

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»



Кафедра конструювання технічної естетики і дизайну

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи
з дисципліни **«Сучасні методи зміцнення матеріалів»**
для студентів галузі знань 13 «Механічна інженерія»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Дніпро
2021

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Сучасні методи зміцнення матеріалів» для студентів галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 132 «Матеріалознавство» / Укладачі: Д.В. Лаухін, Н.О. Ротт – Дніпро: НТУ ДП, 2021

Затверджено на засіданні кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, протокол №1 від 28 серпня 2021 р.

Схвалено та рекомендовано до друку науково-методичною комісією зі спеціальності 132 Матеріалознавство механіко- машинобудівного факультету НТУ «Дніпровська політехніка» (протокол №1 від 06.10.2021 р.)

Затверджено до видання редакційною радою НТУ «ДП» (протокол № 12 від 21.12.2021).

Зміст

ВСТУП.....	4
СТРУКТУРА КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	5
ЗМІСТ РОЗДІЛІВ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	5
1. Вступ.....	5
2. Основна частина.....	5
2.1. Вибір матеріалу.....	5
2.2. Методика металографічних досліджень.....	6
2.3. Методика рентгеноструктурного аналізу сталі 110Г13Л.....	7
2.4. Методика рентгеноспектрального аналізу.....	7
2.5. Методика визначення характеристик міцності.....	8
2.6. Дослідження впливу низькочастотних коливань малої питомої потужності на структуру і властивості сталі 110Г13Л...	8
2.7. Кількісна світлова мікроскопія.....	9
2.8. Рентгеноструктурний аналіз.....	14
2.9. EDX-аналіз.....	15
2.10. Вплив вібрації на в'язкість розплаву сталі 110Г13Л.....	21
2.11. Вплив вібрації на розподіл легуючих елементів.....	23
2.12. Морфологічна будова евтектичною складової сталі 110Г13Л.....	25
2.13. Визначення характеристик твердості.....	27
3. Висновки.....	34
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	36

ВСТУП

Виконання курсової роботи з дисципліни «Сучасні методи зміцнення матеріалів» для студентів спеціальності «Матеріалознавство» має на меті: закріплення знань, придбаних при вивченні дисципліни, уміння правильно вибрати й використовувати метод оцінки в'язких властивостей сталі, на основі якого можна встановити вплив різних факторів на схильність до крихкого руйнування, знати фізичний зміст ударної в'язкості та її складових, а також критерії оцінки переходу сталі в крихкий стан.

Робота виконується відповідно до загальної теми «Вплив вібраційної дії малої питомої потужності на структуру і властивості сталі 110Г13Л». При видачі завдання на курсову роботу викладачем визначається варіант, що безпосередньо формулює тему курсової роботи.

Виконання курсової роботи необхідно починати з ретельного аналізу літературних джерел, що рекомендовані в поданих методичних вказівках і тими, які будуть знайдені в результаті бібліографічного пошуку по даній темі. На підставі обробки інформації студент, що виконує дану курсову роботу, повинен знати:

- загальні положення про вібраційну обробку розплавів;
- методи рентгеноструктурного та EDX-аналізу,
- морфологічну будову евтектики;
- визначення характеристик в'язкості та твердості матеріалів.

Вивчені відомості потрібні для вирішення питань вибору оптимальних режимів вібраційної обробки розплаву сталі 110Г13Л з метою покращення довговічності виробів.

Оформлення готової роботи проводиться на аркушах формату А4 відповідно до вимог ЄСКД з оформлення звітів науково-дослідних робіт з урахуванням вказівок, наведених у Додатку 5.

Оформлена робота після перевірки викладачем представляється до захисту.

СТРУКТУРА КУРСОВОЇ РОБОТИ

1. Титульний лист.
2. Зміст.
3. Реферат.
4. Вступ.
5. Основна частина.
 - 5.1. Якісна світлова мікроскопія.
 - 5.2. Рентгеноструктурний аналіз. EDX-аналіз.
 - 5.3. Вплив вібрації на в'язкість розплаву сталі 110Г13Л та на розподіл легуючих елементів.
 - 5.4. Морфологічна будова евтектичною складової сталі 110Г13Л.
 - 5.5. Визначення характеристик твердості.
6. Висновки.
7. Список використаної літератури.

ЗМІСТ РОЗДІЛІВ КУРСОВОЇ РОБОТИ

1. Вступ

У вступі до курсової роботи необхідно відобразити роль проблеми підвищення довговічності виробів зі сталі 110Г13Л при складних умовах роботи, зростанні динамічних навантажень. Потрібно чітко сформулювати в даній роботі задачу, що розв'язується. Обсяг вступу – до 2 сторінок.

2. Основна частина

2.1. Вибір матеріалу

Основна практична проблема, яка вирішувалася в цій роботі, – підвищення працездатності виробів з аустенітної сталі 110Г13Л, відомої більше як сталь Гадфільда. Її основна якість – здатність зміцнюватися при роботі з ударними навантаженнями – знижується, якщо в структурі присутні острівці легкоплавкої фосфідної евтектики, як це часто трапляється в разі використання виробів, виготовлених з цієї сталі шляхом застосування промислових методів лиття, що дають значні коливання за хімічним складом.

У кількісному відношенні фосфідна евтектика в сталі Гадфільда становить 0 ... 5,5 %, а її колонії мають обмежені розміри від 2 до 10 мкм в перерізі, тому вивчення морфологічних деталей їх будови дуже ускладнене.

Для вивчення впливу вібрації на твердіння сталі 110Г13Л використовували таку методику. У стандартних магнетитових цеглинах

просвердлювали отвір діаметром 30 мм на глибину близько 10 см. Для свердління використовували свердла з напайками з твердого сплаву.

Плавлення сталі проводили в печі Таммана з вимірюванням температури безпосередньо в сплаві. Плавка проводилася в графітовому тиглі. Після плавлення шихти температуру ванни доводили до 1390 ± 5 °C з витримкою 5 хвилин.

Параметри вібраційної обробки наведені в таблиці 2.1.1.

Для збереження однакових умов при порівнянні структури виливків зі сталі 110Г13Л, отриманих при впливі вібрації і без неї, робили розтин литих циліндричних прутків на відстанях 5, 20 і 50 мм від поверхні затвердіння. На цих перетинах виготовляли шліфи, на яких металографічним методом визначали відмінності в структурі, викликані впливом вібрації.

Таблиця 2.1.1

Параметри вібраційного обробки сталі 110Г13Л

Матеріал	Маркування зразка	Частота вібрації, Гц
110Г13Л	10	Без вібрації
	11	20
	12	50
	13	100
	14	300
	15	800

2.2. Методика металографічних досліджень

Вивчення структури металу містить в собі ланцюжок послідовних операцій, основні з яких: вирізка зразка, підготовка поверхні, шліфування, полірування, травлення, фотографування.

За допомогою шліфування і механічної поліровки зразків за методиками [1, 2] видаляли пошкоджений шар поверхні зразка.

Шліфи зі сталі 110Г13Л, після підготовки звичайним способом, піддавали електрополіровці.

Основним електролітом, використовуваним в роботі був розчин наступного складу:

- оцтова кислота (крижана) – 125 мл;
- хромовий ангідрид – 25 гр .;
- вода – 5 мл.

Параметри процесу:

- напруга на ванні – 17 ... 18 В;
- щільність струму - 0,1А / см²;

- температура – 16 ... 18 °С;
- час полірування – 3 хв.

Травлення електрополірованих шліфів зі сталі 110Г13Л проводили в травителі наступного складу:

- соляна кислота – 3 мл;
- азотна кислота – 3 мл;
- етиловий спирт – 94 мл.

Вивчення шліфів і фотографування зображень структури проводили із застосуванням металографічних світлових мікроскопів Неофот-2 і Carl Zeiss Axiovert 200MAT.

2.3. Методика рентгеноструктурного аналізу сталі 110Г13Л

Крім раніше зазначених методик зразки сталі Гатфільд (110Г13Л) досліджували за допомогою рентгеноструктурного методу РСА на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-2.0 в мідному монохроматичному випромінюванні.

Періоди решітки розраховували по лінії (331), точність визначення періоду кристалічної решітки становила приблизно п'ять десятитисячних нанометра.

Тонка структура зразків визначалася за допомогою методу апроксимації [1, 2]. Області когерентного розсіювання розраховували за формулою Селякова-Шеллера:

$$l = \frac{0.94\lambda}{\beta \sin \theta} (\pm 0.5 \text{ нм}), \quad (2.3.1.)$$

де λ – довжина хвилі характеристичного випромінювання;

$$\lambda = 0,154178 \text{ нм} \quad (2.3.2.)$$

β – інтегральна ширина дифракційної лінії (111);

$\cos \Theta$ – кут відбиття від площини (111).

Мікросув $\Delta a/a$ визначали за формулою:

$$\Delta a/a = \frac{\beta}{4 \tan \theta}, \quad (2.3.3.)$$

де β – інтегральна ширина дифракційної лінії (111);

θ – кут відображення (331).

2.4. Методика рентгеноспектрального аналізу

Рентгеноспектральний мікроаналіз сталі 110Г13Л після твердіння в умовах вібраційного впливу на розплав проводили за допомогою електронно-растрового мікроскопа JEOL JSM-6490.

Перед зйомкою зразки шліфували, а потім піддавали поліруванню. Зйомку спектрів здійснювали по всьому перетину злитка, пересуваючись від

одного кордону зерна до іншого, що дозволяло вивчити розподіл легуючих елементів по перетину.

2.5. Методика визначення характеристик міцності

Необхідно відзначити, що механічні властивості сталі, отримані при визначенні межі міцності і ударної в'язкості, не є досить точними. Головною причиною цього є труднощі при виготовленні зразків для випробування з огляду на те, що сталь Гадфільда не обробляється різанням, а обробка на шліфувальних верстатах може супроводжуватися місцевими перегрівами зразків, сильно впливають на результати випробувань останніх. Тому в більшості випадків такі випробування не відображають механічні властивості сталі при експлуатації виливків. Виливки з марганцевої сталі піддаються перевірці твердості [3].

У зв'язку з вищевикладеним в якості основних показників міцності властивостей злитків були обрані вимірювання твердості та мікротвердості.

Вимірювання твердості і мікротвердості зразків проводили в за стандартними методиками [79].

Підготовку шліфів, підбір навантаження, час витримки під навантаженням і т.д. здійснювали за методиками [4, 5].

На лабораторних виливках зі сталі 110Г13Л знімали виміри твердості і мікротвердості, виходячи з особливості цієї сталі до виділення карбідів по межах зерен.

2.6. Дослідження впливу низькочастотних коливань малої питомої потужності на структуру і властивості сталі 110Г13Л

Дослідженнями встановлено, що на міцність і особливо пластичність литої сталі великий вплив робить характер структури, утворюється в процесі первинного твердіння [6]. Під цим необхідно розуміти величину кристалів, їх форму і орієнтацію; перерозподіл хімічних елементів; кількість і розміри пор, пустот, тріщин і т. п. При вивченні макробудови і зламів виливків зі сталі 110Г13Л була встановлена підвищена схильність цієї сталі до стовбчастої кристалізації (транскристалізації) [6].

