорений час термічної обробки після прокатки ливарного чавуну. Оскільки в даному винаході додається агент сфероїдалізації, стає можливим протікання сфероїдальної графітизації за малий час. Якщо час нагрівання перевищує 60 хвилин, іноді відбувається укрупнення частинок графіту. Коли це може відбутися, переважно задають час термічної обробки після прокатки 60 хвилин чи менше. У відповідності зі способом даного винаходу, навіть при часі термічної обробки рівному 60 хвилин чи менше, можна отримати ливарний чавун з рівномірно розподіленими в ньому дрібними частинками графіту.

У даному винаході зовнішня поверхня частинок графіту після термічної обробки прокатаного ливарного чавуну чи тонкого відлитого напівфабрикатного продукту та ін. частково чи цілком покрита феритом. Якщо швидкість охолодження при цій термічній обробці є високою, то ливарний чавун у підсумку буде охолоджений до істотного формування фериту і кількість фериту буде незначною.

Отже, для збільшення частинки фериту в ливарному чавуні важливо витримати час для утворення фази фериту. Переважно ливарний чавун витримують при температурі від 730 до 650 °C у процесі охолодження після термічної обробки, наприклад, кращий час витримування в цих умовах складає приблизно від 30 хвилин до 1 години. Крім того, як інший спосіб, переважно, поступово охолоджують ливарний чавун від 730 до 300 °C у процесі охолодження. Переважно швидкість охолодження підтримують рівною 10°C/хв чи менше. Також можуть бути використані обидва ці способи.

При температурі вище 730 °C стан фериту стає нестабільним, тоді як нижче 300 °C ферит утворюється важко. Крім того, при швидкості охолодження вище 10°C/хв кількість фериту швидко зменшується.

Потім буде розглянутий ливарний чавун з компонентами білого чавуну, у якому диспергована велика кількість сплюснених частинок графіту згідно з цим винаходом.

Безліч диспергованих сплюснених частинок графіту складається з частинок сфероїдального графіту, сплюснених за рахунок прокатки, тому поверхня розділу між частинками графіту і базовим залізом є гладкою, причому кожна частинка присутня незалежно від інших.

У рівні техніки не було відомо ливарного чавуну, який виявляє такі властивості. У результаті отримання ливарного чавуну з такими властивостями, як у даному винаході, може бути забезпечена хороша оброблюваність, а також хороші характеристики гасіння вібрації і поглинання звуку.

Якщо сплюснені частинки графіту стають великими, то оброблюваність чавуну погіршується, тому ширина частинок графіту переважно складає 0,4 мм чи менше, а довжина - 50 мм чи менше.

За рахунок присутності сплюснених частинок графіту в ливарному чавуні, зовнішня поверхня яких частково чи цілком покрита феритом, додатково покращується оброблюваність. Крім того, для забезпечення оброблюваності кількість фериту, що покриває зовнішню поверхню частинок графіту, переважно є підвищеною. Частинка фериту в ливарному чавуні переважно складає 70% (від об'єму) чи більше, переважніше від 80 до 90% (від об'єму) чи більше. Якщо частинка фериту в ливарному чавуні складає менше 70% (від об'єму), то оброблюваність до певної міри погіршується. Тут частинка фериту в ливарному чавуні знаходиться шляхом визначення відносної площі фериту в поперечному перерізі ливарного чавуну. Це значення відносної площі фериту також може бути знайдене шляхом аналізу зображення та ін.

У рівні техніки не був відомий ливарний чавун, що виявляє такі властивості. У результаті отримання ливарного чавуну з такими властивостями, як у даному винаході, може бути забезпечена хороша оброблюваність.

Зазначений вище ливарний чавун отримують шляхом додавання агенту сфероїдалізації в розплав компонентів білого чавуну, лиття розплаву з метою отримання відлитого напівфабрикатного продукту і гарячої прокатки цього відлитого напівфабрикатного продукту. Подробиці способу виробництва будуть розглянуті пізніше.

Крім того, фактична кількість компонентів білого чавуну, що складають композицію, задовольняє умові (у мас. %):  $(\%C) \leq 4,3 - (\%Si) \div 3$  і  $C \geq 1,7\%$ , переважно  $(\%C) \leq 4,3 - 1,3 * (\%Si)$  і  $C \geq 1,7\%$ , і є таким же, як в описі ливарного чавуну зі сфероїдальним графітом.

Додатково є кращим введення, щонайменше, одного з  $Cr \geq 0,1$  мас. % і  $Ni \geq 0,1$  мас. % як компонентів

ливарного чавуну, у такий же спосіб, як в описі ливарного чавуну зі сфероїдальним графітом.

Дисперговані сплющені частинки графіту комплексно зв'язані з частинками, щонайменше, одного типу з оксидів, сульфідів, чи нітридів комплексних сполук елементів агенту сфероїдалізації. Тут термін «агент сфероїдалізації» означає агенти сфероїдалізації Fe-Si-Mg, Fe-Si-Mg-Ca, Fe-Si-Mg-P3M, Ni-Mg та інші, котрі застосовуються у виробництві ливарного чавуну зі сфероїдальним графітом, і конкретно не обмежується. Якщо елементи агенту сфероїдалізації присутні в ливарному чавуні, ці елементи в диспергованому агенті сфероїдалізації зв'язуються з киснем, сіркою й азотом у залізі з утворенням частинок оксидів, сульфідів, нітридів та їх комплексних сполук. Ці сполуки служать зародками для осадження частинок графіту під час термічної обробки до прокатки й у процесі прокатки, у силу чого утворюються частинки графіту, що комплексно зв'язані, щонайменше, з одним типом цих частинок. Частинки графіту, що комплексно зв'язані з цими частинками, сплющуються в процесі прокатки.

