
ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, МЕХАНІЗАЦІЇ ТА КОМП'ЮТЕРИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЛИТТЯ

<https://doi.org/10.15407/plit2022.02.034>

УДК 669:624.21.4.015

К. О. Костик, д-р техн. наук, проф.; e-mail: Kateryna.Kostyk@khpi.edu.ua;
ORCID 0000-0003-4139-9970

О. В. Акімов, д-р техн. наук, проф.; e-mail: Oleg.Akimov@khpi.edu.ua;
ORCID 0000-0001-7583-9976

Рухоума Алі Емхіммід Алі, аспірант

Д. П. Терентьев, магістр

Заїтер Алі Алріда, магістр

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Харків, Україна)

ВСТАНОВЛЕННЯ НЕОБХІДНОГО СПІВВІДНОШЕННЯ КОМПОНЕНТІВ ШИХТОВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИПЛАВКИ ЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ 35ХМЛ

Основним завданням сталеплавильного процесу є отримання рідкої сталі заданого хімічного складу з певними фізико-хімічними і ливарними властивостями, з мінімальними витратами часу, матеріалів і енергоресурсів. Особливість розрахунку шихти для плавки сталі пов'язана з великою універсальністю сталеплавильних агрегатів, різноманітним методом плавки і широким діапазоном зміни фізико-хімічних процесів під час плавки. Переважна кількість елементів, що входять до складу отриманої сталі, неоднаково окислюються за періодами плавки. У періоди плавлення і окислення ці елементи вигоряють сильніше, ніж в процесі доведення і розкислення. Тривалість окремих періодів плавки, особливо початкових, може значно коливатися залежно від якості шихтових матеріалів і від технології плавки. Велике значення має і абсолютний вміст елементів в сталі. Тому навіть при плавці сталі в одній печі можуть бути різні технологічні варіанти, і угар елементів може змінюватися в широких межах. Середнє значення угару елементів є важко встановленою і наближеною характеристикою поведінки елементів в процесі плавки. Розраховувати її за коефіцієнтом засвоєння елементів з шихтових матеріалів не завжди можна, так як невідомі відносні кількості складових шихти. Тому метою роботи є встановлення необхідного співвідношення компонентів шихтових матеріалів для отримання легованої сталі 35ХМЛ в індукційній тигельній печі типу ІТП-4,5 для виливки зубчастого вінця. Для досягнення мети проведено розрахунки шихти для виплавки сталі за програмою Excel в наступній послідовності: вибрані компоненти шихти, їх склад і норми витрат, де враховано середні значення компонентів в шихті, а саме повернення власного виробництва, пакети сталеві, стружка сталева, чавун передільний, лом сталевий, феросплави; визначено кількість компонентів і вміст вуглецю в шихті, кількість елементів, які вносяться компонентами з шихти; визначено масу основних елементів і домішок, які вносяться з феросплавами; проведено перевірку вмісту основних компонентів в сталі. Показано, що отриманий сплав має необхідний хімічний склад, який забезпечує належні експлуатаційні характеристики виливки.

Ключові слова: шихтові матеріали, угар, легована сталь, виливки, феросплави.

Україна завжди славилася своїм промисловим потенціалом, металургійними та ливарними підприємствами. Основними «ливарними» територіями України є Харківська, Донецька, Запорізька, Дніпропетровська та Одеська області, а також частково області центру (Київська та Полтавська) та західна частина (Волинська та Рівненська). Безумовно, основний ливарний потенціал України зосереджено в Східному регіоні.

Україна за підсумками роботи металургійних підприємств у 2020 році зайняла 11 місце в рейтингу основних світових виробників сталі (64 країни), складеному Всесвітньою асоціацією виробників сталі. У грудні 2020 року наша країна збільшила виробництво сталі на 22,1 %, як порівняти з аналогічним періодом 2019 року (до 1,906 млн тонн). В цілому за 2020 рік 64 країни виробили 1 млрд 829,140 млн тонн сталі, що на 0,9 % менше, ніж за 2019 рік [1].

Останнім завданням сталеплавильного процесу є отримання рідкої сталі заданого хімічного складу з певними фізико-хімічними і ливарними властивостями, з мінімальними витратами часу, матеріалів і енергоресурсів. У плавильному агрегаті в суворій послідовності відбуваються складні фізико-хімічні процеси між металом, шлаком і пінною атмосферою. Ці процеси, зазвичай не досягаючи рівноваги, значною мірою визначають основні напрямки реакцій і техніко-економічні показники виробництва.

