



Громнюк С. І.

РОЗШИРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЗУБОФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ ВВЕДЕННЯМ КЕРОВАНОГО ПРИВОДУ ГОЛОВНОГО РУХУ

У статті сформульовано існуючі проблеми в галузі зубообробки та показано можливість підвищення технічного рівня зубофрезерних верстатів зменшенням їх маси та енерговитрат на основі радіально-колового способу нарізання зубчастих коліс тонкою дисковою фрезою. Показано, що удосконалення цього способу можливе введенням керованого приводу переміщення фрези на основі крокового двигуна, що забезпечить підвищення якості та точності виготовлення зубчастих коліс.

Ключові слова: зубофрезерування, радіально-коловий спосіб, кроковий двигун, керований привід, автоматизація, технічний рівень.

1. Вступ

В процесах виготовлення циліндричних зубчастих коліс, частка яких в загальній кількості коліс усіх типів та видів у машино- та верстатобудуванні, в автомобільній, авіаційній та інших галузях промисловості складає понад 60 %, основними операціями формоутворення зубчастих поверхонь є зубофрезерування модульними черв'ячними фрезами. Цей універсальний метод використовують у всіх типах виробництва як для попереднього нарізання вінців, так і для їх чистової обробки після поверхневого зміцнення з досягненням 3–5 ступенів точності.

Сучасні зубофрезерні верстати мають складні кінематичні схеми та оснащуються приводами підвищеної потужності. Так, у верстатах з ЧПК окремі приводи мають потужність до 12 кВт (при максимальному модулі нарізаного колеса до 8 мм), а у верстатах з механічними передачами потужність двигуна головного приводу вибирають з розрахунку 1,8–2,5 кВт на модуль нарізаного колеса, тобто, порядку 30 кВт. Окрім того, вони мають значну масу (1,2–1,5 т на модуль) для компенсації коливання сили різання, пульсуючого навантаження на пружну систему верстата і забезпечення вібросталості в процесі роботи, для цього їх станини виготовляють з полімербетону, граніту тощо [1, 2].

Це свідчить, що розвиток та удосконалення зубофрезерних верстатів йде у розріз з основними засадами прогресу в машинобудуванні, які полягають у тому, що підвищення експлуатаційних якостей продукції повинно досягатися шляхом зменшення витрат усіх видів ресурсів, зокрема, зменшення матеріалоемності та енергонасиченості машин. Таке становище спонукає до пошуку нових методів і способів формоутворення зубчастих поверхонь, а також нових підходів до створення зубонарізного обладнання.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

У даний час в більшості галузей машинобудування зростає частка виробів, які випускають невеликими

серіями. Це стосується і виробництва зубчастих коліс і передач, при цьому урізноманітнюється їх номенклатура при одночасному зменшенні програм випуску. В умовах дрібносерійного виробництва зубчастих коліс широко застосовують зубофрезерні верстати з ЧПК, які дають змогу істотно скоротити час на переналаджування. При середньо- та великосерійному випуску переважно використовують універсальні верстати з механічними приводами, які в усталеному режимі працюють як пів-автомати, а втрати часу на їх переналаджування не впливають істотно на працездатність з огляду на значні партії деталей.

В сучасних зубофрезерних верстатах з ЧПК кількість керованих переміщень по їх осях становить 4–6. Підвищення рівня гнучкої автоматизації та збільшення кількості керованих координат спряжено із зростанням вартості верстатів, при цьому, як це впливає з цін на сучасне зуборізне обладнання, при введенні одного додаткового кінематичного приводу ціна станка збільшується в 1,5–1,8 рази. Таким чином, забезпечення вимог високої продуктивності процесу зубонарізання з одночасною мінімізацією витрат, досягнення заданої точності обробки та якості робочих поверхонь зубців досягається великою ціною, оскільки вартість обладнання та спорядження переноситься на кожен одиницю продукції у вигляді амортизаційних відрахувань.