Як конкретні елементи агенту сфероїдалізації кращими є Mg, Ca і рідкоземельні метали (РЗМ), з точки зору ефекту прискорення сфероїдалізації. Серед цих металів, магній має особливо сильний ефект і тому є кращим. Отже, як агент сфероїдалізації кращою є сполука, що містить Мд, Са чи рідкоземельні метали (РЗМ). Агент сфероїдалізації може бути індивідуальним елементом, чи являти собою суміш багатьох елементів. У будь-якому випадку проявляється ефект агенту.

Крім того, навіть для ливарного чавуну з диспергованими сплющеними частинками графіту, властивості відлитого напівфабрикатного продукту, отриманого шляхом лиття розплаву, і спосіб отримання відлитого напівфабрикатного продукту є такими ж, як і для ливарного чавуну з диспергованими сфероїдальними частинками графіту.

Як розглянуто вище, відлитий напівфабрикатний продукт, отриманий за способом даного винаходу, не утворюється з частинками графіту усередині, а частинки графіту утворюються пізніше, за рахунок відповідного нагрівання до прокатки чи нагрівання після прокатки, тому можна домогтися міцності, з урахуванням її зниження при прокатці, забезпечити гарячу прокатку й отримати різні типи ливарного чавуну.

Іншими словами, у ході нагрівання і гарячої прокатки елементи в диспергованому агенті сфероїдалізації зв'язуються з киснем, сіркою й азотом у залізі з утворенням оксидів, сульфідів, нітридів та їх комплексних сполук. Ці сполуки служать зародками для утворення сфероїдальних частинок графіту, тому частинки графіту розподілені рівномірно, причому цих частинок багато і вони мають малі розміри. Оскільки сфероїдальні частинки графіту ідеально дисперговані, таким чином, полегшується процес гарячої прокатки.

Крім того, прокатаний ливарний чавун містить дисперговані сплющені частинки графіту. Вони не зв'язані між собою, і присутні незалежно одна від одної. Крім того, поверхня розділу між частинками графіту і базовим залізом є гладкою. Таким чином, за рахунок диспергування сплющених частинок графіту виходить ливарний чавун з відмінною оброблюваністю. Відповідним чином може бути обрана будь-яка наступна холодна прокатка, відповідно до заданої товщини і матеріалу продукту. Якщо під час прокатки в чавуні відсутні елементи агенту сфероїдалізації, то частинки графіту являють собою не сфероїдальний графіт, а утворюють графітні маси чи відпрацьований графіт, причому поверхня розділу між частинками графіту, сплющеними під час прокатки, і базовим залізом стає шорсткуватою чи сітчастою, тому під час прокатки можуть утворитися тріщини, і отже, буде погіршуватися оброблюваність і інші показники листа прокату.

Під час гарячої прокатки, коли температура нагрівання до прокатки й у процесі прокатки складають 900 °С чи нижче, утворення частинок графіту стає затрудненим, тому температура вище 900 °С є кращою. За рахунок здійснення нагрівання до прокатки і процесу прокатки при температурі вище 900 °С у ході нагрівання до прокатки й у процесі прокатки утворення частинок графіту полегшується, і сплющені частинки графіту ідеально диспергуються в отриманому ливарному чавуні. Тут верхня межа температури нагрівання до прокатки й у процесі прокатки конкретно не обмежується, і вона може бути доцільно підібрана, однак, зазвичай ці операції можуть бути здійснені при температурі плавлення заліза, тобто при 1150°С чи нижче.

Той факт, що зовнішня поверхня сплющених частинок графіту в ливарному чавуні частково чи цілком покрита феритом, додатково покращує оброблюваність. Крім того, для забезпечення оброблюваності, переважно збільшують кількість фериту, що покриває зовнішню поверхню частинок графіту. Частинка фериту в поперечному перерізі чавуну переважно складає 70% чи більше, як зазначено раніше.

Якщо швидкість охолодження після гарячої прокатки є високою, то ливарний чавун у підсумку охолоджується раніше, ніж в достатній мірі утвориться ферит, і тому кількість фериту є недостатньою. Отже, для підвищення частинки фериту в ливарному чавуні важливо витримати час для утворення фази фериту після гарячої прокатки. Переважно ливарний чавун витримують один раз при температурі від 730 до 650 °С у процесі охолодження після гарячої прокатки. Наприклад, кращий час витримування в цих умовах складає приблизно від 30 хвилин до 1 години. Крім того, як інший спосіб, переважно, у процесі охолодження поступово охолоджують ливарний чавун у діапазоні між 730 і 300 °С. Переважно швидкість охолодження підтримують рівною 10°С/хв чи менше. Також можуть бути використані обидва ці способи.

При температурі вище 730°Сі стан фериту стає нестабільним, тоді як нижче 300 °С ферит важко утворюється. Крім того, при швидкості охолодження вище 10°С/хв кількість фериту швидко зменшується.

Коли ливарний чавун після гарячої прокатки являє собою лист, його можна згорнути в рулон. Для підвищення кількості фериту в цей момент, переважно, згортання проводять при температурі від 750 до 550 °С, оскільки при цьому забезпечується поступове охолодження. У цьому випадку зазвичай швидкість охолодження підтримують рівною 10°С/хв чи менше.

При температурі вище 750 °С завершення прокатки і згортання стає утрудненим. З іншого боку, якщо згортання проводять при температурі нижче 550 °С, кількість фериту швидко зменшується.