Останніми роками безперервно зростає питома вага електросталі в балансі сталевих виливків і становить 97 %. Високий рівень якісних виливків показників вітчизняного сталеливарного виробництва значною мірою пояснюється перевагою електрометалургійних процесів [2].

Плавку сталі в індукційних печах ведуть методом переплаву. В індукційних печах виплавляють всі марки сталей, але особливо перспективною є застосування печі для отримання сталей з низьким вмістом вуглецю і високолегованих сталей. Для виплавки низько- і середньовуглецевих сталей використовується кисла футеровка. Сплави, що містять титан, алюміній, марганець та інші елементи, активно взаємодіють з кремнеземом, виплавляють в печах з основною футеровкою [3].

При плавці сталі в індукційних печах використовують шихтові матеріали з мінімальним вмістом сірки і фосфору, так як процеси дефосфорації і десульфурзації ускладнені внаслідок низької температури шлаку. Склад шихти практично зумовлює склад готового металу, так як угар основних легуючих елементів незначний і мало залежить від футеровки печі [1–4].

Шихта зазвичай складається з відходів вуглецевої і легованої сталей, феросплавів, присадок. Кількість повернення в шихті може досягати 100 %. Для отримання заданого вмісту вуглецю в шихту вводять електродний бій або кокс. Засвоєння їх досягає 90 і 70 % відповідно [4].

У сучасній електрометалургії найбільш поширені методи переплаву, що стали можливими завдяки використанню кисню.

Особливість розрахунку шихти для плавки сталі пов'язана з великою універсальністю сталеплавильних агрегатів, різноманіттю методів плавки і широким діапазоном зміни фізико-хімічних процесів під час плавки. Більшість елементів, що входять до складу отриманої сталі, неоднаково окислюються за періодами плавки. У періоди плавлення і окислення ці елементи вигоряють сильніше, ніж в процесі доведення і розкислення. Інтенсивність угару елементів різко зростає в окислювальний період при введенні в ванну печі кисню або залізної руди. Крім того, тривалість окремих періодів плавки, особливо початкових, може значно коливатися залежно від якості шихтових матеріалів і від технології плавки. Велике значення має і абсолютний вміст елементів в сталі. Таким чином, навіть при плавці сталі в одній і тій же печі можуть бути різні технологічні варіанти, і угар елементів може змінюватися в широких межах. У цих умовах середнє значення угару елементів є важко встановленою і наближеною характеристикою поведінки елементів в процесі плавки. Розраховувати її за коефіцієнтом засвоєння елементів з шихтових матеріалів не завжди можна, так як невідомі відносні кількості складових шихти, тому це стало метою розрахунку [5].

При плавці сталі шихтові матеріали завантажуються в різні періоди плавки, і еле-

менти в них засвоюються неоднаково. Тому при розрахунку шихти встановлюється угар елементів з окремих складових шихти, і визначаються їх коефіцієнти засвоєння. Склад шихтових матеріалів перераховується на засвоювання рідкою сталлю змісту елементів. Підбором шихтових матеріалів з наведеним змістом елементів забезпечується заданий вміст елементів в рідкій сталі. При плавці сталі, як правило, в завалку дають лише вторинні метали і карбюризатори (іноді мідь, нікель). Всі інші феросплави і легуючі присадки вводять в рідкий метал в кінці плавки. Тому доцільно всі шихтові матеріали, що застосовуються для плавки сталі, умовно розділити на дві групи. Перша група – це відходи, до яких відносяться всі матеріали, що вводяться в завалку. До них відносять зазвичай повернення власного виробництва, брухт вуглецевої і легованої сталей, карбюризатори. Вони піддаються великому окисленню, і тому елементи з відходів засвоюються в меншій мірі. До другої групи відносять феросплави та інші присадки, що застосовуються для коригування хімічного складу, легування, розкислення. Їх вводять в піч в кінці плавки, і вони засвоюються значно краще [4–6].

Метою роботи є встановлення необхідного співвідношення компонентів шихтових матеріалів для виплавки легованої сталі в індукційній тигельній печі ІТП-4,5.