Розвиток стовбчастої будови в виливках зі сталі 110Г13Л обумовлює характер міжкристалітної пористості, пов'язаної з процесом первинного твердіння. Міждендритний розплав з температурою ліквідусу, зниженою в результаті збагачення його легуючими елементами (марганцем, вуглецем і ін.), виявляється ізольованим від джерела живлення стовбчастими кристалами, що вирости. Мікроскопічні пори, що утворюються при цьому, виходять тонкими, витягнутими вздовж стовпчастих кристалів [86].

Встановлено, що мікроскопічна міждендритна пористість грає роль концентраторів напружень і є більш небезпечною, ніж поверхневі надрізи.

Стовпчаста будова злитків призводить до зниження опору ударним впливам сталі і знакозмінних навантажень. Тому при литві деталей з високомарганцево сталі необхідно прагнути до отримання дрібнозернистої равноосной будови [7].

Неприпустимість стовбчатої будови підтверджується результатами випробувань сталі 110Г13Л на знос в кульових млинах. при зниженні температури заливки, що веде до скорочення стовбчастої структури, від 1790 до 1683 К, зносостійкість дробильних плит підвищується в 1, 3 рази [8].

З літератури відомо, що одним із способів підвищення якості металевих виливків є вібраційний вплив на процес твердіння. Як показали результати численних робіт, вібраційна обробка розплаву призводить до подрібнення макроструктури злитка, що сприятливо позначається на його властивості [9 – 10].

Тому в курсовій роботі вивчено вплив вібрації на структуру і властивості виливків зі сталі 110Г13Л.

Для цього сталь 110Г13Л розплавляли в індукційній печі Таммана, в алуновому тиглі. Розплав сталі заливали в циліндричні поглиблення, які були зроблені в обох половинках розрізаного навпіл магнезитової цегли.

Механічна вібрація від джерела потужністю 0,25 Вт з частотами 20, 50, 100, 300 і 800 Гц підводилася до магнезитові блоку з боку протилежної тій, на якій розташовувалося поглиблення для заливки рідкого металу. Висока щільність магнезиту забезпечувала підведення вібраційної енергії до рідкого металу без істотних втрат при проходженні через магнезит.

2.7. Кількісна світлова мікроскопія

На рисунку 2.7.1 показано відмінність у макроструктурі, викликане впливом вібрації з різною частотою.

Макроструктура злитка, закристалізованого без вібрації (рис. 1а), має широко відомий з літератури вигляд: із зоною стовпчастих дендритів, орієнтованих перпендикулярно фронту твердіння, і великих рівноосних дендритів по центру виливки [12, 13]. вплив же вібрації з частотою 50 Гц (рис. 2.7.1 в) повністю руйнує цю макроструктуру, дендрити подрібнюються і стають більш рівноосними з однорідним розподілом їх по перетину злитка.

Для порівняння структури виливків зі сталі 110Г13Л, отриманих при впливі механічної вібрації малої питомої потужності з різною частотою, робили розтин на литих циліндричних прутках на відстанях 5, 20 і 30 мм від поверхні твердіння (рис. 2.7.2. – 2.7.4.).

Як видно з цих рисунків при вібраційному впливі на сталь 110Г13Л в процесі твердіння з частотою 50 Гц (рис. 2.7.2в, 2.7.3в, 2.7.4в) дендрити подрібнюються і стають більш рівноосними з однорідним розподілом їх по перетину злитка, що суперечить даним про те, що зі збільшенням інтенсивності вібрації зерно стає більш однорідним [14].

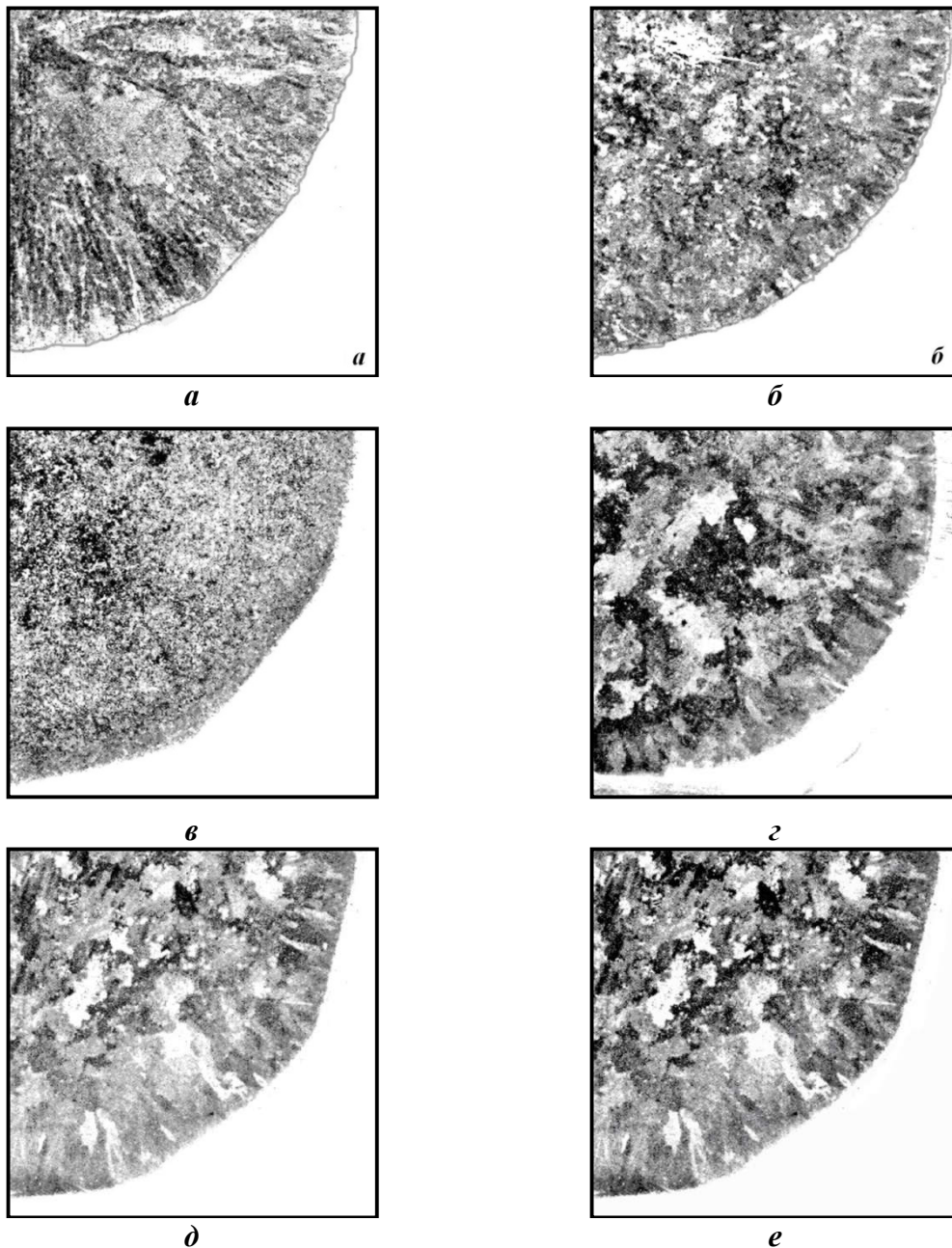


Рис. 2.7.1. Макроструктура злитків сталі 110Г13Л, $\times 5$, закристалізованих з підведенням коливань з частотами: а – 0 Гц; б – 20 Гц; в – 50 Гц; г – 100 Гц; д – 300 Гц; е – 800 Гц.

Згідно [7] зниження зони транскрісталізації побічно свідчить про підвищення зносостійкості отриманих виливків.

Для вивчення структури злитків сталі 110Г13Л був проведений кількісний металографічний аналіз мікроструктур. Підрахунок кількості зерен методом січних проводили на аналізаторі структури «Епиквант» в напівавтоматичному режимі з оцінкою належності спостережуваних дефектів і кордонів зерен безпосередньо оператором, що дозволило виключити вплив на кінцевий результат різних дефектів і випадкових

забруднень. На рис. 2.7.5 показана залежність діаметра зерна (середньої хорди) сталі 110Г13Л від частоти механічної вібрації, яка була побудована за даними лінійного аналізу з набором вимірювань не менше 500 зерен на один режим.

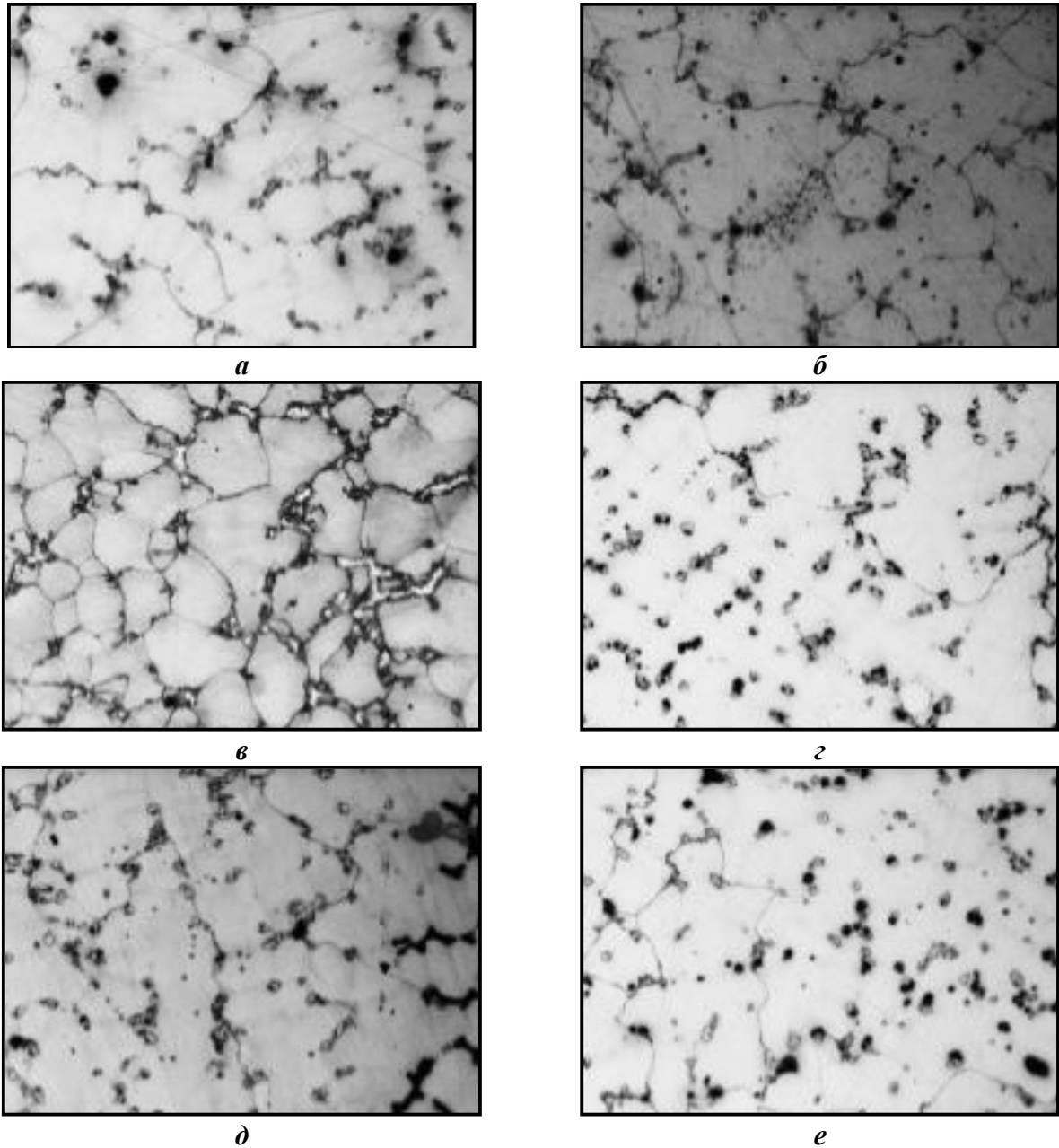


Рис. 2.7.2. Структура сталі 110Г13Л ($\times 200$) на відстані 5 мм від поверхні злитків, закристалізованих з підведенням вібрацій з частотами: а– 0 Гц; б - 20 Гц; в – 50 Гц; г – 100 Гц; д – 300 Гц; е – 800 Гц.