Крім того, ливарний чавун, що містить дисперговані сплющені частинки графіту, отриманий шляхом гарячої прокатки, як описано вище, у разі потреби, може бути підданий додатково холодній прокатці.

Сплющені частинки графіту легко поглинають вібрацію, у порівнянні з ливарним чавуном зі сфероїдальним графітом, тому з'являється можливість отримувати ливарний чавун з покращеними показниками гасіння вібрації і поглинання звуку.

## Приклади

### Приклад 1

Розплавляють у плавильній печі хімічні компоненти кожного з ливарних чавунів, зазначених у таблиці 1, додають агент сфероїдалізації, потім розплав відливають у квадратну ливарну форму (зі стороною 100 мм). Білий чавун піддають гарячій прокатці, аби отримати лист гарячої прокатки, товщиною 3,5 мм. Частини листа гарячої прокатки і штабу холодної прокатки, отриману шляхом прокатки білого чавуну, піддають термічній обробці в нагрівальній печі. Після завершення нагрівання зразки охолоджують до кімнатної температури в заданому температурному режимі.

З іншого боку, у порівняльних прикладах отримані зразки з використанням традиційної технології. Конкретно, у Порівняльному прикладі 1 розливають традиційний розплав ливарного чавуну зі сфероїдальним графітом, і отриманий відлитий напівфабрикатний продукт піддають гарячій прокатці. Далі, у Порівняльному прикладі 2 розплав ливарного чавуну із системою компонентів білого чавуну розливають без додавання будь-якого агента сфероїдалізації, і отриманий відлитий напівфабрикатний продукт піддають гарячій прокатці, холодній прокатці і потім термічній обробці після прокатки.

Відбирають зразки отриманих відлитих напівфабрикатних продуктів, листи гарячої прокатки, штаби холодної прокатки й листи термічної обробки, і досліджують склад осаджених фаз, за допомогою скануючого електронного мікроскопу (SEM) з приставкою для рентгенівської дифракції, і число осаджених фаз за допомогою SEM. Далі досліджують форму і число частинок графіту за допомогою оптичного мікроскопу. Крім того, кожен листовий продукт піддають корозії під дією корозійного розчину Nital, аби виявити структуру металу, що потім досліджують під оптичним мікроскопом з метою визначення відносної площі фериту (іноді називається «частинка фериту»). Ці результати узагальнені в таблицях 2 і 3.

Таблиця 1

	№	C (%)	Si (%)	4,3-(%Si)/3 (%)	4,3-1,3(%Si) (%)	Ce (%)	Ni (%)	Mg (%)	Ca (%)	PSM (%)	Тип агента сфероїдалізації
В	1	1,8	1,8	4,9	2	-	-	0,01	-	-	Fe-Si-Mg
	2	2,0	1,5	3,8	2,4	-	-	-	0,01	-	Ca-Si
	3	2,5	1,2	4,7	2,7	-	-	-	-	0,005	Fe-PSM
	4	3,0	0,9	4	3,1	-	-	0,06	-	-	Fe-Mg
И	5	3,5	0,3	4,2	3,9	-	-	0,02	0,003	-	Fe-Si-Ca-Mg
	6	3,7	0,4	4,2	3,8	-	-	0,03	-	0,1	Fe-Si-Mg-PSM
Н	7	3,0	0,5	4,1	3,7	0,1	-	-	-	0,05	Змішаний метал
	8	2,5	0,5	4,1	3,7	10,0	-	-	0,005	-	Ca-Si
А	9	3,5	0,3	4,2	3,9	-	0,1	0,04	0,006	-	Fe-Si-Mg-Ca
	10	3,0	0,01	4,29	4,29	-	3,5	0,03	-	-	Ni-Mg
Х	11	2,5	0,9	4,0	3,1	3,5	1,0	0,05	-	0,05	Fe-Si-Mg-PSM
	12	3,7	0,2	4,2	4	-	-	0,03	-	0,1	Fe-Si-Mg-PSM
І	13	3,5	0,3	4,2	3,9	-	0,1	0,04	0,006	-	Fe-Si-Mg-Ca
	14	2,5	2,0	3,6	1,7	-	0,3	0,02	-	-	Ni-Mg
Д	15	3,0	3,5	3,1	-0,3	-	-	-	-	0,02	Змішаний метал
	16	3,0	2,0	3,6	1,7	-	-	-	-	-	Fe-Si-Mg
	17	3,5	0,7	4,1	3,4	-	-	0,04	0,004	-	Fe-Si-Ca-Mg
Порівн. приклад	1	3,6	2,5	3,5	1,1	-	-	0,03	-	-	Fe-Si-Mg
	2	2,5	0,5	4,1	3,7	-	-	-	-	-	-

(Знак % повсюди означає «мас. %»)



Таблиця 2-1

І	№	Т гар. прокатки (°С)	Хол. прокатка	Т термічної обробки (°С)	Час терміч. обробки (хвил.)	Т нагріву після терміч. обробки (°С)	Швидкість охолодження після терміч. обробки (°С/хвил.)	Продукт	Заготовка				
									Графіт			Число включень*	
									напря-ність	форма	шіль-ність (мм <sup>-2</sup> )	тип	шільність (мм <sup>-1</sup> )
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
В И Н А Х І Д	1а	900	немає	910	60	-	3	Лист гарячого прокату	немає	-	-	Mg-O-S	180
	2а	850	є	1000	20	650	5	Штаба холодного прокату	немає	-	-	Ca-O-S	60
	3а	800	є	950	40	-	8	Штаба холодного прокату	немає	-	-	P3M-O-S	150
	4а	820	немає	905	60	-	2	Лист гарячого прокату	немає	-	-	Mg-O-S	1000
	5а	780	немає	960	30	-	0,2	Лист гарячого прокату	немає	-	-	Mg-O-S Ca-O-S	250
	6а	900	є	1000	30	-	1	Штаба холодного прокату	немає	-	-	Mg-O-S P3M-O-S	500
	7а	820	є	910	40	730	20	Штаба холодного прокату	немає	-	-	P3M-O-S	150
	8а	850	немає	950	25	-	5	Лист гарячого прокату	немає	-	-	Ca-O-S	60
	9а	850	немає	930	50	-	8	Лист гарячого прокату	немає	-	-	Mg-O-S Ca-O-S	220