Вирішення вказаної проблеми в галузі зубообробки та досягнення оптимального компромісу між ефективністю та якістю обробки і підвищення технічного рівня обладнання може базуватися на засадах кінематичного розділення рухів різання та формоутворення. Ця ідея міститься в роботі [3] та розроблена для горизонтально-фрезерного верстата. Суть полягає у тому, що з допомогою механічної системи, утвореної на базі цього верстата забезпечується вирізання впадини між зубцями дисковою головкою, яка споряджена різцями з пластинами з твердого сплаву. Конструкцію та кінематику фрезерного верстата змінюють, забезпечивши обертання заготовки на столі, якому додатково надають періодичний

зворотно-поступальний поперечний рух. З допомогою механічного слідкуючого пристрою відтворюється рух копіру у впадині зубчастого колеса по двох еталонних колесах того ж модуля і кількості зубців. Профілювання здійснюється на повну висоту впадини фрезою, встановленою в горизонтальному шпинделі, при цьому осьова, або радіальна подача не передбачені. Загалом, дана механічна система працює за багаточисельними кулачками-копірами, є складною та громіздкою.

Один з варіантів розвитку цієї ідеї, яка розроблена в працях [4–7] визначено терміном «контурне оброблення» та прив'язано до горизонтального багаточільового верстата з ЧПК. Проте, широкому практичному використанню цього напрямку перешкоджає його орієнтація на дорогі 5-ти багатокординатні верстати з ЧПК, що значно здорожчує обробку і продукцію, тому можливою областю використання контурного оброблення зубчастих коліс є лише одиничне виробництво. Крім того, контурне фрезерування поширюється тільки на прямозубі колеса, при цьому основний час операції на ОЦ при тих же режимах різання, що й для черв'ячного зубофрезерування у 20–100 разів більший [8].

Іншим напрямком ведуться дослідження в НУ «Львівська політехніка». Розроблення нової схеми різання, що закладена в радіально-коловому способі (далі – РК-спосіб) зубонарізання з мультиплікатором на осі інструменту дозволяє вирішити проблеми в галузі зубообробки на новому рівні. Суть цього способу полягає у виготовленні зубчастих поверхонь дисковим інструментом – тонкою відрізною фрезою при неперервному обкочуванні, як це є у черв'ячному зубофрезеруванні та на аналогічному обладнанні – універсальних зубонарізних верстатах з механічними приводами. Проте, на відміну від черв'ячної фрези, яка повинна мати той же модуль, що й нарізані нею зубчасті колеса, одну й ту ж дискову фрезу можна використовувати для широкого діапазону модулів шляхом зміни ексцентриситету при її установці. Використання мультиплікатора, яким роз'єднується кінематичний ланцюг між різанням та формоутворенням, дає змогу працювати на високих швидкостях різання (до 300 м/хв.) та оснащувати дискову збірну фрезу пластинами із надтвердих матеріалів, при цьому внаслідок простоти конструкції такий інструмент у сотні разів дешевший від аналогічної збірної черв'ячної фрези [9–12].

Мультиплікатор, ведуче колесо якого стоїть на осі шпинделя зубофрезерного верстата, а ведене – на осі фрези показаний на рис. 1.

Ще однією важливою особливістю РК-способу є учать в різанні великої кількості зубців, яка рівна добутку числа зубців фрези на кількість обертів фрези при обробці однієї впадини (передавальне число мультиплікатора), ця кількість може становити 70–100 зубців. Це дозволяє розділити припуск між великою кількістю різальних елементів та в результаті у багато разів зменшити силу і ефективну потужність різання, підвищити плавність роботи верстата, підвищити точність обробки та покращити якість утворених поверхонь, одночасно з цим багатократно зменшити витрату часу на операцію. Таким чином, РК-спосіб є базою для виготовлення зубчастих коліс на верстатах меншої потужності, за менших енергетичних витрат, а також вирішує проблему вібросталості без необхідності збільшення маси верстатів.

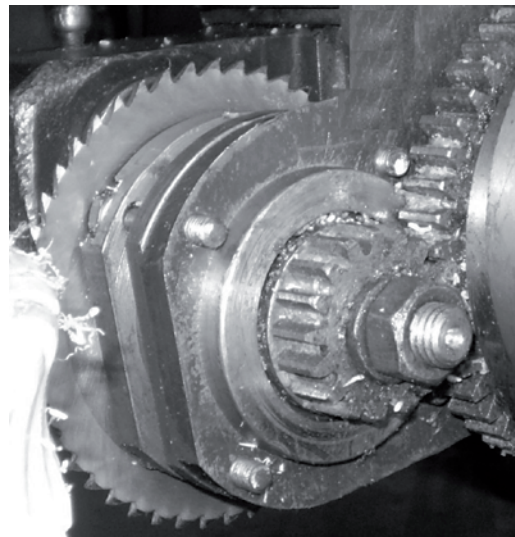


Рис. 1. Одноступеневий мультиплікатор зубофрезерного верстату з швидкохідною дисковою фрезою

Разом з тим, розроблене на сьогодні технологічне оснащення для РК-способу є механічним, що не в повній мірі відповідає сучасним вимогам. Тому необхідно підвищити рівень автоматизації верстата, що працює за РК-способом для зменшення витрат часу на його переналадження та для підвищення точності зубонарізання.