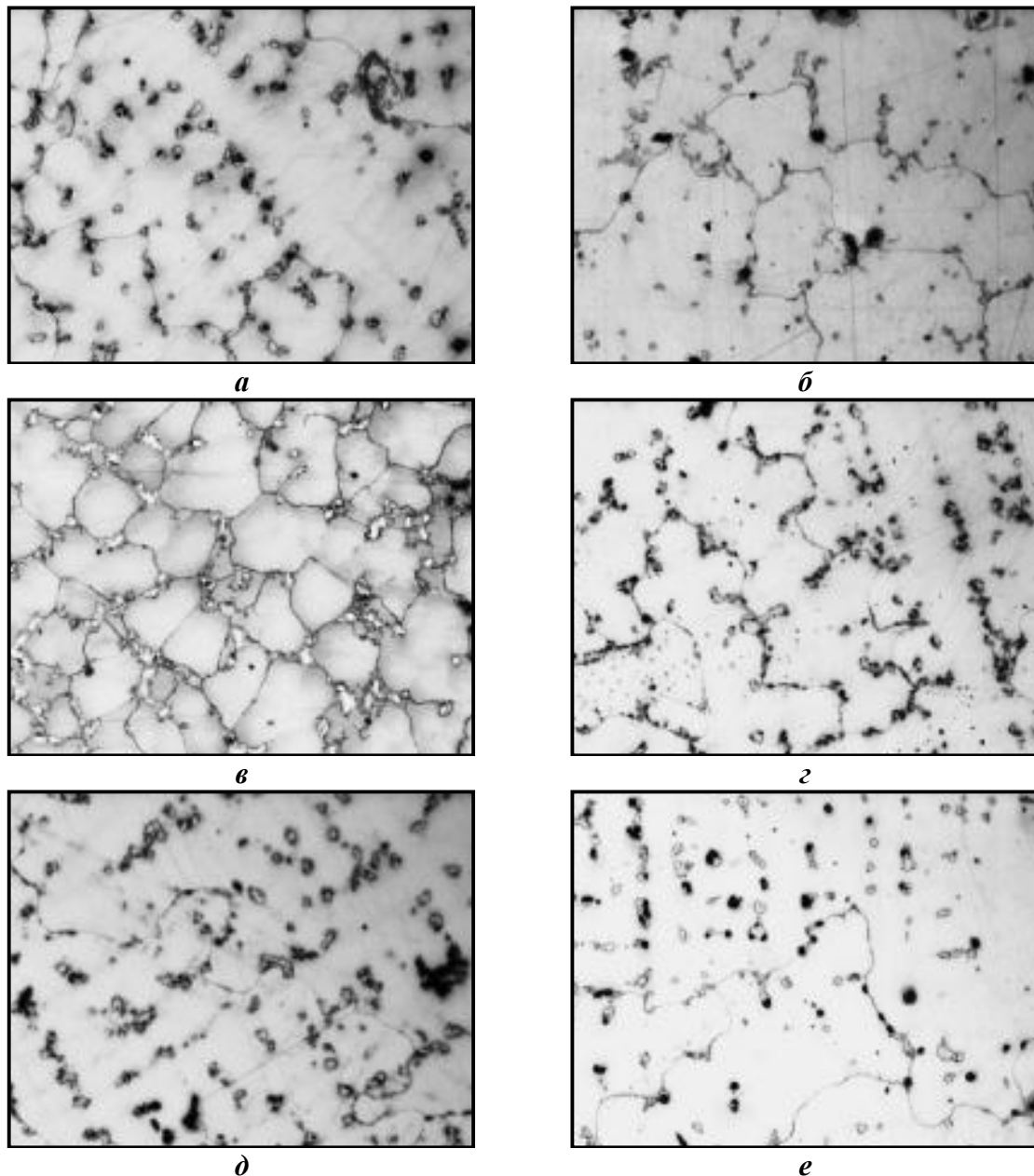


Рис. 2.7.3. Мікроструктура сталі 110Г13Л ($\times 200$) на відстані 20 мм від поверхні злитків, закристалізованих з підведенням вібрацій з частотами: а– 0 Гц; б - 20 Гц; в – 50 Гц; г – 100 Гц; д – 300 Гц; е – 800 Гц.

Підведення механічних вібрацій в процесі твердіння сталі 110Г13Л показує, що вже при частоті 20 Гц діаметр зерна зменшується майже на 100 мкм, а при частоті 50 Гц досягає мінімального значення ($0,08 \pm 0,026$ мм). Подальше підвищення частоти без збільшення амплітуди коливань знижує досягнутий ефект, середній діаметр зерен знову починає зростати, досягаючи розміру 300 мкм при частоті 300 Гц. А зі збільшення частоти механічних коливань до 800 Гц вплив вібрації майже не проявляється, хоча при цьому середній діаметр зерен все-таки дещо менше, ніж у зразку без вібраційної обробки [13, 15 – 17].

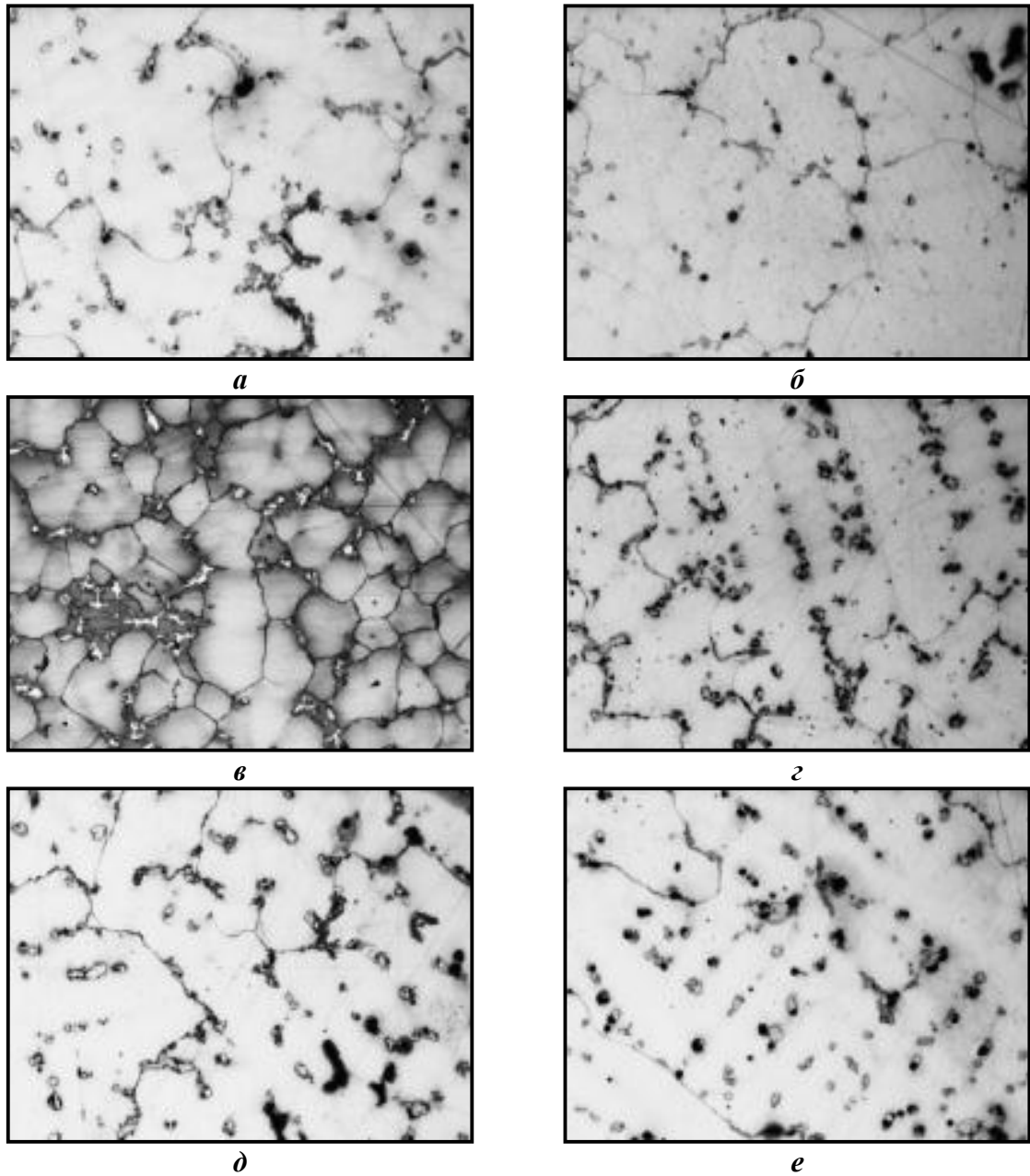


Рис. 2.7.4. Мікроструктура сталі 110Г13Л ($\times 200$) на відстані 30 мм від поверхні злитків, закристалізованих з підведенням вібрацій з частотами: а– 0 Гц; б - 20 Гц; в – 50 Гц; г – 100 Гц; д – 300 Гц; е – 800 Гц.

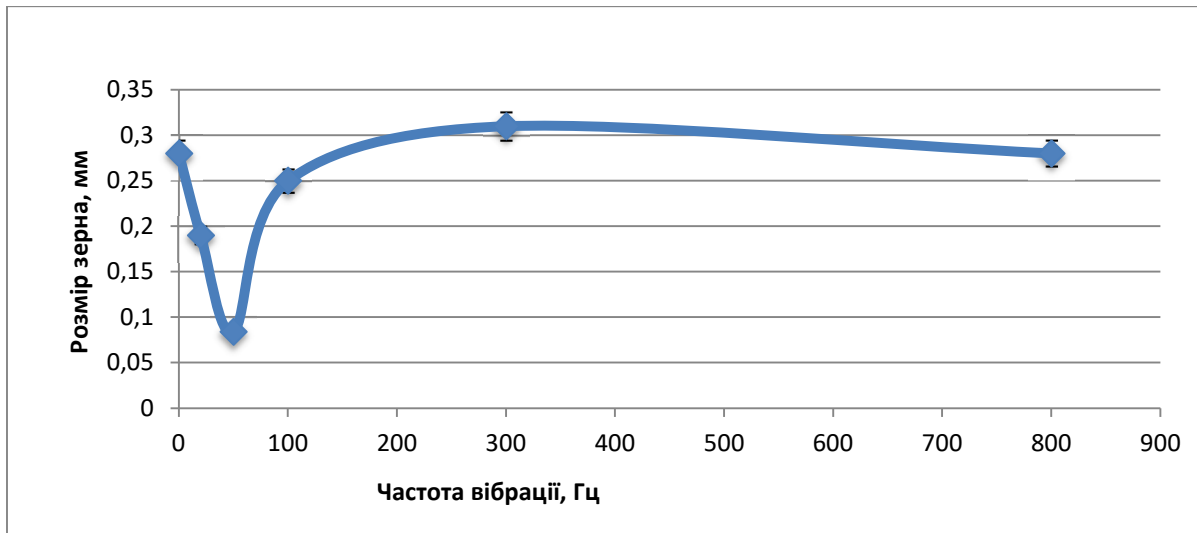


Рис. 2.7.5. Залежність діаметра аустенітного зерна сталі 110Г13Л від частоти вібрації

2.8. Рентгеноструктурний аналіз

Результати металографічних досліджень зразків сталі 110Г13Л підтверджуються даними досліджень рентгеноспектрального аналізу на рентгеновському дифрактометрі ДРОН-2.0 в мідному монохроматичному випромінюванні. Аналіз профілів дифракційних ліній вихідного зразка (рис. 2.8.1.а) і зразка, підданого вібраційній обробці з частотою 50 Гц (рис. 2.8.2.б), показав наступні результати.