Продовження табл. 2-1

І	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
В И Н А Х І Д	10а	750	є	1000	5	-	10	Штаба холодного прокату	немає	-	-	Mg-O-S	160
	11а	840	немає	1050	10	-	30	Лист гарячого прокату	немає	-	-	Mg-O-S P3M-O-S	300
	12а	900	є	1000	30	-	5	Штаба холодного прокату	немає	-	-	Mg-O-S P3M-O-S	150
	13а	850	немає	800	90	700	1	Лист гарячого прокату	немає	-	-	Mg-O-S Ca-O-S	250
	14а	900	немає	950	60	-	2	Лист гарячого прокату	немає	-	-	Mg-O-S	800
	15а	800	немає	1050	5	-	0,1	Лист гарячого прокату	немає	-	-	P3M-O-S	120
	16а	850	є	1000	30	700	10	Штаба холодного прокату	немає	-	-	Mg-O-S	300
	17а	790	немає	910	20	-	5	Лист гарячого прокату	немає	-	-	Mg-O-S Ca-O-S	450
	18а	900	немає	-	-	-	-	Лист гарячого прокату	є	сферо- їд	800	Mg-O-S	50
Порів. при- клад	2	900	є	1000	60	-	20	Штаба холодного прокату	немає	-	-	-	-

\* «Число включень» означає включення розміром від 0,05 до 5 мкм

Таблиця 2-2

1	2	Лист продукту							
		Графіт			Включення*			Частка фериту (%)	Оброблюваність**
		нашпильність	форма	кількість	Тип	Щільність (мм <sup>2</sup> )	Стан		
3	4	5	6	7	8	9	10		
В	1а	е	сфера	100	Mg-O-S	180	У графіті	95	1
	2а	е	сфера	50	Ca-O-S	60	У графіті	80	2
	3а	е	сфера	120	PЗМ-O-S	150	У графіті	55	2
	4а	е	сфера	900	Mg-O-S	1000	У графіті	80	1
И	5а	е	сфера	240	Mg-O-S Ca-O-S	250	У графіті	100	1
	6а	е	сфера	400	Mg-O-S PЗМ-O-S	500	У графіті	90	1
Н	7а	е	сфера	110	PЗМ-O-S	150	У графіті	60	2
	8а	е	сфера	50	Ca-O-S	60	У графіті	65	2
А	9а	е	сфера	200	Mg-O-S Ca-O-S	220	У графіті	30	3
	10а	е	сфера	150	Mg-O-S	180	У графіті	55	3
Х	11а	е	сфера	250	Mg-O-S PЗМ-O-S	300	У графіті	5	3
	12а	е	сфера	100	Mg-O-S PЗМ-O-S	150	У графіті	75	2
Д	13а	е	сфера	220	Mg-O-S Ca-O-S	250	У графіті	100	1
	14а	е	сфера	400	Mg-O-S	800	У графіті	95	1
	15а	е	сфера	100	PЗМ-O-S	120	У графіті	100	1
	16а	е	сфера	250	Mg-O-S	300	У графіті	85	2

Продовження табл. 2-2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	17а	е	сфера	300	Mg-O-S Ca-O-S	450	У графіті	90	1
Порівн. проклад	1	е	шар	80	Mg-O-S	90	У графіті	0	4
	2	немає			-			0	4

\* «Число включень» означає включення розміром від 0,05 до 5 мкм;

\*\*Оброблюваність оцінюють за випробуванням згинання наступним чином: 1- відмінно; 2- добре; 3- задовільно; 4- погано

Таблиця 3-1

1	2	Температура гартування (°C)	Температура втримки (°C)	Швидкість охолодження (°C/мин)	Холодна прокатка	Продукт	Заготовка		
							Графіт	Включення*	
								Тип	Щільність (мм <sup>2</sup> )
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
В	1б	910		0,2	немає	Лист гарячого прокату	немає	Mg-O-S	180
	2б	950		20	е	Штаба холодноного прокату	немає	Ca-O-S	60
	3б	1000	730	8	е	Штаба холодноного прокату	немає	PЗМ-O-S	150
	4б	920		1	немає	Лист гарячого прокату	немає	Mg-O-S	1000
И	5б	1100		8	немає	Лист гарячого прокату	немає	Mg-O-S Ca-O-S	250
	6б	950		0,1	е	Штаба холодноного прокату	немає	Mg-O-S PЗМ-O-S	500
Н	7б	1010		5	е	Штаба холодноного прокату	немає	PЗМ-O-S	150
	8б	1100		2	немає	Лист гарячого прокату	немає	Ca-O-S	60
А	9б	910	650	15	немає	Лист гарячого прокату	немає	Mg-O-S Ca-O-S	220
	10б	1120		3	е	Штаба холодноного прокату	немає	Mg-O-S	180
Х	11б	950		0,5	немає	Лист гарячого прокату	немає	Mg-O-S PЗМ-O-S	300
	12б	950		1	е	Штаба холодноного прокату	немає	Mg-O-S PЗМ-O-S	150
Д	13б	950	700	1	немає	Лист гарячого прокату	немає	Mg-O-S Ca-O-S	250
	14б	1050	-	0,2	е	Штаба холодноного прокату	немає	Mg-O-S	800
	15б	950	700	2	немає	Лист гарячого прокату	немає	PЗМ-O-S	120
	16б	1000	-	5	немає	Лист гарячого прокату	немає	Mg-O-S	300
	17б	1100	-	20	немає	Лист гарячого прокату	немає	Mg-O-S Ca-O-S	450