Треба розрахувати так компоненти шихти, щоб отримати матеріал марки 35ХМЛ, який має відповідати хімічному складу сталі за ГОСТом 977-88. Відомо, що поставляється ця легована сталь у вигляді сталних виливків В82. Вона флокеночутлива, не схильна до відпускнуї крихкості. Температура початку затвердіння сталі складає 1486–1498 °С. Показник тріщиностійкості, $K_{т.с.}$: 0,8, схильність до утворення усадочних раковин, $K_{у.р.}$: 1,1, рідкотекучість, $K_{р.т.}$: 1,0. Лінійна усадка, %: 2,2–2,3. Схильність до утворення усадочної пористості, $K_{у.п.}$: 1,0. У відпаленому стані структура сталі 35ХМЛ є ферито-перлітною з деяким переважанням фериту [7].

У промисловості виливки сталі 35ХМЛ використовуються для виготовлення таких деталей, як шестерні, хрестовини, втулки, зубчасті вінці та інші відповідальні деталі, до яких застосовують вимоги високої міцності і в'язкості, що працюють під дією підвищених статичних і динамічних навантажень і вимагають підвищеної твердості [6–8].

В даній роботі треба отримати леговану сталь 35ХМЛ для виливки зубчастого вінця. Зубчастий вінець – це найважливіша деталь для апаратів з обертовими барабанами (такі як печі і сушарки). За конструкцією зубчасті вінці бувають цілісні і роз'ємні, з зовнішнім або внутрішнім зачепленням. Роз'ємні вінці з зовнішнім зачепленням можуть бути з обробленими і литими, необробленими, зубами; за формою – з прямими, косими і шевронними зубами. Роз'ємні вінці з внутрішнім зачепленням слід розглядати як рідкісний виняток. Зубчасті вінці, у більшості випадків, працюють у важких умовах, під дією ударних навантажень. Виходячи з цього, матеріал деталі повинен володіти належними характеристиками міцності, бути пластичним всередині і мати достатню твердість поверхні. Здебільшого зубчасті вінці застосовуються в гірничому обладнанні, цементних млинах і печах, випалювальних печах і холодильниках, підйомному обладнанні, металургійному машинобудуванні та іншому обладнанні з малою швидкістю обертання і важких умовах експлуатації. Для важких умов експлуатації вінці відливають з легованих марок сталей 30ХМЛ, 35ХМЛ.

Виробництво зубчастого вінця починається з виготовлення ливарного модельного оснащення. Далі модельний комплект передають в ливарне виробництво, де виготовляють ливарну форму. Вінці відливають методом лиття в піщані форми. Далі модель вінця витягують з піщаної форми і в утворений простір заливають метал. Виливок зубчастого вінця після обрізки прибутків і ливникової системи далі подають на термообробку, де відбувається поліпшення структури металу і зняття внутрішніх напружень. Дробоструйне очищення виливки – завершальна стадія отримання заготовки. Далі виконується механічна обробка діаметрів і торців зубчастого вінця. Остаточна обробка – зубонарізка виконується на зубофрезерному верстаті черв'ячними або модульними фрезами залежно від модуля зуба і наявного обладнання. Після виливок проходить стадії контролю хімічного складу і механічних властивостей.

Оброблений вінець проходить контрольну перевірку в розібраному і зібраному вигляді на відповідність розмірним і геометричним параметрам, які встановлені конструктором.

Для розрахунку шихти для виплавки сталі 35ХМЛ в печі ІТП-4,5 вибираємо компоненти шихти, їх склад і норми витрати: повернення власного виробництва ($X_{\text{вв}}$) – 40 %, пакети сталі ($X_{\text{пс}}$) – 12 %, стружка сталева ($X_{\text{сс}}$) – 6 %, чавун передільний ($X_{\text{д}}$), лом сталевий ($X_{\text{л}}$), феросплави, металозавалка $Z = 4500$ кг. Розрахунок шихти для виплавки сталі проводили за програмою Excel в наступній послідовності.

Визначаємо середній склад сталі 35ХМЛ для розрахунку, який надано в табл. 1. Далі проводимо аналіз технології плавки, враховуючи, що в окислювальному періоді вуглець вигоряє 0,20 %, марганець угорає до 10, хром – до 15, молібден – до 5, а кремній – до 5 %.