3. Мета і задачі досліджень

Метою досліджень є підвищення технічного рівня та рівня автоматизації універсальних зубофрезерних верстатів з механічним приводом шляхом введення керованого приводу одного з рухів формоутворення в РК-способі.

Задачі досліджень:

- розробити концепцію та принципову компоновку зубофрезерного верстата з автоматизованими керованими координатами;
- виявити закономірності процесу різання, які впливають на плавність його перебігу для розробки програм керування та автоматизованого вирівнювання кінематичних і силових параметрів.

4. Результати дослідження зубофрезерного верстату

4.1. Компоновка верстата. На відміну від розроблених раніше конструкцій, в яких переміщення дискової фрези з фіксованим ексцентриситетом забезпечувалося механічними системами (з коливальним рухом, або з прямолінійним поступальним рухом), для автоматизації зворотно-поступального переміщення інструменту можна використати кроковий двигун з лінійним переміщенням ротора, обертання дискової фрези надати від серводвигуна, встановленого безпосередньо на її осі, а роботою обох приводів може керувати перепрограмований контролер. Загальний вид таких двигунів та контролера фірми Siemens мод. LOGO!24с наведено на рис. 2.

Перевагами крокового двигуна перед механічним приводом є наступне: точна зупинка (позиціонування) інструменту по висоті профілю зубця та відсутність накопичення похибок, підвищення точності зубонарізання;

безінерційність на перехідних процесах; отримання низьких швидкостей переміщення без редуктора. Система керування задає довжину ходу каретки з шпинделем фрези, що відповідає повній висоті нарізаних зубців, а також частоту зворотно-поступальних переміщень, яка має бути рівна кількості зубців нарізаного колеса. Рух інструментальної каретки скеровується і забезпечується парю «шліцевий вал — втулка». Можна використати також серійні напрямні типу «ластівчин хвіст» з двома валиками на напрямних втулках з кульовими опорами, або на втулках із бронзи.



Рис. 2. Кроковий лінійний двигун (а), серводвигун приводу головного руху фрези (б) та контролер (в)

Частоту обертання фрези і швидкість різання можна змінювати гнучко з допомогою контролера залежно від матеріалів заготовки, зубців фрези та її зовнішнього діаметра.

Цими засобами можна автоматизувати серійний зубофрезерний верстат з ручним керуванням. Загальний вид робочої області зубонарізання модернізованого зубофрезерного верстата з автоматизованими приводами показаний на рис. 3. Програмне керування двома координатами дозволяє нарізати зубчасті поверхні будь-яких профілів — евольвентних, синусоїдальних, випукло-вигнутих, з зачепленням Новикова тощо, цим досягається максимальна універсальність РК-способу зубообробки.

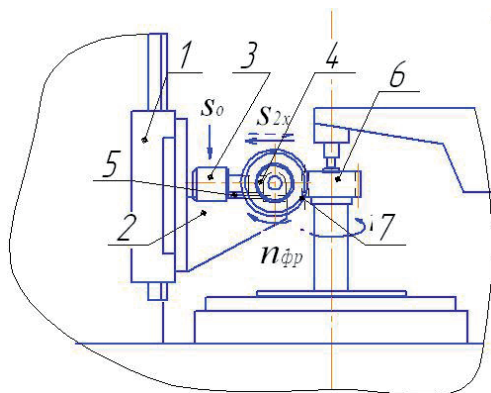


Рис. 3. Робоча зона зубофрезерного верстата з автоматизованим приводом зворотно-поступального руху дискової фрези на основі РК-способу: 1 — інструментальний супорт; 2 — консоль; 3 — кроковий двигун; 4 — серводвигун приводу головного руху; 5 — каретка з напрямними; 6 — заготовка зубчастого колеса; 7 — дискова фреза

Інші приводи верстата — ділення-обертання стола, диференціалу, переміщення супортної стійки залиша-

ються механічними, як в універсального зубофрезерного верстата.