\* «Число включень» означає включення розміром від 0,05 до 5 мкм;

Таблиця 3-2

1	2	№	Лист продукту								
			Частинки графіту				Включення			Частка фериту (%)	Оброблюваність**
			Наявність	Форма	Довжина (мм)	Ширина (мм)	Щільність (мм <sup>2</sup> )	Тип	Щільність (мм <sup>2</sup> )	Стан	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
В	1b	е	Сплющені, дисперговані	45	0,1	120	Mg-O-S	180	у графіті	99	1
	2b	е	Сплющені, дисперговані	30	0,2	50	Ca-O-S	60	у графіті	5	3
И	3b	е	Сплющені, дисперговані	20	0,2	120	PM-O-S	150	у графіті	75	2
	4b	е	Сплющені, дисперговані	50	0,4	900	Mg-O-S	1000	у графіті	80	1
Н	5b	е	Сплющені, дисперговані	15	0,1	240	Mg-O-S Ca-O-S	250	у графіті	50	3
	6b	е	Сплющені, дисперговані	10	0,08	400	Mg-O-S PM-O-S	500	у графіті	100	1
Х	7b	е	Сплющені, дисперговані	5	0,05	110	PM-O-S	150	у графіті	60	2
	8b	е	Сплющені, дисперговані	25	0,1	50	Ca-O-S	60	у графіті	80	1
І	9b	е	Сплющені, дисперговані	48	0,35	200	Mg-O-S Ca-O-S	220	у графіті	70	2
	10b	е	Сплющені, дисперговані	40	0,25	150	Mg-O-S	180	у графіті	75	2
Д	11b	е	Сплющені, дисперговані	20	0,2	250	Mg-O-S PM-O-S	300	у графіті	95	1

Продовження табл. 3-2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
В	12b	е	Сплющені, дисперговані	55	0,5	100	Mg-O-S PM-O-S	150	у графіті	100	1
	13b	е	Сплющені, дисперговані	20	0,2	220	Mg-O-S Ca-O-S	250	у графіті	95	1
И	14b	е	Сплющені, дисперговані	50	0,2	100	Mg-O-S	800	у графіті	100	1
	15b	е	Сплющені, дисперговані	20	0,4	110	PM-O-S	120	у графіті	95	1
Н	16b	е	Сплющені, дисперговані	5	0,1	200	Mg-O-S	300	у графіті	90	1
	17b	е	Сплющені, дисперговані	40	0,5	300	Mg-O-S Ca-O-S	450	у графіті	10	3

\* «Число включень» означає включення розміром від 0,05 до 5 мкм;

\*\*Оброблюваність оцінюють за випробуванням згинання наступним чином: 1- відмінно; 2- добре; 3- задовільно; 4- погано

У прикладах №№ від 1а до 17а охарактеризовані зразки листів ливарного чавуну, що містять білий чавун, у якому дисперговані сфероїдальні частинки графіту, у той час як у прикладах №№ від 1б до 17б охарактеризовані зразки листів ливарного чавуну, що містять білий чавун, у якому дисперговані сплющені частинки графіту.

З результатів зазначених вище прикладів з'ясовано, що в прикладах до винаходу можуть бути отримані листи ливарного чавуну, у якому дисперговані дрібні сфероїдальні чи сплющені частинки графіту. Ці листи ливарного чавуну можуть бути оброблені шляхом згинання без утворення тріщин. Зокрема, для листів з часткою фериту 60% чи більше забезпечується оброблюваність шляхом згинання, у той час як листи з часткою фериту 70% чи більше мають відмінну оброблюваність.

З іншого боку, у Порівняльному прикладі 1 відбувається крайове розтріскування листа під час гарячої прокатки, і форма листа є незадовільною. Отриманий лист зрештою розтріскується при згинанні. У Порівняльному прикладі 2 при згинанні відбувається розтріскування.

Далі на Фіг.1 показані приклади фотографій структури металу для випробуваних зразків, при цьому на Фіг.1 (а) показана структура металу з прикладу винаходу № 1а, на Фіг.1 (б) показано структуру металу з прикладу винаходу № 1б і Фіг.1 (с) показано структуру металу з Порівняльного прикладу № 1. У прикладі винаходу № 1а, на Фіг.1 частинки графіту мають сфероїдальну форму, у той час як у прикладі винаходу № 1б частинки графіту є сплюсненими. На протилежну цьому, у Порівняльному прикладі № 1 частинки графіту мають форму тонких пластин, що знаходяться в шарах.

Крім того, на Фіг.2 показані приклади збільшених фотографій частинок графіту з прикладів відповідно до винаходу. На Фіг.2(а) показана сфероїдальна частинка графіту з прикладу № 1а, у той час як на Фіг.2(б) показана сплюснена частинка графіту з прикладу № 1б. Поблизу центру кожної частинки графіту має місце включення, що відіграє роль зародку при утворенні частинки графіту. Крім того, методом СЕМ установлено, що включення поблизу центру частинки графіту містить Mg-O-S.