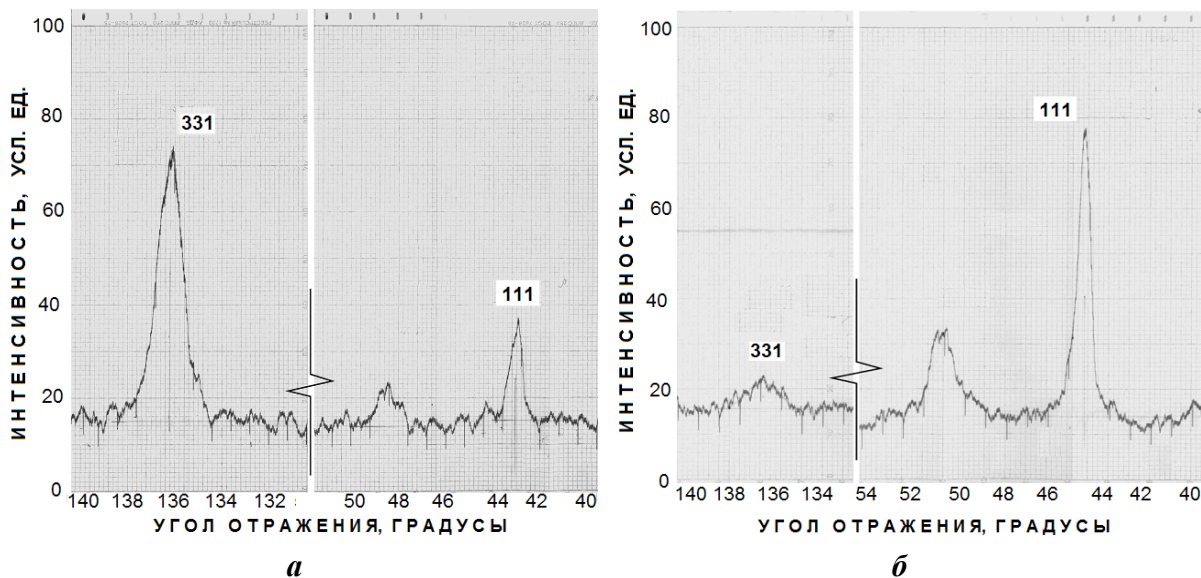


Рис. 2.8.1. Дифракційні лінії (331) і (111) сталі 110Г13Л, закристалізованих з підведенням вібрації з частотами: а – 0 Гц; б – 50 Гц

Період кристалічної решітки в зразках в межах похибки залишився незмінним. Область поперечного когерентного розсіювання в разі застосування вібраційної обробки зменшувалася від 23,3 нм до 21,7 нм.

У той же час ця обробка сприяла зростанню величини мікронапруг від $1,49 \cdot 10^{-3}$ до $1,9 \cdot 10^{-3}$.

Аналіз профілів дифракційних ліній показав, що вібраційна обробка істотно знижує ступінь текстурування зразків. На відміну від нормального співвідношення інтенсивності гранецентрованих кубічних решіток $H(111) / H(331) \approx 12$ в початковому зразку це співвідношення становило $H(111) / H(331) \approx 0,37$; вібраційна обробка з частотою 50 Гц збільшує текстурування до значень $H(111) / H(331) \approx 10$, і тим самим сприяє більш рівномірному розподілу механічних характеристик по перетину зразка.

Таким чином, рентгенографічні дослідження підтверджують результати металографічного аналізу і говорять про зменшення довжини стовпчастих кристалітів (зерен) в сталі 110Г13Л при вібраційному впливі з частотою 50 Гц в процесі твердіння злитка.

Ці спостереження дозволяють зробити висновок про позитивний вплив механічних вібрацій малої питомої потужності на характеристики міцності сталі, так як вони призводять до подрібнення литої структури сталі 110Г13Л.

2.9. EDX-аналіз

Вплив частоти вібрацій на ліквацийне явище в сталі 110Г13Л вивчали за допомогою растрової електронної мікроскопії в комплексі з рентгеноспектральним мікроаналізом. Результати досліджень, представлені на рисунках 2.9.1. ... 2.9.6., показали, що при затвердінні сталі Гадфільда останньою виділяється легкоплавка евтектика $(Mn, Fe) + (Mn, Fe)_3P$, яка розташовується між гілками і дендритами у вигляді розгалуженої сітки [18].

Однак при накладенні механічної вібрації частотою 50 Гц по межах зерен утворюється потрійна евтектика, яка подібно евтектиці складається з двох компонентів: $(Mn, Fe)_3C$ у вигляді масивних еквідистантних (рівновіддалених) пластин карбідів, що регулярно чергуються, проміжки між якими заповнені другим компонентом — евтектикою — $(Mn, Fe) + (Mn, Fe)_3P$. При цьому відзначається більш рівномірний розподіл марганцю за обсягом зерна аустеніту.

Виділення надлишкових фаз і структурних компонентів по межах дендритів і новоутворених зерен аустеніту стримує їх зростання і сприяє утворенню більш дрібнозернистої рівноосної структури в зливку.

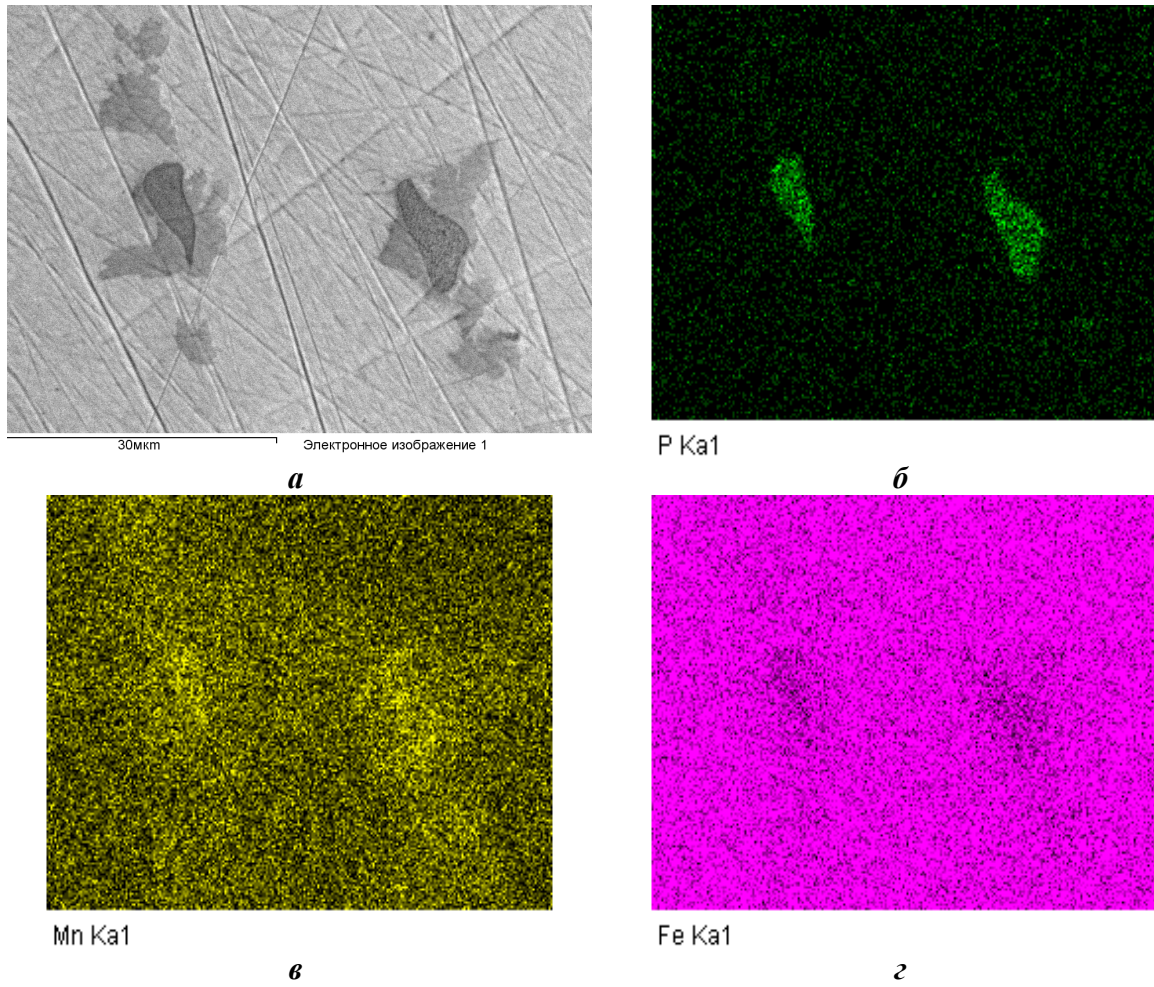


Рис. 2.9.1. Структура сталі 110Г13Л: а – без вібраційного впливу; б - розподіл фосфору (P); в – розподіл марганцю (Mn); г - розподіл заліза (Fe).