4.2. Аналіз динаміки процесу різання. Програмне керування приводом каретки дає змогу автоматизувати не лише періодичне зворотно-поступальне переміщення інструменту, але й змінювати параметри цього руху в циклі обробки для досягнення максимальної плавності процесу різання, а також для отримання профілів зубців різного виду. Для керування швидкістю цього переміщення необхідно вивчити, як змінюється сила різання при обробці однієї впадини між зубцями колеса.

Для цього найкраще підходить методика розрахунку сили різання за параметрами зрізів, яка дозволяє простежити їх зміну в кожній точці поверхні, яка утворюється різанням [13, 14].

Закономірності розподілення параметрів зрізів у РК-способі показують графіки зміни товщини зрізів на вершинних лезах і сумарної площі зрізів (рис. 4, 5) по куту повороту фрези в одній впадині зубчастого колеса.

Якщо представити головну складову сили різання зубофрезерування функцією площі перерізу зрізу, інтенсивності деформування матеріалу при зсуві та межі міцності оброблюваного матеріалу на зсув, то залежність буде мати вид:

$$P_0 = P_z = \tau \cdot \xi \cdot S, \quad (1)$$

де τ — межа міцності матеріалу колеса на зсув, МПа; ξ — коефіцієнт осадження стружки; S — площа поперечного перерізу зрізів, мм². Для гартованих сталей $\tau = 750\text{--}900$ МПа.

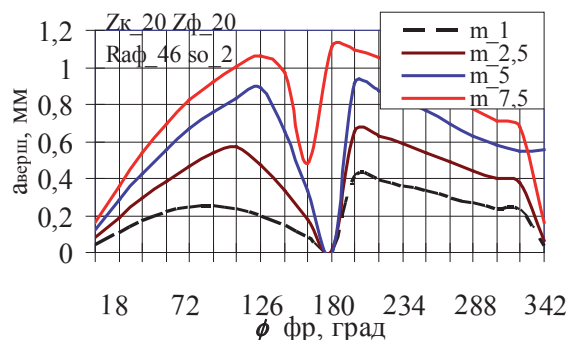


Рис. 4. Залежність товщини зрізів на вершинних лезах від модуля: подача $S_0 = 2,0$ мм/об. колеса; $Z_k = 20$; $m = 1\text{--}7,5$ мм; $D_{a\phi} = 92$ мм; $Z_{фр} = 20$

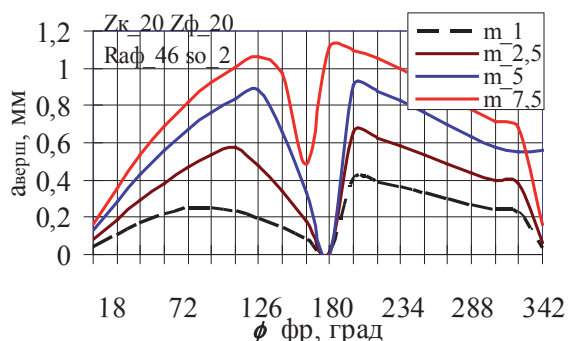


Рис. 5. Залежність сумарної на лезах площі перерізу зрізів від модуля подача: $S_0 = 2,5$ мм/об. колеса; $Z_k = 35$; $Z_{фр} = 40$; $L_{a_ф} = 120$ м

На основі формули (1) і залежностей для зміни площі зрізів на рис. 6 наведено графіки сумарної головної складової сили різання дискової фрези від кількості її зубців для модуля 7,5 мм.

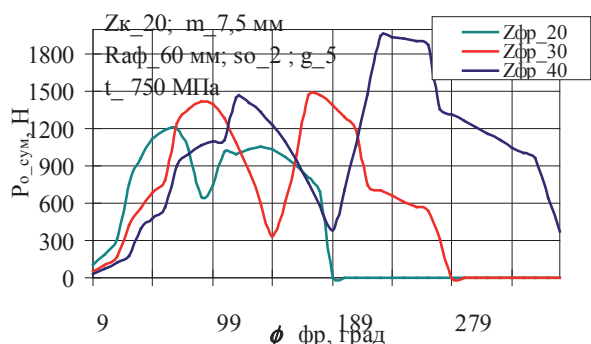


Рис. 6. Зміна головної складової сили різання дискової фрези по куту повороту при обробці однієї впадини: $\tau = 750$ МПа; зовнішній діаметр фрези 120 мм; осьова подача 2 мм/об.; кількість зубців колеса, яке нарізають 20; коефіцієнт осадження стружки 2,1

Як видно, максимальні значення сили різання припадають на ті зубці дискової фрези, які працюють в ділянці діляного діаметра нарізаного колеса по обох системах профілів. Відповідно, ці зубці виконують основну роботу різання і формоутворення.