Таблиця 1

Середні значення компонентів в шихті, %

Компоненти шихти	C	Mn	Cr	Si	P	S	Mo
Сталь 35ХМЛ (ГОСТ 977-88)	0,35	0,6	1	0,3	0,04	0,04	0,25
Стружка сталева з 20Л (ГОСТ 977-88)	0,2	0,7	0,3	0,35	0,025	0,025	–
Сталеві пакети зі Ст3кп (ГОСТ 380-2005)	0,18	0,45	0,3	0,05	0,03	0,03	–
Передільний чавун ПВК2 (ГОСТ 805-80)	4,3	0,75	0,04	0,7	0,015	0,01	–
Сталевий лом з 30Л (ГОСТ 977-88)	0,3	0,7	0,3	0,35	0,025	0,025	–

Кінцевий вміст сірки і фосфору визначаємо шлаковим режимом, тому що футеровка кислих індукційних тигельних печей складається з майже чистого кремнезему і шлаки в процесі плавлення шихти утворюються кислі, тому неможливо проводити в печі операції десульфурації і дефосфорації, отже необхідно вибирати шихту з найменшим вмістом фосфору і сірки.

Визначаємо кількість повернення $X_{\text{п}}$ в шихті і кількість вуглецю $C_{\text{п}}$, що вноситься поверненням:

$$X_{\text{п}} = \frac{Z \cdot X_{\text{вв}}}{100} . \quad (1)$$

Вміст вуглецю в поверненні:

$$C_{\text{п}} = \frac{X_{\text{п}} \cdot C_{\text{зав}}}{100} . \quad (2)$$

У шихту сталеплавильних печей фосфор і сірка в основному переходять з чавуну, отже стружку чавуну можна не включати в розрахунок.

Визначаємо кількість стружки сталевий $X_{\text{сс}}$ в шихті. Вважаємо, що стружка сталева належить сталі марки 20Л (ГОСТ 977-88). Для розрахунку приймаємо, що сталева стружка містить середні значення елементів (табл. 1). Вміст вуглецю в сталевій стружці визначено і вказано в табл. 2.

Визначаємо кількість пакетів сталі $X_{\text{пс}}$ і кількість вуглецю, що вноситься ними:

$$X_{\text{пс}} = \frac{Z \cdot \text{ПС}}{100} . \quad (3)$$

В якості сталевих пакетів використовуємо відходи листової сталі Ст3кп (ГОСТ 380–2005). Для розрахунку приймаємо середні значення елементів (табл. 2). Вміст вуглецю в пакетах сталі $C_{\text{пс}}$ (табл. 2).

Таблиця 2

Визначення кількості компонентів і вміст вуглецю в шихті

Компоненти шихти		Вміст компонентів в шихті, кг	Вміст вуглецю в шихті, кг	
Повернення ВВ	$X_{\text{в}}$	1800	$C_{\text{в}}$	6,3
Стружка сталевая	$X_{\text{сс}}$	270	$C_{\text{сс}}$	0,54
Пакети сталі	$X_{\text{пс}}$	540	$C_{\text{пс}}$	0,972
Передільний чавун	$X_{\text{ч}}$	337,95	$C_{\text{ч}}$	14,532
Сталевий лом	$X_{\text{л}}$	1552,05	$C_{\text{л}}$	4,656

Визначаємо сумарну кількість передільного чавуну і сталевому лому в шихті:

$$X_{\text{ч+л}} = Z - (X_{\text{в}} + X_{\text{сс}} + X_{\text{пс}}) = 4500 - (1800 + 270 + 540) = 1890 \text{ кг}$$

Визначаємо сумарну кількість вуглецю, що вноситься чавуном і ломом:

$$C_{\text{ч+л}} = C_{\text{зав}} - (C_{\text{в}} + C_{\text{сс}} + C_{\text{пс}}) = \frac{Z \cdot [(C_{\text{зав}} + 0,25)]}{100} - (C_{\text{в}} + C_{\text{сс}} + C_{\text{пс}}), \quad (4)$$

$$C_{\text{ч+л}} = \frac{4500 \cdot [(0,35 + 0,25)]}{100} - (6,3 + 0,54 + 0,972) = 19,88, \text{ кг.}$$

Визначаємо кількість передільного чавуну в шихті (5) і кількість вуглецю (6), що вноситься чавуном.

$$C_{\text{ч+л}} = \frac{X_{\text{ч}}[C]_{\text{ч}}}{100} + \frac{(X_{\text{ч+л}} - X_{\text{ч}}) \cdot [C]_{\text{л}}}{100}, \quad (5)$$

$$C_{\text{ч}} = \frac{X_{\text{ч}} \cdot [C]_{\text{ч}}}{100}. \quad (6)$$

В якості передільного чавуну вибираємо високоякісний чавун марки ПВК2 (групи 2, класу А, категорії 1 згідно ГОСТ 805-80). Для розрахунку приймаємо середні значення елементів (табл. 2).