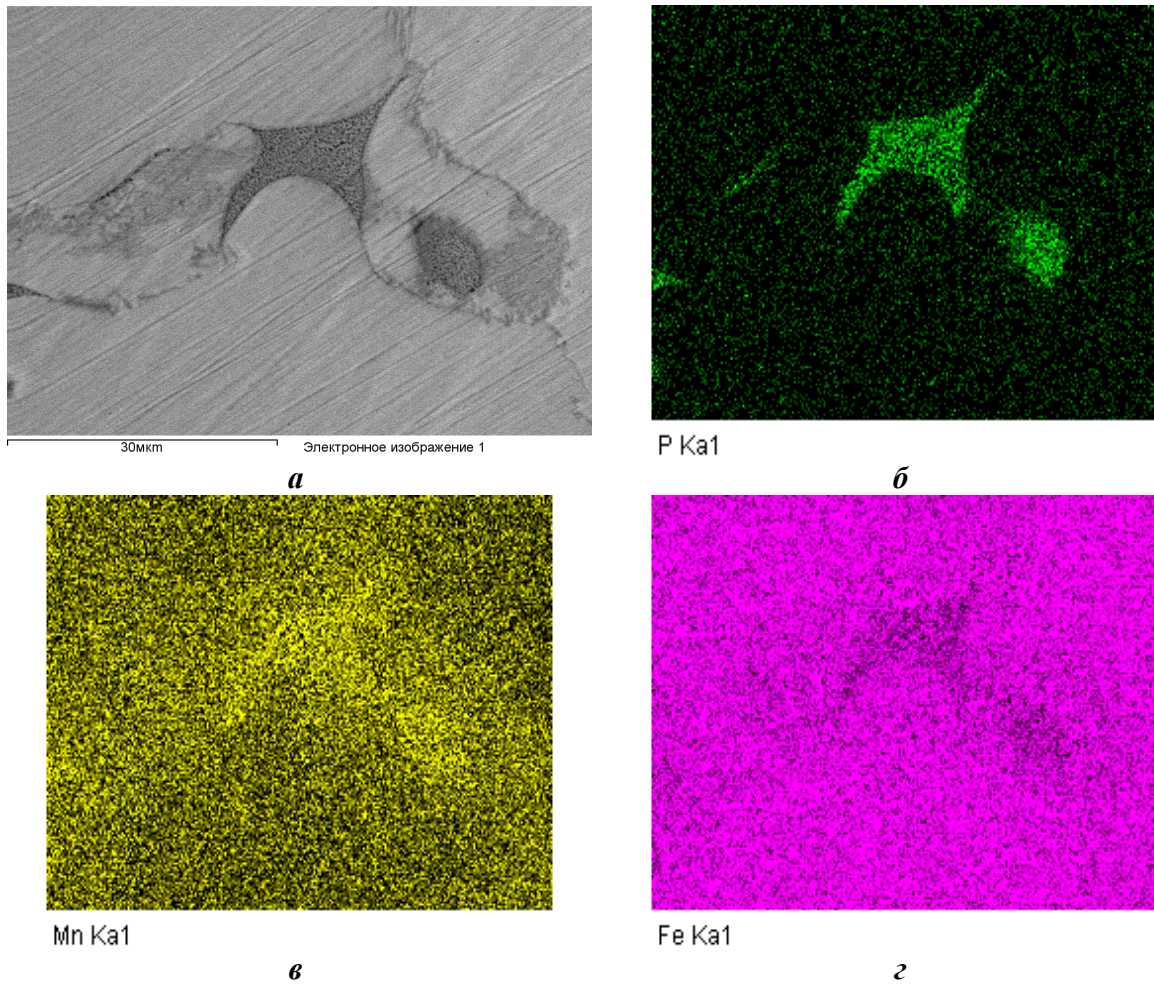


Рис. 2.9.2. Структура сталі 110Г13Л: а – з вібраційним впливом 20 Гц;
 б – розподіл фосфору (P); в – розподіл марганцю (Mn);
 г – розподіл заліза (Fe).

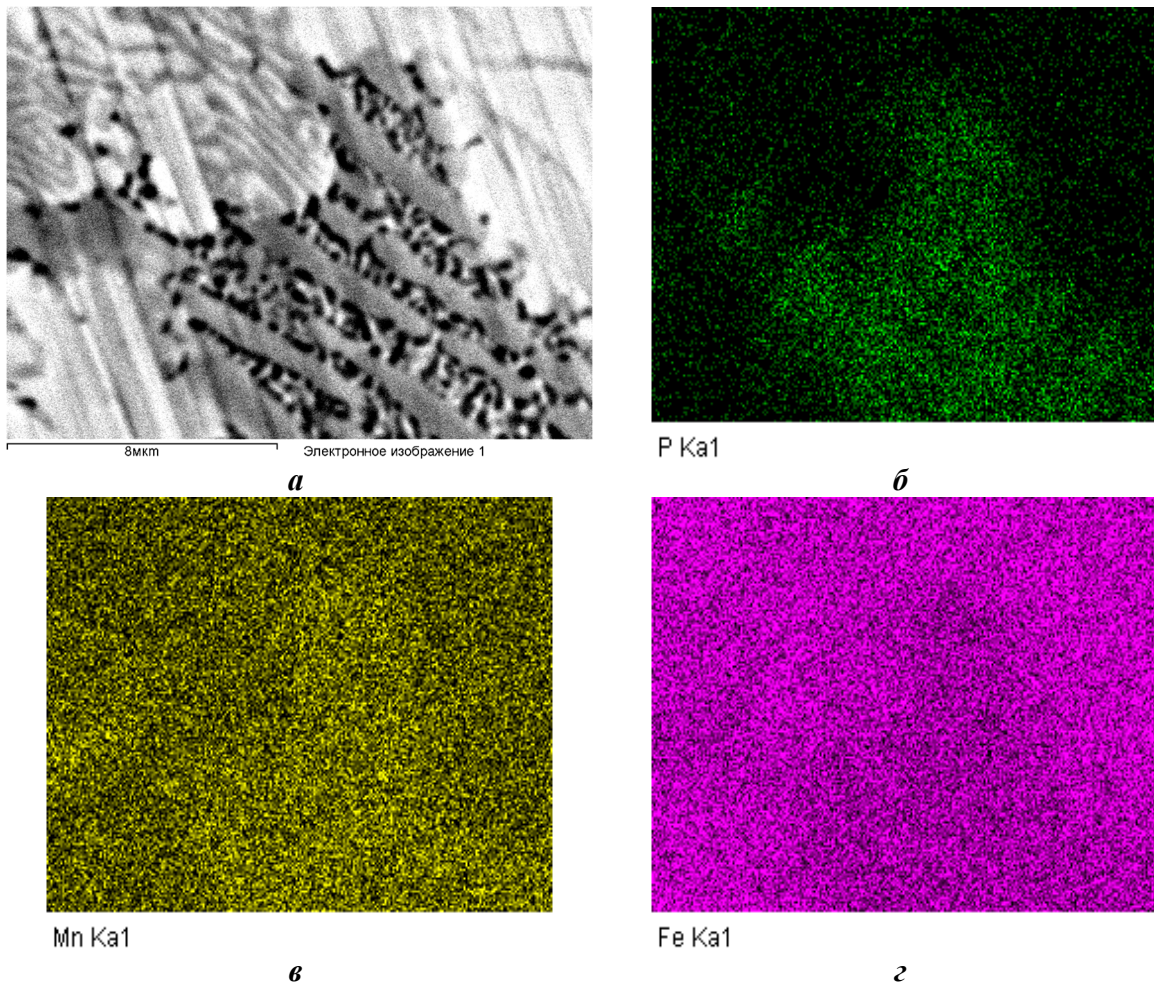


Рис. 2.9.3. Структура сталі 110Г13Л: а – з вібраційним впливом 50 Гц;
 б – розподіл фосфору (Р); в – розподіл марганцю (Mn);
 г – розподіл заліза (Fe).

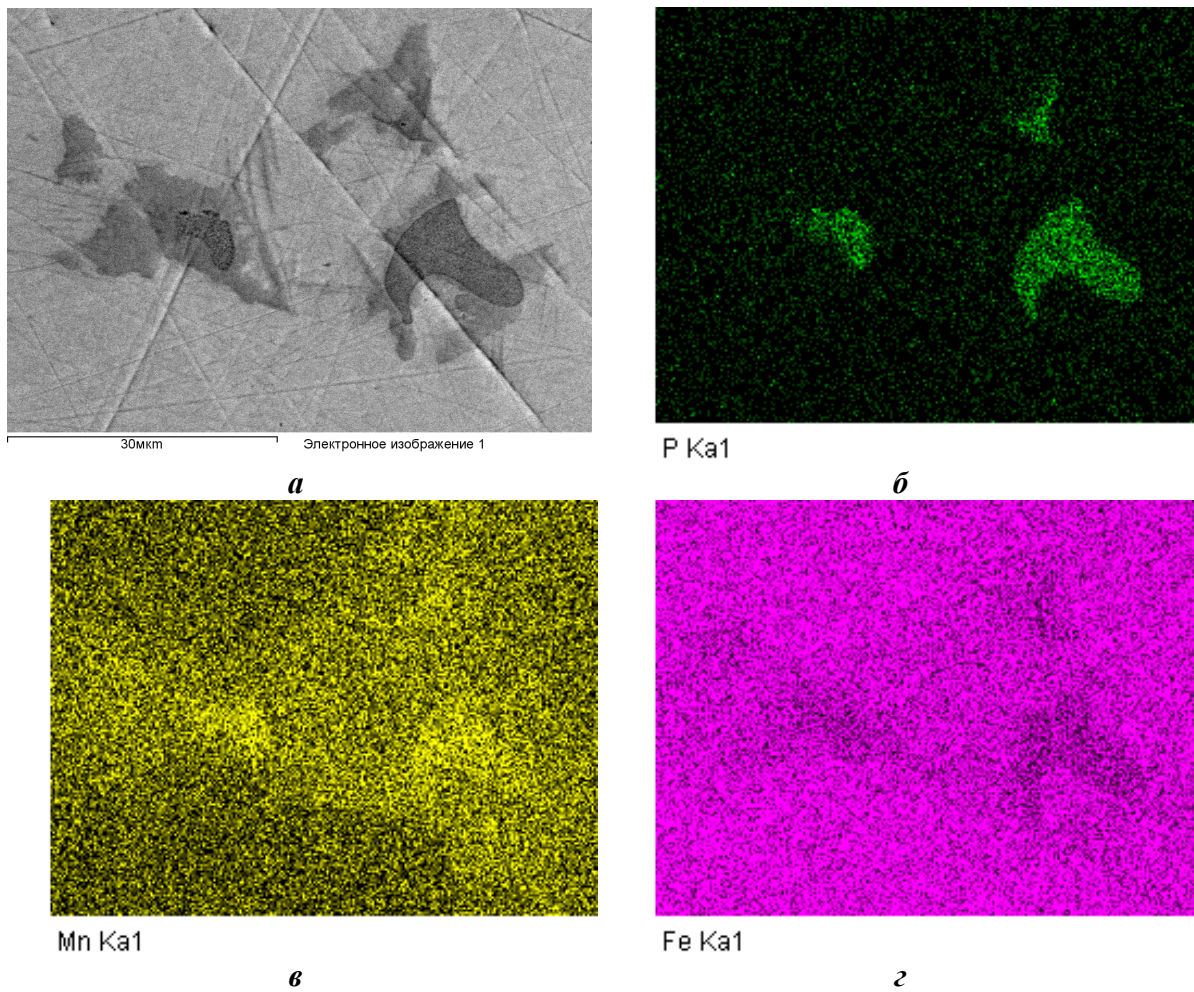


Рис. 2.9.4. Структура сталі 110Г13Л: а – з вібраційним впливом 100 Гц;
 б – розподіл фосфору (P); в – розподіл марганцю (Mn);
 г – розподіл заліза (Fe).