Крім того, на Фіг.3 показані приклади фотографій структур металу випробуваних зразків після корозії під дією корозійного розчину Nital, причому на Фіг.3 (а) показана структура металу з прикладу № 1а винаходу, на Фіг.3(б) показана структура металу з прикладу № 1б і на Фіг.3(с) показана структура металу з прикладу 2б. У

прикладі винаходу № 1а, на Фіг.3 сфероїдальні частинки графіту покриті феритом практично по всій їх поверхні, у той час як у прикладі винаходу № 1b сплюснені частинки графіту покриті феритом практично по всій їх поверхні. Навпаки, у зразку прикладу 2b частинка площі фериту є невеликою. Мається суміш сплюснених частинок графіту, покритих феритом по всій їх поверхні, і сплюснених частинок графіту, поверхня яких тільки частково покрита феритом. У кожному випадку частинки графіту покриті феритом по всій їхній поверхні, і зберігається оброблюваність матеріалу.

#### Приклад 2

У розплав ливарного чавуну, що містить 3,4 мас. % С і 0,3 мас. % Si, додають агент сфероїдалізації Ni-Mg до вмісту Mg 0,03 мас. % і потім безперервно відливають за допомогою вертикальної машини безперервного лиття з разливочним пристроєм, використовуючи мідну ливарну форму, охолоджувану водою, з утворенням листової заготовки товщиною 200 мм і шириною 1000 мм, щоб отримати відлитий напівфабрикатний продукт.

На Фіг.4 показаний загальний вигляд машини безперервного лиття.

Частину цього відлитого напівфабрикатного продукту піддають гарячій прокатці при 850 °С, щоб отримати лист гарячого прокату товщиною 3 мм. Далі частину листа гарячого прокату піддають холодній прокатці, щоб отримати штабу холодного прокату товщиною 1 мм. Отримані в такий спосіб лист гарячого прокату і штабу холодного прокату нагрівають у печі при температурі 1000 °С протягом 30 хвилин. По закінченні нагрівання листу і штабі дають остудитися до кімнатної температури. З отриманого відлитого напівфабрикатного продукту, листа гарячого прокату, штаби холодного прокату і термічно оброблених листів відбирають зразки для дослідження форми і розподілу частинок графіту.

У результаті, у відлитому напівфабрикатному продукті і листі до термічної обробки виявлені частинки оксидів і сульфідів магнію та їхнього сполучення розміром приблизно від 0,1 до 3 мкм, однак частинки графіту не виявлені. З іншого боку, в листах після термічної обробки виявлені сфероїдальні частинки графіту, як у листі після гарячої прокатки, так і в штабі холодного прокату. Число цих сфероїдальних частинок графіту складає приблизно 100 частинок/мм<sup>2</sup>, що демонструє значну концентрацію диспергованих дрібних частинок. Крім того, частинки, що спостерігаються до термічної обробки, були присутні усередині цих сфероїдальних частинок графіту.

Далі, іншу частину відлитого напівфабрикатного продукту піддають гарячій прокатці при 950 °С, щоб отримати лист гарячого прокату товщиною 3 мм, який потім згортають при температурі 600 °С. Крім того, частину листа гарячого прокату піддають холодній прокатці до штаби холодного прокату товщиною 1 мм. Відбирають зразки отриманого відлитого напівфабрикатного продукту, листа гарячого прокату і штаби холодного прокату для дослідження форми і розподілу частинок графіту.

У відлитому напівфабрикатному продукті виявлені частинки оксидів і сульфідів магнію та їхнього сполучення розміром приблизно від 0,1 до 3 мкм, однак частинки графіту не виявлені. В листах після прокатки може спостерігатися стан сплюснених диспергованих частинок графіту, як у листі після гарячої прокатки, так і в штабі холодного прокату. Число сфероїдальних частинок графіту складає приблизно 100 частинок/мм<sup>2</sup>, що демонструє значну концентрацію диспергованих дрібних частинок. Крім того, частинки, що спостерігаються усередині відлитого напівфабрикатного продукту, були присутні усередині частинок графіту. До того ж, поверхня частинок графіту була покрита феритом. Частинка площі фериту складає 98%.

#### Приклад 3

У розплав ливарного чавуну, що містить 2,4 мас. % С і 0,7 мас. % Si, додають агент сфероїдалізації Ca-Si до вмісту Ca 0,005 мас. % і Si до 1 мас. %, і потім безперервно відливають за допомогою вертикальної машини лиття слябів з разливочним пристроєм, використовуючи мідну ливарну форму, охолоджувану водою, з утворенням листової заготовки товщиною 50 мм і шириною 900 мм.

Частину цього відлитого напівфабрикатного продукту піддають гарячій прокатці при 800 °С, щоб отримати лист гарячого прокату товщиною 3,5 мм, який потім згортають. Далі частину листа гарячого прокату піддають холодній прокатці, щоб отримати штабу холодного прокату товщиною 1,5 мм. Отримані в такий спосіб лист гарячого прокату і штабу холодного прокату нагрівають у печі при температурі 1000 °С протягом 30 хвилин. По закінченні нагрівання листу і штабі дають остудитися від 700 до 300 °С при швидкості охолодження 1°С/хв, потім дають остудитися до кімнатної температури. З отриманого відлитого напівфабрикатного продукту, листа гарячого прокату, штаби холодного прокату і термічно оброблених листів відбирають зразки для дослідження форми і розподілу частинок графіту. В результаті, у відлитому напівфабрикатному продукті і листі до термічної обробки виявлені частинки оксидів і сульфідів кальцію та їх сполучення розміром приблизно від 0,5 до 5 мкм, однак частинки графіту не виявлені. З іншого боку, в листах після термічної обробки виявлені сфероїдальні частинки графіту, як у листі після гарячої прокатки, так і в штабі холодного прокату. Число цих сфероїдальних частинок графіту складає приблизно 150 частинок/мм<sup>2</sup>, що вказує на значну концентрацію диспергованих дрібних частинок. Крім того, частинки, що спостерігаються до термічної обробки, були присутні усередині цих сфероїдальних частинок графіту. До того ж, поверхня частинок графіту була покрита феритом. Частина площі фериту складає 75%.