Приймаємо, що сталевий лом відповідає сталі 30Л (ГОСТ 977-88). Для розрахунків приймаємо середні значення елементів (табл. 1 і 2). Визначимо кількість сталевому лому в шихті і кількість вуглецю, що вноситься їм:

$$X_{\text{л}} = X_{\text{ч+л}} - X_{\text{ч}}, \quad (7)$$

$$C_{\text{л}} = C_{\text{ч+л}} - C_{\text{ч}}, \quad (8)$$

Визначаємо кількість елементів, які вносяться поверненням, стружкою сталевую, пакетами сталі, передільним чавуном і сталевим ломом (табл. 3).

Елементи, які присутні в сталевому лому, мають наступні характеристики. Кремній повністю переходить в процесі плавлення в шлак. Не робить безпосереднього впливу на склад сталі. Підвищений вміст кремнію призводить до отримання висококремнистих шлаків, які погано впливають на стійкість печі і знижують основність шлаку, тим самим ускладнюючи видалення сірки і фосфору. Марганець,

Таблиця 3

Визначення кількості елементів, які вносяться компонентами з шихти, кг

Компоненти шихти	C	Mn	Cr	Si	P	S	Mo
Повернення ВВ	6,3	10,8	18	5,4	0,72	0,72	4,5
Стружка сталевая	0,54	1,89	0,81	0,945	0,0675	0,0675	–
Сталеві пакети	0,972	2,43	1,62	0,27	0,162	0,162	–
Передільний чавун	14,532	2,53	–	2,37	0,051	0,034	–
Сталевий лом	4,656	10,86	4,656	5,43	0,388	0,388	–
Всього шихтою вноситься	27	28,51	25,086	14,415	1,389	1,372	4,5

фосфор, сірка, хром розподіляються між металом і шлаком. Марганець – бажаний елемент. Фосфор і сірка – шкідливі домішки (за винятком марок сталей, в яких вони є легуючими). Хром при виплавці легованих ним марок корисний; шкідливий – при конвертерному процесі, так як створює щільний шлак, що призводить в процесі продувки до викиду шлаку і навіть металу. Присутність хрому в сталевому брухті при виплавці нелегованих ним марок вкрай небажано, так як збільшує тривалість плавки.

Далі визначаємо угар елементів з шихти, де приймаємо, що угар буде: Si – 5 %, Mn – 10 %, Cr – 15 %, а сірка і фосфор – не угорають. Також враховуємо, що вуглець угарає 0,2 % від металозавалки. Доведення сталі за хімічним складом зводиться до визначення кількості розкислювачів і легуючих елементів, які наведено в табл. 4.

Феросиліцій широко застосовують для розкислення сталі як в кусковому, так і в порошкоподібному вигляді для дифузійного розкислення. Для легування використовують 75%-ий феросиліцій, а при виробництві сплавів з низьким

Таблиця 4

Доведення сталі за хімічним складом з урахуванням угару з шихти, кг

Елементи	Угар з шихти	Перейшло в сталь	Необхідна кількість елементу в сталі	Необхідно ввести елементу	Кількість елементу	Введення феросплавів
C	9	18	–	–	–	–
Mn	2,851	25,66	27	1,34	1,576	ФМн0,5
Cr	3,763	21,32	45	23,68	34,82	ФХ004
Si	2,162	12,25	13,5	1,25	1,645	ФС75
Mo	0,23	4,27	11,25	6,98	11,63	ФМо60
P	–	1,389	–	–	–	–
S	–	1,372	–	–	–	–