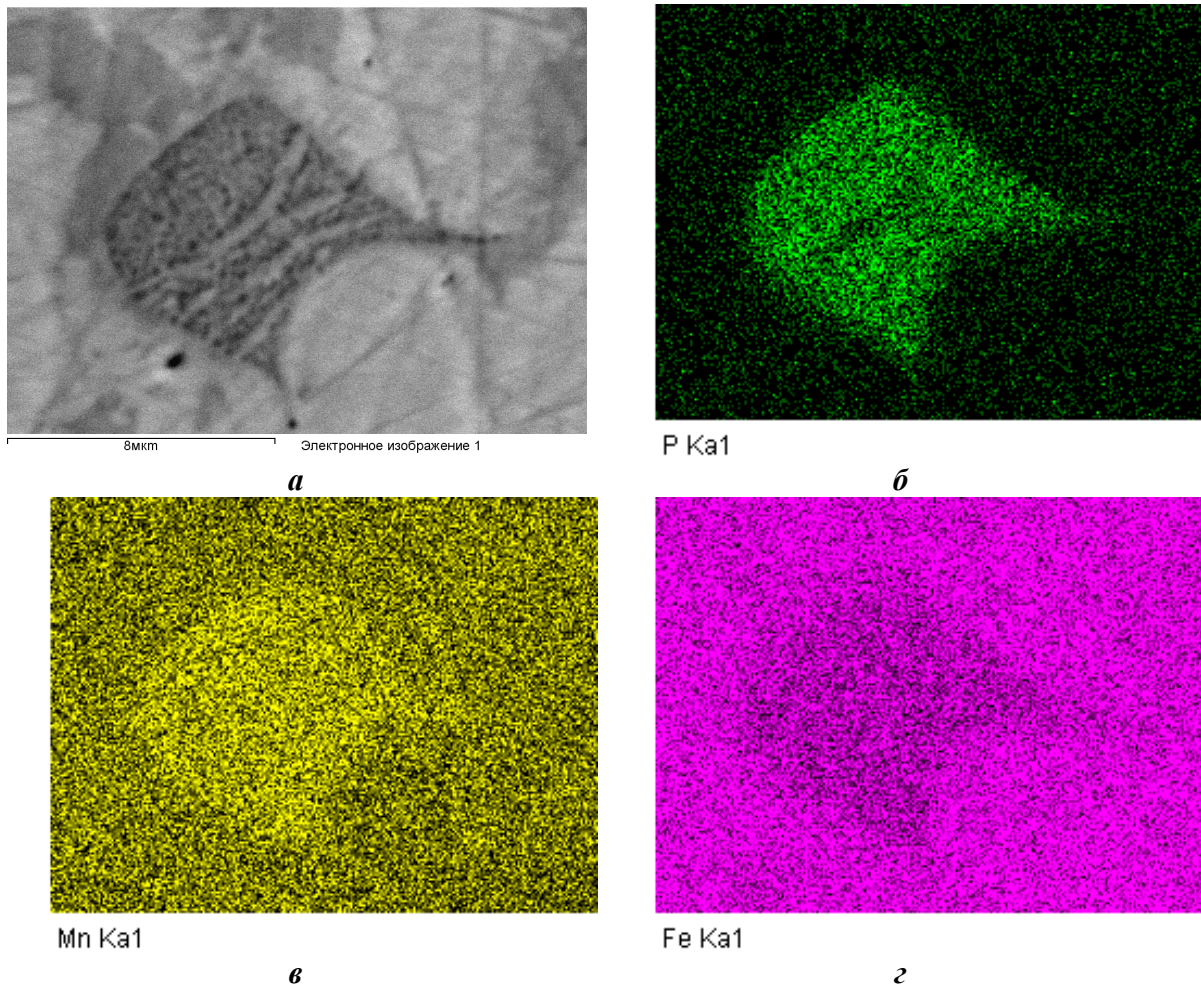


Рис. 2.9.5. Структура сталі 110Г13Л: а – з вібраційним впливом 300 Гц; б – розподіл фосфору (Р); в – розподіл марганцю (Mn); г – розподіл заліза (Fe).

Металографічні дослідження нетравлених шліфів показують наявність значної кількості фосфідної евтектики у вигляді областей неправильної форми, окреслених напівкруглими вершинами гілок дендритів (рис. 2.9.6.а). Це вказує на те, що вони утворилися на останній стадії твердіння, а сама евтектика є легкоплавку.

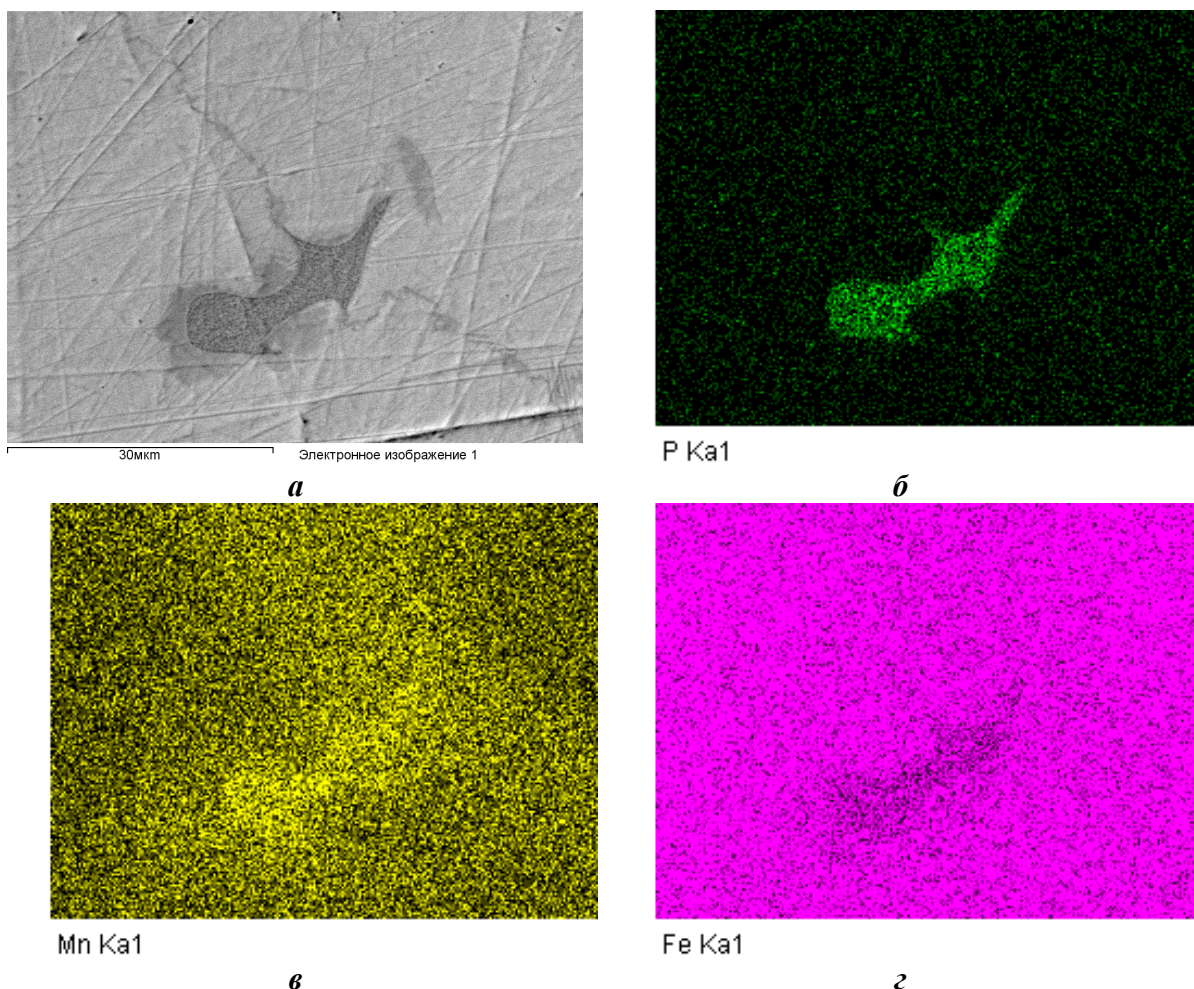


Рис. 2.9.6. Структура сталі 110Г13Л: а – з вібраційним впливом 800 Гц; б – розподіл фосфору (P); в – розподіл марганцю (Mn); г – розподіл заліза (Fe).

2.10. Вплив вібрації на в'язкість розплаву сталі 110Г13Л

Крім того, фосфор знижує плинність останніх порцій рідини, роблячи їх більш густими, що в результаті є причиною поганого заповнення проміжків між гілками дендритів, так як метал, що кристалізується, має менший обсяг, у порівнянні з розплавом. Це викликає у виливках утворення газових раковин і щілиноподібних порожнин, які є основною причиною підвищеної крихкості сталі. Така морфологія і низька пластичність фосфідів призводить до появи тоненьких тріщин всередині колоній фосфідної евтектики (рис. 2.10.1).

Металографічні дослідження нетравлених шліфів при невеликих збільшеннях показали, що у вихідних, які не піддавалися вібраційним дій, набагато частіше зустрічаються характерні дефекти у вигляді пор, несплошностей і розшарувань. Спостереження за допомогою растрової електронної мікроскопії показують, що такі дефекти литої структури в сталі

110Г13Л утворюються в междендрітних просторах і у вигляді тріщин на межі дендритів, які стикаються між собою в процесі росту (рис. 2.10.2.а).

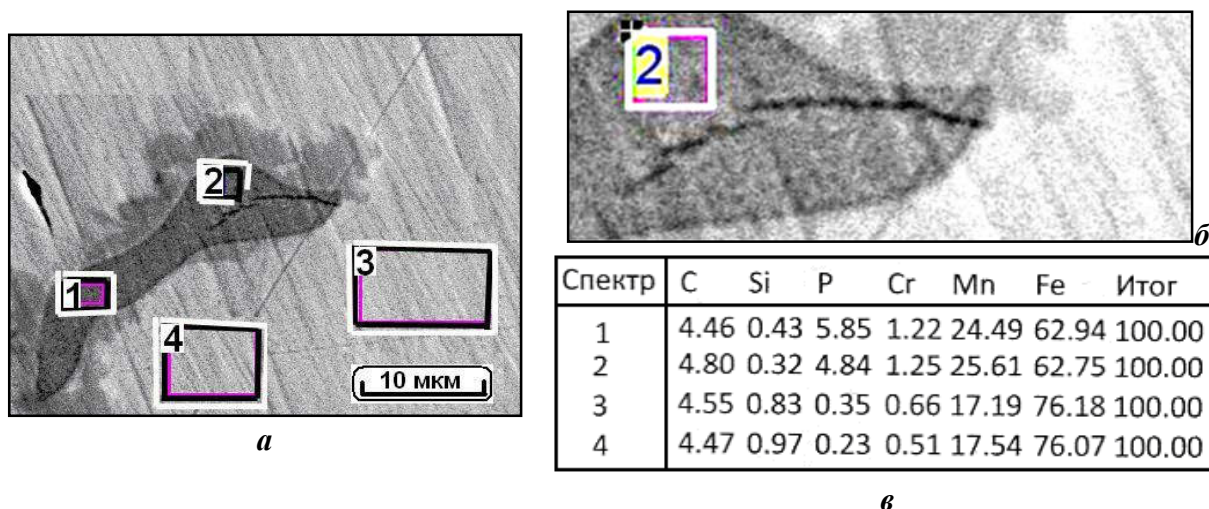


Рис. 2.10.1. Утворення тріщини всередині фосфідної евтектики.