Наведені графіки стосуються процесу різання в РК-способі зі збереженням кінематики обкочувального зубофрерування, тобто одному оберту фрези відповідає поворот зубчастого колеса на один кутовий крок. При розділенні цих рухів і введенні мультиплікатора дані залежності зберігаються, проте площа зрізів і сила різання зменшуються в кількість раз, що дорівнює передавальному числу мультиплікатора, а площа зрізів і навантаження вирівнюється між усіма зубцями фрези.

Таким чином, при нарізанні зубчатих коліс за РК-способом для вирівнювання сили різання і навантаження в час різання біля вершин і в основі зубців необхідно надати прискорення штоку крокового двигуна і збільшувати швидкість переміщення каретки, а при прорізання впадини в ділянці діляного діаметра колеса по лівих і правих профілях швидкість і прискорення каретки з інструментом необхідно зменшувати. Ці функції може виконувати система керування лінійним приводом фрези, а основою є моделювання параметрів зрізів та сили різання.

5. Висновки

Концепція зубофрезерного верстата на основі радіально-колового способу зубонарізання та використання крокового двигуна для періодичного зворотного поступального переміщення фрези дають змогу:

- зменшити силу і потужність різання, рівень динамічних навантажень і вібрацій зубофрезерного верстата, а внаслідок цього – зменшити необхідну для вібросталості масу верстата і витрати енергії його головного приводу;
- автоматизувати привід руху різання-формоутворення, забезпечити його програмне керування та підвищити технічний рівень універсальних зубофрезерних верстатів;
- підвищити точність зубчастих коліс, нарізаних за РК-способом одночасно із збільшенням швидкості різання та підвищенням продуктивності процесу зубонарізання.

Література

1. Калашников, А. С. Современные методы обработки зубчатых колес [Текст] / А. С. Калашников, Ю. А. Моргунов, П. А. Калашников. – Москва: Спектр, 2012. – 238 с.
2. Локтев, Д. А. Современные износостойкие покрытия червячных фрез [Текст] / Д. А. Локтев // Стружка. – Москва, 2007. – № 19. – С. 32–36.
3. Коганов, И. А. Прогрессивная обработка зубчатых профилей и фасонных поверхностей [Текст] / И. А. Коганов. – Тула: Приокское книжн. из-во, 1970. – 180 с.
4. Кривошея, А. Г. Формообразование зубчатых колес разных классов выходными дисковыми формообразующими телами [Текст]: тези доповідей / А. Г. Кривошея, Ю. М. Данильченко // 8-й міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові, 23–25 травня 2007 р. – Львів, 2007. – С. 101.
5. Пастернак, С. І. Силовые характеристики контурной обработки цилиндрических зубчатых колес инструментом [Текст] / С. І. Пастернак, Ю. М. Данильченко, М. Г. Кривошея, А. В. Кривошея // Вестник НТУ «ХПИ». Проблемы механического привода. – Харьков, 2011. – № 28. – С. 96–100.
6. Данильченко, Ю. М. Математичне моделювання законів руху дискового інструменту при обробці зубчастих коліс довільного профілю [Текст] / Ю. М. Данильченко, А. В. Кривошея, С. І. Пастернак // Вестник НТУ «ХПИ». Машиностроение. – Київ, 2006. – № 49. – С. 104–108.
7. Пастернак, С. І. Контурна обробка зубчатих коліс з довільним профілем зубів дисковими інструментами [Текст] / С. І. Пастернак, Ю. М. Данильченко // Матеріали доповідей Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Прогресивні напрямки розвитку машино-приладобудівних галузей та транспорту». – Севастополь: СевНТУ, 2007. – С. 90–91.
8. Пастернак, С. І. Економічне обґрунтування методу контурної обробки деталей з періодичними профілями дисковим інструментом [Текст] / С. І. Пастернак, Ю. М. Данильченко, М. Г. Сторчак, А. В. Кривошея // Вестник НТУ «ХПИ». Проблемы механического привода. – Харьков, 2009. – № 19. – С. 118–126.
9. Грицай, И. Е. Зубчатые передачи и технологии их изготовления: новое в традиционном [Текст] / И. Е. Грицай, Е. Н. Благут // Оборудование и инструмент. – Харьков, 2005. – № 2(61). – С. 36–40.
10. Грицай, И. Е. Підвищення технічного рівня передач приладів на основі зубчастого зачеплення синусоїдального профілю [Текст] / І. Є. Грицай // Збірник тез доповідей 6-ї науково-технічної конференції «Приладобудування 2007: стан і перспективи». – Київ, 2007. – С. 108–109.