вмістом заліза – 90%-ий або кристалічний кремній. Висококремністий феросиліцій розсіпається під дією вологи, виділяючи шкідливі для організму гази, тому його слід зберігати в сухих добре вентильованих приміщеннях. Температура плавлення 75%-ого феросиліцію складає 1300–1333 °С. З урахуванням залишків кремнію в металозавалці необхідно ввести у вигляді феросплавів кількість 1,25 кг. Використовуємо для цих цілей феросиліцій ФС75 згідно ГОСТ 1415-93. Феросиліцій ФС75 в середньому містить 0,1 % С, 0,4 % Mn; 0,3 % Cr; 74,0–80,0 % Si; 0,04 % P; 0,02 % S. Приймаємо для розрахунку кремнію 76 %, тоді:

$$X_{\text{FeSi}} = \frac{100 \cdot 1,25}{76} = 1,645, \text{ кг.}$$

Феромарганець, що застосовують для попереднього розкислення сталі і її легування, випускається у вигляді сплавів, які містять різну кількість вуглецю і домішок, в першу чергу фосфору. Залежно від призначення виплавлюваної сталі і заданого вмісту в ній вуглецю і марганцю вибирають потрібну марку феромарганцю. Температура плавлення феромарганцю 1250–1275 °С, в зламі феромарганець має характерне райдужне синювато-рожеве забарвлення.

З урахуванням залишків марганцю в металозавалці необхідно ввести у вигляді феросплавів кількість 1,34 кг. Використовуємо для цієї мети феромарганець ФМн0,5 (ГОСТ 4755-91), що містить 0,5 % С; 85,0 % Мп; 2,0 % Si; 0,3 % Р; 0,03 % S.

$$X_{\text{FeMn}} = \frac{100 \cdot 1,34}{85} = 1,576, \text{ кг.}$$

Легування сталі здійснювали за допомогою відповідних феросплавів. Технологія присадки феросплавів повинна забезпечити без шкоди для якості сталі максимальне засвоєння нею легуючого елемента та можливість контролю і коригування змісту цього елемента до випуску плавки. Вона включає в себе підготовку феросплавів до подачі в піч, вибір марки феросплаву і розрахунок його необхідної кількості, а також визначення часу і умов введення присадки в піч. У найбільших кількостях при виробництві електросталі витрачається ферохром, де сорти ферохрома розрізняються за вмістом вуглецю. Ферохром присаджують у ванну нагрітим до червоного, час присадки ферохрому – перша половина відновного періоду плавки.

З урахуванням залишків хрому в металозавалці необхідно ввести у вигляді феросплавів у кількості 23,68 кг. Використовуємо для цієї мети ферохром низьковуглецевий ФХ004 по класу фосфору А (ГОСТ 4757-91), що містить 0,05 % С; 68 % Cr; 1,5 % Si; 0,02 % Р; 0,03 % S.

$$X_{\text{FeCr}} = \frac{100 \cdot 23,68}{68} = 34,82, \text{ кг.}$$

Феромолібден містить не менше 55,0 % Мо. Температура його плавлення складає 1500 °С. Цей феросплав застосовують при виробництві легованої конструкційної, жаростійкої, нержавіючої, а також інструментальної сталі. Присаджують феромолібден в завалку або в період кипіння.

З урахуванням залишків молібдену в металозавалці необхідно ввести у вигляді феросплавів кількість 6,98 кг. Використовуємо для цих цілей феромолібден ФМо60 (ГОСТ 4759-91), що містить 0,05 % С; 60 % Мо; 0,8 % Si; 0,05 % Р; 0,05 % S.

$$X_{\text{FeMo}} = \frac{100 \cdot 6,98}{60} = 11,63, \text{ кг.}$$

Знаходимо масу основних елементів і домішок, які вносяться з феросплавами. Отримані дані зведено в табл. 5.

Визначаємо угар легувальних елементів з феросплавів. Для металічної завалки масою 4500 кг визначили вміст компонентів в шихті та перевірили розрахунок вмісту основних компонентів в легованій сталі 35ХМЛ (табл. 6).

Як видно з табл. 6, даний склад шихти відповідає складу елементів за ГОСТом, що забезпечує отримання сталі заданої марки. Отриманий сплав є легованою конструкційною сталлю 35ХМЛ, яка містить такі легувальні елементи як хром, молібден, а також є в складі марганець і кремній.

Таким чином, після розрахунків шихти встановлено необхідне співвідношення компонентів шихтових матеріалів для виплавки легованої сталі 35ХМЛ в індукційній тигельній печі типу ІТП-4,5 для виливки зубчастого вінця. Отриманий матеріал сплаву має необхідний хімічний склад, який забезпечує належні експлуатаційні характеристики виливки.