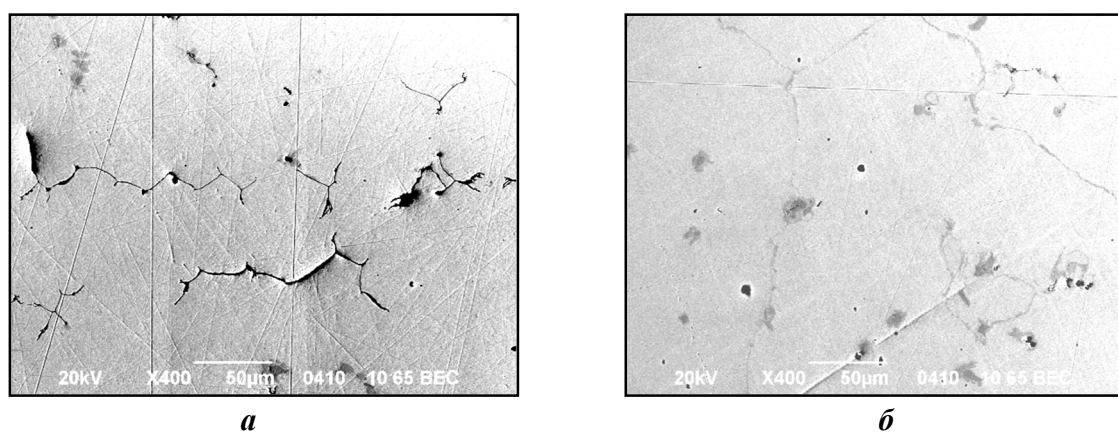


Рис. 2.10.2. Дефекти литої сталі 110Г13Л: а - після лиття без підведення вібраційних коливань; б - з підведенням коливань малої питомої потужності частотою 50 Гц.

Через різницю обсягів твердої і рідкої фаз, утворення замкнутих (ізолюваних) порожнин, в які ускладнено надходження рідкого металу через зниження його в'язкості на останніх стадіях твердіння, відбувається виділення газових бульбашок і ін. Вібраційні навантаження можуть сприяти більш активному заповнення рідиною таких порожнин, гравітаційному осідання рідини і спливання газових бульбашок.

Кількісний аналіз показав, що кількість перетинів випробувальної сітки з дефектами цього виду на 25 полях кожного зразка відносяться в середньому від 7,7 / 1 до 2,5 / 1 для вихідного і підданих вібраційному впливу зразках. При цьому стійкої залежності від частоти вібрацій не спостерігається. Це означає, що твердіння сталей з підведенням вібраційних

коливань частот звукового діапазону сприяє не тільки зміцненню виливків і зварних з'єднань, але і підвищує їх тріщиностійкість, що особливо важливо при зварювальних операціях (рис. 2.10.2.б).

2.11. Вплив вібрації на розподіл легуючих елементів

На рисунках 2.11.1. ... 2.11.6. показано розподіл легуючих елементів по перетину аустенітного зерна сталі 110Г13Л в залежності від частоти вібраційного обробки злитка в процесі твердіння.

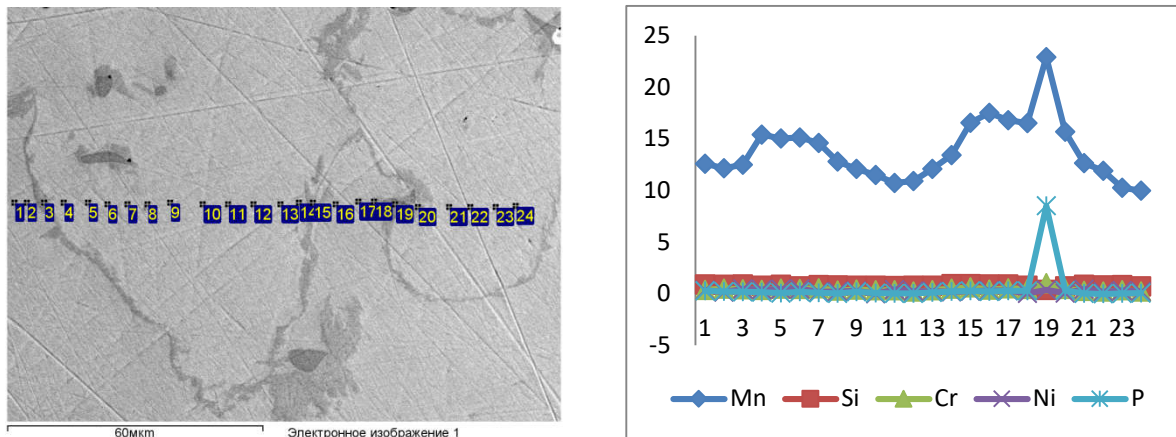


Рис. 2.11.1. Розподіл елементів в зерні аустеніту сталі 110Г13Л при твердінні з вібраційним впливом частотою 0 Гц.

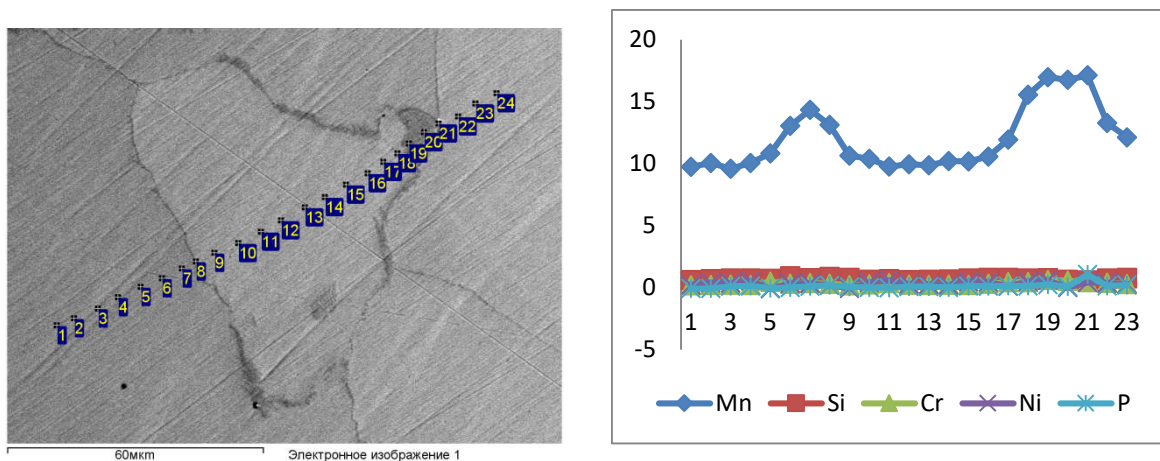


Рис. 2.11.2. Розподіл елементів в зерні аустеніту сталі 110Г13Л при твердінні з вібраційним впливом частотою 20 Гц.

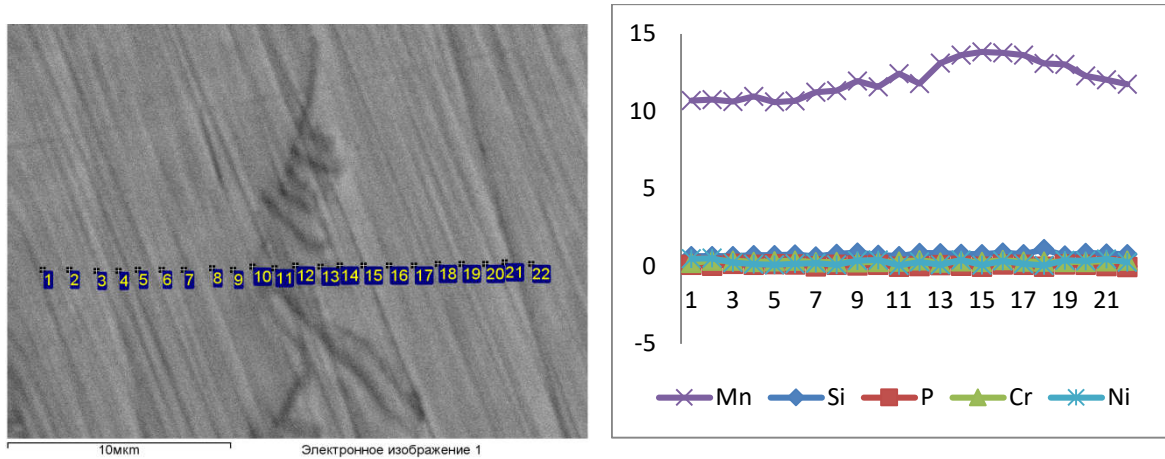


Рис. 2.11.3. Розподіл елементів в зерні аустеніту сталі 110Г13Л при твердінні з вібраційним впливом частотою 50 Гц.

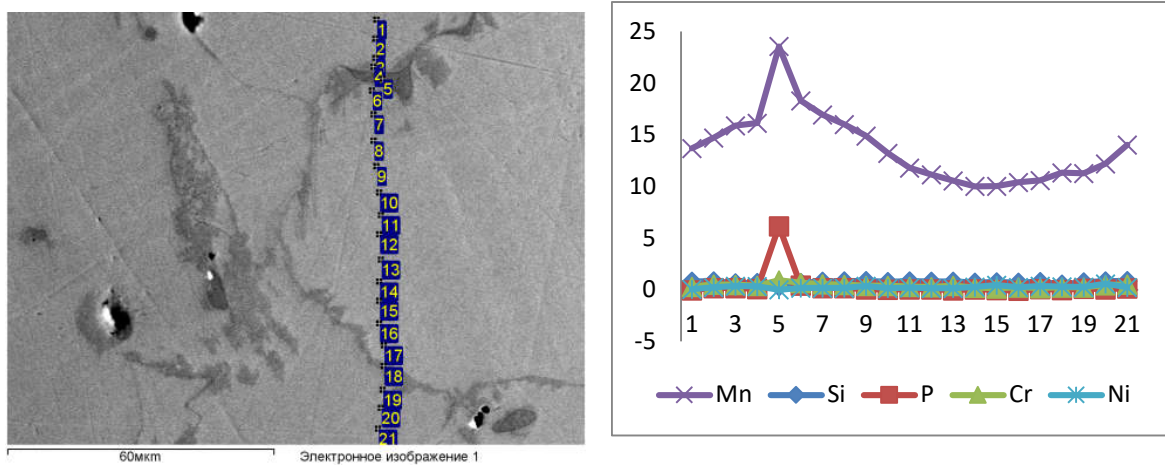


Рис. 2.11.4. Розподіл елементів в зерні аустеніту сталі 110Г13Л при твердінні з вібраційним впливом частотою 100 Гц.

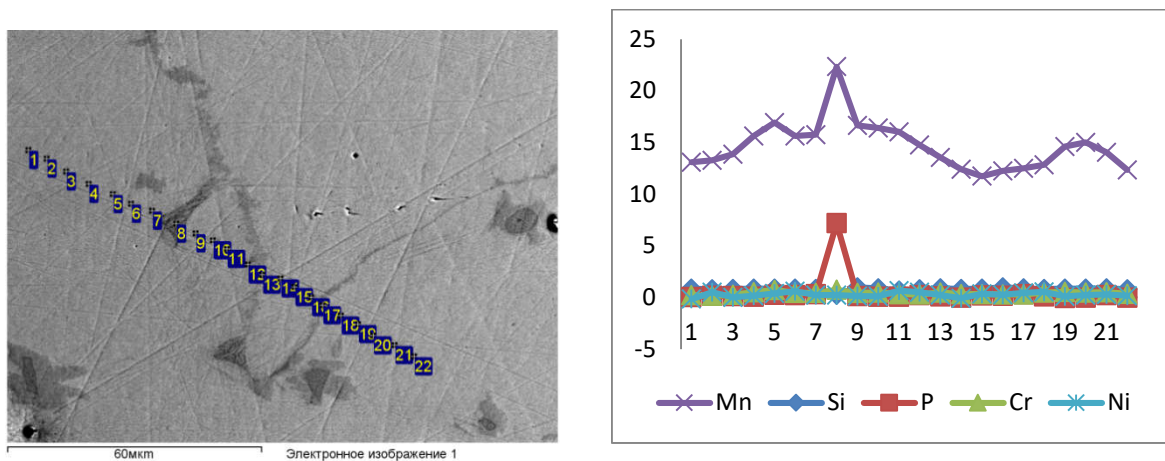


Рис. 2.11.5. Розподіл елементів в зерні аустеніту сталі 110Г13Л при твердінні з вібраційним впливом частотою 300 Гц.