11. Литвиняк, Я. Моделивання впливу технологічних факторів на силові параметри процесу зубонарізання та точність циліндричних синусоїдальних зубчастих коліс [Текст]: зб. пр. / Я. Литвиняк, І. Грицай // Дев'ятий міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові. — Львів, 2009. — С. 196–198.
12. Грицай, І. Є. Підвищення ефективності процесу нарізання зубчастих коліс на основі радіально-обертового методу в умовах обкочування [Текст] / І. Є. Грицай, С. І. Громнюк // Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції «Важке машинобудування Проблеми та перспективи розвитку». — Краматорськ, 2013. — С. 44.
13. Грицай, І. Є. Моделивання параметрів зрізів, сил та моментів під час нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами [Текст] / І. Є. Грицай // Машинознавство. — Львів, 1998. — № 7. — С. 19–23.
14. Грицай, І. Є. Параметри поперечного перерізу зрізів в радіально-обкочувальному способі нарізання зубчастих коліс з осовою подачею [Текст] / І. Є. Грицай, С. І. Громнюк, А. М. Кук // Вісник НУ «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і техн. контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. — Львів, 2014. — № 772. — С. 8–14.

РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ЗУБОФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ ВВЕДЕНИЕМ УПРАВЛЯЕМОГО ПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

В статье сформулированы существующие проблемы в отрасли зубообработки и показана возможность повышения технического уровня зубофрезерных станков уменьшением их массы и энергозатрат на основе радиально-кругового способа нарезания зубчатых колес тонкой дисковой фрезой. Показано, что усовершенствование этого способа возможно введением управляемого привода перемещения фрезы на основе шагового двигателя, обеспечивающим повышение качества и точности изготовления зубчатых колес.

Ключевые слова: зубофрезерование, радиально-круговой способ, шаговый двигатель, управляемый привод, автоматизация, технический уровень.

Громнюк Сергій Іванович, аспірант, кафедра технології машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, e-mail: s.hromnyuk@spenergo.com.ua.

Громнюк Сергей Иванович, аспирант, кафедра технологии машиностроения, Национальный университет «Львовская политехника», Украина.

Hromniuk Serhii, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: s.hromnyuk@spenergo.com.ua

УДК 621.74

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.28108

Коваль О. С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ СИНТЕТИЧЕСКОГО ЧУГУНА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО КАЧЕСТВА

В статье приведен анализ существующей системы качества в литейном производстве. Предложены методы оценки микроструктуры с целью управления качеством отливок из синтетического чугуна. Критерием качества для проведения исследований был выбран графит. Исследования в данной области позволят снизить вероятность выхода бракованных изделий и улучшить физико-механические свойства литых деталей.

Ключевые слова: система качества, микроструктура, графит, математическая модель.

1. Введение

Важнейшей задачей отечественной металлургии является проработка всех структурных составляющих системы качества техпроцесса в литейном производстве, начиная с выбора шихтовых материалов и заканчивая контрольными испытаниями готового изделия. Существенная проблема в цепи операций по обеспечению качества продукции литья — это получение металла с заданным набором параметров: квинтэссенция необходимых механических свойств, химсостава и параметров микроструктуры. Актуальным является создание эффективного аппарата по достижению высокого качества отливок через построение зависимости микроструктуры готового изделия от химического состава расплава.

2. Цель и задачи исследования

Целью работы является анализ существующей системы качества, а так же построение методик исследования микроструктуры, позволяющих создать математическую модель как аппарат качества, описывающего влияние химического состава в чугуне на механические свойства в ходе исследования его микроструктуры.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести серию экспериментальных плавов в промышленных условиях.
2. Произвести анализ микроструктур.
3. Предложить методики оценки микроструктуры, позволяющие в дальнейшем создать математические модели зависимости химического состава механических свойств и микроструктуры при выплавке чугуна.