Далі, іншу частину відлитого напівфабрикатного продукту піддають гарячій прокатці при 1000 °С, щоб отримати лист гарячого прокату товщиною 3,5 мм, який потім згортають при температурі 730 °С. Крім того, частину листа гарячого прокату піддають холодній прокатці до штаби холодного прокату товщиною 1,5 мм. Відбирають зразки отриманого відлитого напівфабрикатного продукту, листа гарячого прокату і штаби холодного прокату для дослідження форми і розподілу частинок графіту.

У відлитому напівфабрикатному продукті виявлені частинки оксидів і сульфідів кальцію та їх сполучення розміром приблизно від 0,5 до 4 мкм, однак частинки графіту не виявлені. В листах після прокатки може спостерігатися стан сплюснених диспергованих частинок графіту, як у листі після гарячої прокатки, так і в штабі холодного прокату. Число сплюснених частинок графіту складає приблизно 150 частинок/мм<sup>2</sup>, що вказує на значну концентрацію диспергованих дрібних частинок. Крім того, частинки, що спостерігаються усередині відлитого напівфабрикатного продукту, були присутні усередині частинок графіту. До того ж, поверхня частинок графіту була покрита феритом. Частина площі фериту складає 95%.

#### Приклад 4

У розплав ливарного чавуну, що містить 3,0 мас. % С і 0,6 мас. % Si, додають агент сфероїдалізації на основі РЗМ до вмісту РЗМ 0,01 мас. % і потім відливають за допомогою безперервної машини лиття зі з двоєним барабаном (діаметр барабану 1000 мм) до листа товщиною 3 мм. Частину цього листа піддають холодній прокатці, щоб отримати штабу холодного прокату товщиною 1,0 мм. Отримані в такий спосіб лист після лиття і штабу холодного прокату нагрівають у печі при температурі 950 °С протягом 45 хвилин. По закінченні нагрівання листу і штабі дають остудитися до кімнатної температури. З отриманого відлитого напівфабрикатного продукту, штаби холодного прокату і термічно оброблених листів відбирають зразки для дослідження форми і розподілу частинок графіту.

В результаті, у відлитому напівфабрикатному продукті і листі до термічної обробки виявлені частинки оксидів і сульфідів РЗМ та їх сполучень розміром приблизно від 0,1 до 3 мкм, однак частинки графіту не виявлені. З іншого боку, в листах після термічної обробки виявлені сфероїдальні частинки графіту, як у листі після гарячої прокатки, так і в штабі холодного прокату. Число цих сфероїдальних частинок графіту складає приблизно 200 частинок/мм<sup>2</sup>, що демонструє значну концентрацію диспергованих дрібних частинок. Крім того, частинки, що спостерігаються до термічної обробки, були присутні усередині цих сфероїдальних частинок графіту. До того ж, поверхня частинок графіту була покрита феритом.

#### Приклад 5

У розплав ливарного чавуну, що містить 3,0 мас. % С і 0,6 мас. % Si, додають агент сфероїдалізації на основі РЗМ до вмісту РЗМ 0,01 мас. % і потім відливають за допомогою безперервної машини лиття зі з двоєним барабаном (діаметр барабану 1000 мм) до листа товщиною 3 мм. Цей лист прокатують до товщини 2,4 мм у машині для прокатки, сполученої в одній лінії. Крім того, температуру прокатки підтримують рівною 950 °С. Частину цього листа піддають холодній прокатці, щоб отримати штабу холодного прокату товщиною 1,0 мм. З отриманого листа гарячої прокатки і штаби холодного прокату відбирають зразки для дослідження форми і розподілу частинок графіту.

У листи гарячої прокатки, а також у штабі холодного прокату виявлені сплюснені частинки графіту. Дисперговано велике число сплюснених частинок графіту, які, до того ж, мають розміри: ширина від 0,01 до 0,3 мм і довжина від 0,02 до 30 мм. Крім того, усередині цих сплюснених частинок графіту виявлені частинки оксидів і сульфідів РЗМ та їх сполучень, розміром приблизно від 0,05 до 3 мкм.

#### Приклад 6

У розплав ливарного чавуну, що містить 3,4 мас. % С і 0,3 мас. % Si, додають агент сфероїдалізації Ni-Mg до вмісту Мд 0,03 мас. % і потім безперервно відливають за допомогою вертикальної машини безперервного лиття з розливочним пристроєм, використовуючи мідну ливарну форму, охолоджувану водою, з утворенням листової заготовки товщиною 250 мм і шириною 1500 мм, щоб отримати відлитий напівфабрикатний продукт. На Фіг.4 показаний загальний вигляд машини безперервного лиття.