Таблиця 5
Маса основних елементів і домішок, які вносяться з феросплавами, кг

Феросплав	C	Mn	Cr	Si	P	S	Mo
ФХ004	0,0174	–	23,678	0,522	0,007	0,007	–
ФМо60	0,0058	–	–	0,093	0,0058	0,0058	6,978
ФС75	0,001645	0,0066	0,0049	1,2502	0,00066	0,00033	–
ФМн0,5	0,00788	1,34	–	0,0315	0,0047	0,00047	–
Загальний вміст	0,033	1,3466	23,6829	1,8967	0,01816	0,0136	6,978
Угар	–	–	2,0778	0,095	–	–	0,42
Перейшло в сталь	0,033	1,3466	21,6051	1,81	0,01816	0,0136	6,558
Всього в сталі:	18,033	29,86	46,6911	16,225	1,4072	1,3856	11,06

Таблиця 6
Перевірка вмісту основних компонентів в сталі

Елементи	Склад елементів за ГОСТ 977-88, %	Середнє значення елементів, %	Склад елементів за розрахунком, %
C	0,3–0,4	0,35	0,396
Mo	0,2–0,3	0,25	0,24
Mn	0,4–0,9	0,6	0,656
Cr	0,8–1,1	1,0	1,026
Si	0,2–0,4	0,3	0,3565
P	не більше 0,04	0,04	0,031
S	не більше 0,04	0,04	0,03045

В роботі показано порядок встановлення необхідного співвідношення компонентів шихтових матеріалів для виплавки легованої сталі в індукційній тигельній печі:

- вибір компонентів шихти, їх склад і норми витрат, де враховано середні значення компонентів в шихті, а саме повернення власного виробництва, пакети сталеві, стружка сталева, чавун передільний, лом сталевий, феросплави;
- визначення кількості компонентів і вмісту вуглецю в шихті;
- визначення кількості елементів, які вносяться компонентами з шихти;
- визначення маси основних елементів і домішок, які вносяться з феросплавами,
- проведення перевірки вмісту основних компонентів в розрахованій легованій сталі співставленням з показниками хімічного складу матеріалу за ГОСТом 977-88.

Список літератури

- 1 Дорошенко, В. С. (2018). Литейное производство как среда для природоподобных технологий. *Литьё и металлургия*, (2 (91)).
- 2 Шибаев, Е. В., Кечин, В. А. (2019). Перспективные технологии плавки и литья при изготовлении фасонных отливок. *Редакционная коллегия*, 123.
- 3 Левшин, Г. Е., Малышев, И. В. (2016). Об индукционных тигельных печах и плавке. *Заготовительные производства в машиностроении*, (3), 7-13.
- 4 Булгакова, А., Баранов, В., Гильманшина, Т., & Степанова, Т. *Основы получения отливок из сплавов на основе железа*. Litres.
- 5 Гильманшина, Т. Р., Булгакова, А. И., & Беляев, С. В. (2012). Статистические методы управления качеством литейной продукции
- 6 Костик, К. О., Акімов, О. В., & Островерхова, К. В. (2020). Дослідження електромагнітних параметрів індукційної тигельної печі з кусковим завантаженням шихти для виплавки сталі 35Л. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Технології в машинобудуванні, (2), 85-92.
- 7 Костик, В. О. (2014). Исторические аспекты диаграммы железо-цементит. *Технологический аудит и резервы производства*, (1 (3)), 17-19.
- 8 Sundus, M. A., Akimov, O., & Kostyk, K. (2017). Development of an iron-based alloy with a high degree of shape recovery. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, (3/12), 87.