Частину цього відлитого напівфабрикатного продукту піддають гарячій прокатці при 850 °С, щоб отримати лист гарячого прокату товщиною 40 мм. Отриманий у такий спосіб лист гарячого прокату нагрівають у печі при температурі 1000 °С протягом 30 хвилин. По закінченні нагрівання листу дають остудитися до кімнатної температури. З отриманого відлитого напівфабрикатного продукту, листа гарячого прокату і термічно обробленого листа відбирають зразки для дослідження форми і розподілу частинок графіту.

В результаті, у відлитому напівфабрикатному продукті і листі до термічної обробки виявлені частинки оксидів і сульфідів магнію та їх сполучень розміром приблизно від 0,1 до 3 мкм, однак частинки графіту не виявлені. З іншого боку, в листах після термічної обробки виявлені сфероїдальні частинки графіту. Число цих сфероїдальних частинок графіту складає приблизно 180 частинок/мм<sup>2</sup>, що демонструє значну концентрацію диспергованих дрібних частинок. Крім того, частинки, що спостерігаються до термічної обробки, були присутні усередині цих сфероїдальних частинок графіту.

Далі, іншу частину відлитого напівфабрикатного продукту піддають гарячій прокатці при 950 °С, щоб отримати лист гарячого прокату товщиною 40 мм. Відбирають зразки отриманого відлитого напівфабрикатного продукту і листа гарячого прокату для дослідження форми і розподілу частинок графіту.

У відлитому напівфабрикатному продукті виявлені частинки оксидів і сульфідів магнію та їх сполучень розміром приблизно від 0,1 до 3 мкм, однак частинки графіту не виявлені. У листи після прокатки може спостерігатися стан сплюснених диспергованих частинок графіту. Число сфероїдальних частинок графіту складає приблизно 180 частинок/мм<sup>2</sup>, що демонструє значну концентрацію диспергованих дрібних частинок. Крім того, частинки, що спостерігаються усередині відлитого напівфабрикатного продукту, були присутні усередині частинок графіту.

#### Приклад 7

У розплав ливарного чавуну, що містить 2,4 мас. % С і 1,0 мас. % Si, додають агент сфероїдалізації Ni-Mg до вмісту Мд 0,03 мас. % і потім безперервно відливають за допомогою криволінійної машини безперервного лиття з розливочним пристроєм, використовуючи мідну ливарну форму, охолоджувану водою, з утворенням квадратної заготовки зі стороною 160 мм, щоб отримати відлитий напівфабрикатний продукт.

Частину цього відлитого напівфабрикатного продукту піддають гарячій прокатці при 850 °С, щоб отримати пруток діаметром 20 мм. Отриманий у такий спосіб пруток ливарного чавуну нагрівають у печі при температурі 1000 °С протягом 30 хвилин. По закінченні нагрівання прутку дають остудитися до кімнатної температури. З отриманого відлитого напівфабрикатного продукту, прутка чавуну і термічно обробленого прутка чавуну, відбирають зразки для дослідження форми і розподілу частинок графіту.

В результаті, у відлитому напівфабрикатному продукті і прутку ливарного чавуну до термічної обробки виявлені частинки оксидів і сульфідів магнію та їх сполучень розміром приблизно від 0,1 до 3 мкм, однак частинки графіту не виявлені. З іншого боку, у прутку після термічної обробки виявлені сфероїдальні частинки графіту. Число цих сфероїдальних частинок графіту складає приблизно 180 частинок/мм<sup>2</sup>, що демонструє значну концентрацію диспергованих дрібних частинок. Крім того, частинки, що спостерігаються до термічної обробки, були присутні всередині цих сфероїдальних частинок графіту.

Далі, іншу частину відлитого напівфабрикатного продукту піддають гарячій прокатці при 950 °С, щоб отримати лист гарячого прокату товщиною 15 мм. Відбирають зразки отриманого відлитого напівфабрикатного продукту і прутка чавуну для дослідження форми і розподілу частинок графіту.

У відлитому напівфабрикатному продукті, як зазначено вище, виявлені частинки оксидів і сульфідів магнію та їх сполучень розміром приблизно від 0,1 до 3 мкм, однак частинки графіту не виявлені. У прутку ливарного чавуну може спостерігатися стан сплюснених диспергованих частинок графіту. Число сплюснених частинок графіту складає приблизно 180 частинок/мм<sup>2</sup>, що демонструє значну концентрацію диспергованих дрібних частинок. Крім того, частинки, що спостерігаються усередині відлитого напівфабрикатного продукту, були присутні усередині частинок графіту.

Промислове застосування

Відповідно до прокату ливарного чавуну, листовим чавуном і зі способом отримання даного винаходу, прокатаний ливарний чавун може бути зроблений без термічної обробки, для якої необхідна значна кількість енергії і тривалий час. Завдяки винаходу, з'являється можливість отримання пластинчастого чавуну, листового чавуну, брускового чавуну та ін., що мають відмінну оброблюваність, і можливість отримання з них різних продуктів. Іншими словами, з'являється можливість отримання відлитого напівфабрикатного продукту з чавуну з низькими витратами енергії і малих викидів СОг, тобто, з малим впливом на навколишнє середовище.

Фіг. 1(a)



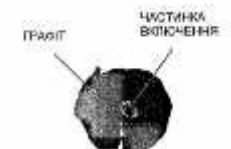
Фіг. 1(b)



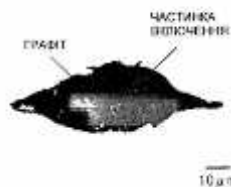
Фіг. 1(c)



Фіг. 2(a)



Фіг. 2(b)



Фіг. 3 (a)



Фіг. 3 (b)



Фіг. 3 (c)





Фіг.4