Надійшла 11.01.2022

References

- 1 Doroshenko, V. S. (2018). Foundry as an environment for nature-like technologies. [Litejnoe proizvodstvo kak sreda dlya prirodopodobnyh tehnologij.] *Casting and metallurgy*, (2 (91)). [in Russian].
- 2 Shibaev, E. V., Kechin, V. A. (2019). Promising technologies of melting and casting in the manufacture of shaped castings. [Perspektivnye tehnologii plavki i litya pri izgotovlenii fasonnyh otlivok.] *Redakcionnaya kollegiya*, 123. [in Russian].
- 3 Levshin, G. E., Malyshev, I. V. (2016). About induction crucible furnaces and melting. [Ob indukcionnyh tigelnnyh pechah i plavke.] *Procurement production in mechanical engineering*, (3), 7-13. [in Russian].
- 4 Bulgakova, A., Baranov, V., Gilmanshina, T., & Stepanova, T. (2019). *Fundamentals of obtaining castings from alloys based on iron*. [Osnovy polucheniya otlivok iz splavov na osnove zheleza.] Litres. [in Russian].
- 5 Gilmanshina, T. R., Bulgakova, A. I., & Belyaev, S. V. (2012). Statistical methods of quality control of foundry products.. [in Russian].
- 6 Kostyk, K. O., Akimov, O. V., & Ostroverkhova, K. V. (2020). Investigation of electromagnetic parameters of induction crucible furnace with lump loading of charge for smelting steel 35L. [Doslidzhennia elektromagnitnykh parametriv induktsiinoi tyhelnoi pechi z kuskovym zavantazhenniam shykhty dlia vyplavky stali 35L.] Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Technologies in Mechanical Engineering. [Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: Tekhnolohii v mashynobuduvanni], (2), 85-92. [in Ukrainian].
- 7 Kostik, V. O. (2014). Historical aspects of the iron-cementite diagram. [Istoricheskie aspekty diagrammy zhelezo-cementit.] *Technology Audit and Production Reserves*, (1 (3)), 17-19. [in Russian].
- 8 Sundus, M. A., Akimov, O., & Kostyk, K. (2017). Development of an iron-based alloy with a high degree of shape recovery. *Eastern European Journal of Advanced Technology*, (3/12), 87. [in English].

Received 11.01.2022

K. O. Kostyk, Dr. Sci. (Engin.), Prof.; e-mail: Kateryna.Kostyk@khpi.edu.ua;
ORCID 0000-0003-4139-9970

O. V. Akimov, Dr. Sci. (Engin.), Prof.; e-mail: Oleg.Akimov@khpi.edu.ua;
ORCID 0000-0001-7583-9976

Ruhouma Ali Emhimmid Ali, PhD student

D. P. Terentyev, Master's Degree student

Ali Alrida Zaiter, Master's Degree student

National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute» (Kharkiv, Ukraine)

DETERMINATION OF THE REQUIRED RATIO OF THE COMPONENTS OF CHARGE MATERIALS FOR THE SMELTING OF ALLOY STEEL 35CrMo

The main task of the steelmaking process is to obtain liquid steel of a given chemical composition with certain physic-chemical and casting properties, with minimal time, materials and energy resources. The peculiarity of the calculation of the charge for steel melting is associated with the great versatility of steelmaking units, the variety of melting methods and a wide range of changes in physical and chemical processes during melting. The vast majority of the elements that make up the resulting steel are not equally oxidized by the melting periods. During the periods of melting and oxidation, these elements burn out more strongly than in the process of finishing and deoxidation. The duration of individual melting periods, especially the initial ones, can vary significantly depending on the quality of the charge materials and on the melting technology. The absolute content of elements in steel is also of great importance. Therefore, even when melting steel in the same furnace, there may be different technological options, and the carbon monoxide of the elements can vary widely. The average value of the carbon monoxide of the elements is a hard-to-determine and approximate characteristic of the behavior of the elements during the melting process. It is not always possible to calculate it by the coefficient of assimilation of elements from charge materials, since the relative amounts of the charge components are not known. Therefore, the aim of the work is to establish the necessary ratio of the components of the charge materials for the production of 35CrMo alloy steel in an induction crucible furnace of the ITP-4,5 type for casting a gear ring. To achieve this goal, the calculations of the charge for steel smelting were carried out according to the Excel program in the following sequence: the components of the charge, their composition and consumption rates were selected, where the average values of the components in the charge were taken into account, namely, the return of own production, steel bags, steel chips, cast iron, steel scrap, ferroalloys; the number of components and the carbon content in the charge, the number of elements that are introduced with the components of the charge; the mass of the main elements and impurities that are introduced with ferroalloys were determined; the content of the main components in the steel was checked. It is shown that the resulting alloy has the necessary chemical composition, which provides the proper performance characteristics of the casting.

Keywords: charge materials, carbon monoxide, alloy steel, castings, ferroalloys.