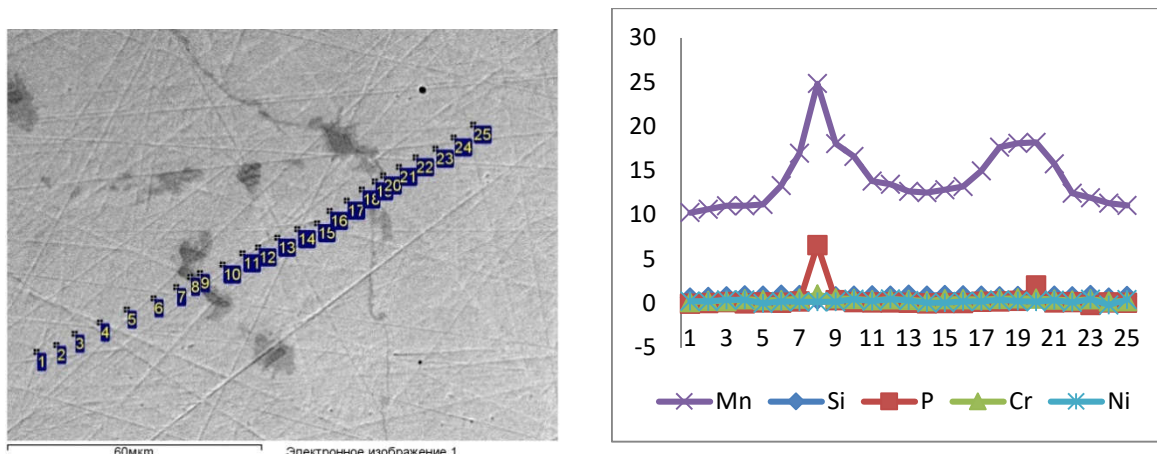


Рис. 2.11.6. Розподіл елементів в зерні аустеніту сталі 110Г13Л при твердінні з вібраційним впливом частотою 800 Гц.

Як видно з рисунка 2.11.3. при твердінні сталі 110Г13Л з частотою вібрації 50 Гц відбувається більш рівномірний розподіл легуючих елементів по перетину зерна, зокрема марганцю, що в свою чергу впливає на отримання однакових механічних властивостей по всьому об'єму металу.

2.12. Морфологічна будова евтектичною складової сталі 110Г13Л

При великих збільшеннях зерен аустеніту (рис. 2.12.1.) можна спостерігати зміну у виділенні фосфідної евтектики. При твердінні з частотою 50 Гц утворюється потрійна фосфідна евтектика. Тобто змінюється механізм кристалізації цих сполук в прикордонних областях, при твердінні останніх об'ємів рідини.

Спостерігаються в ділянках фосфідної евтектики пластини цементиту (рис. 2.12.1.в), за даними ряду дослідників [19, 20], утворюються не в період її твердіння, а в результаті реакції $\text{Ж} \rightarrow \text{Ц} + \text{А}$, яка відбувається ще до початку твердіння фосфідної евтектики в останніх порціях високофосфористих розплавів. На їхню думку, фосфор при високому його вмісті сприяє в цьому випадку роздільній кристалізації пластин цементиту і аустенітних дендритів. І тільки до кінця твердіння, в каналах між незалежно зростаючими пластинами аустеніту і дендритами аустеніту, заповненими багатою фосфором рідкою фазою, кристалізується потрійна фосфідна евтектика. Таким чином, цементитні пластини виявляються в ділянці фосфідної евтектики [21, 22].

Можливо, що таке виділення карбідів і фосфідів стримує зростання аустенітного зерна і сприяє утворенню дрібнозернистої рівноосної структури по перетину злитка.

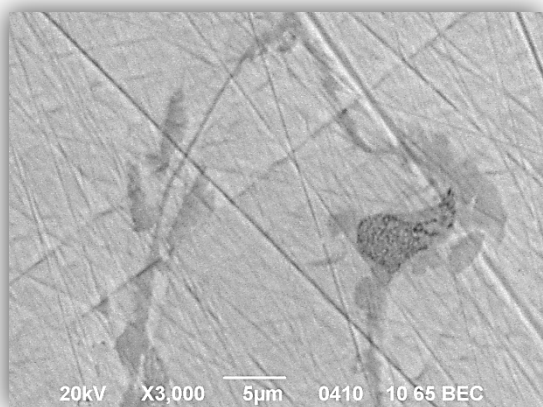
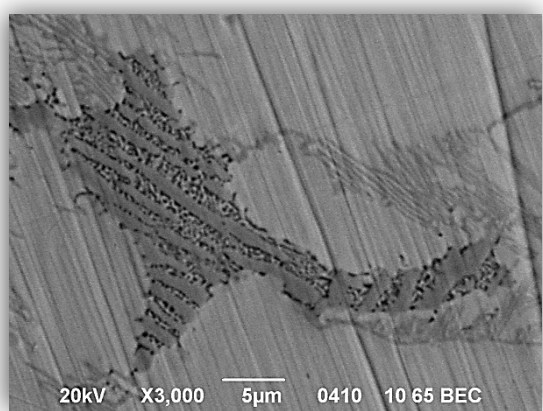
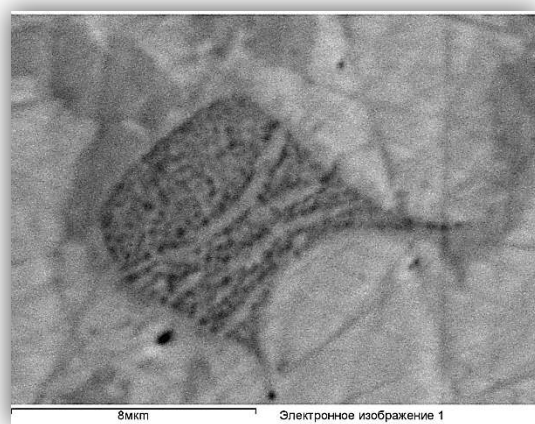
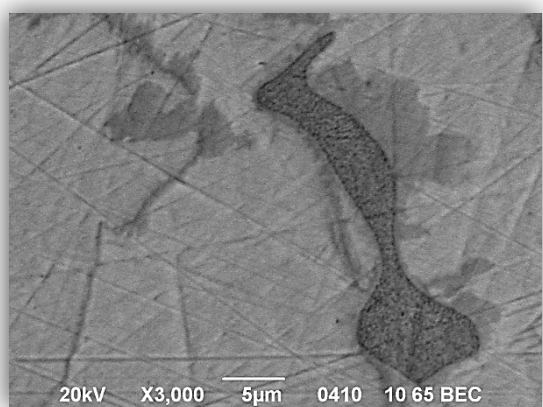
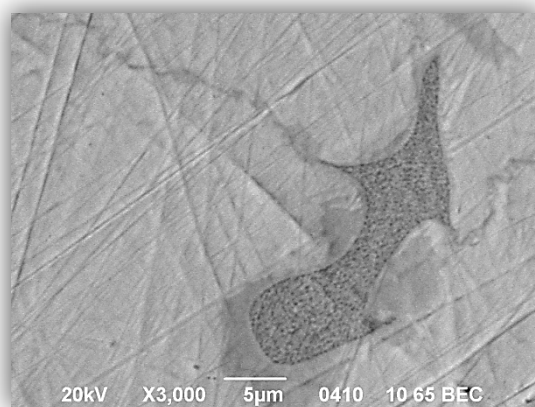
*a**б**в**г**д**е*

Рис. 2.12.1. Структура сталі 110Г13Л, закристалізованої при впливі вібрації частотою: а – 0 Гц; б – 20 Гц; в – 50 Гц; г – 100 Гц; д - 300 Гц; е – 800 Гц.

Таким чином, найрезультативнішим є вібраційний вплив з частотою в 50 Гц так як він сприяє зниженню ліквідаційної неоднорідності, істотно

стабілізує розподіл марганцю і заліза, позитивно впливає на дисперсність і пластичність фосфідної евтектики.

2.13. Визначення характеристик твердості

З огляду на те, що механічні властивості сталі 110Г13Л визначаються на зразках, що обробляються різанням або шліфуванням, що зазвичай супроводжується місцевими перегрівами, сильно впливають на результати випробувань, в якості основних показників міцностних властивостей злитків були обрані твердість і мікротвердість.

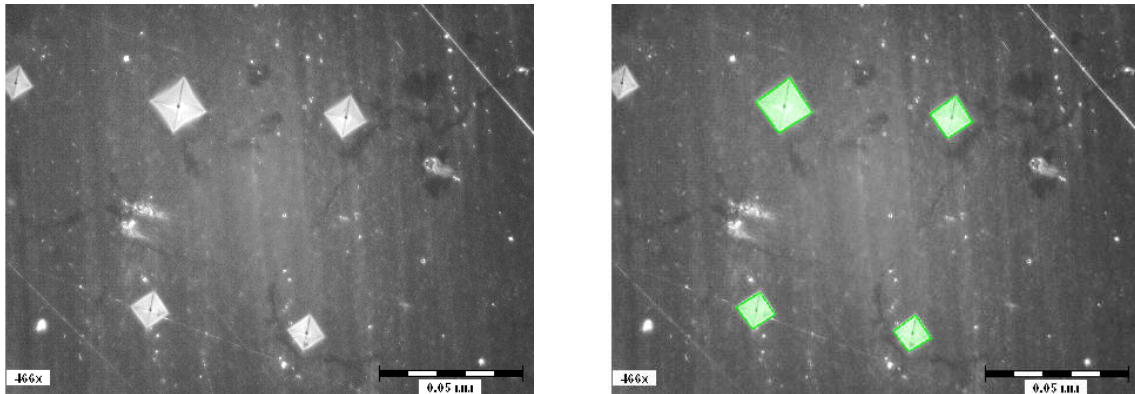
Результати вимірювання мікротвердості наведені на рис. 2.13.1. – 2.13.6., кожен з яких містить фотознімок з відбитками індентора і його більш контрастний варіант, оскільки відбитки не завжди володіють достатнім контрастом (див., наприклад, рис. 2.13.1. а – в).

На рисунках 2.13.7. і 2.13.8. показана залежність значень твердості по Роквеллу і мікротвердості, відповідно, від частоти вібраційного впливу, побудовані за даними таблиці 1.

Таблиця 2.13.1.

*Залежність мікротвердості і твердості по Роквеллу
сталі 110Г13Л від частоти вібрації*

Частота вібрації, Гц	Значення мікротвердості, МПа	HRC
0	997,2	22,5
20	1148,2	23
50	1514,2	28
100	1533,9	26,5
300	1386,2	24,1
800	891,6	21

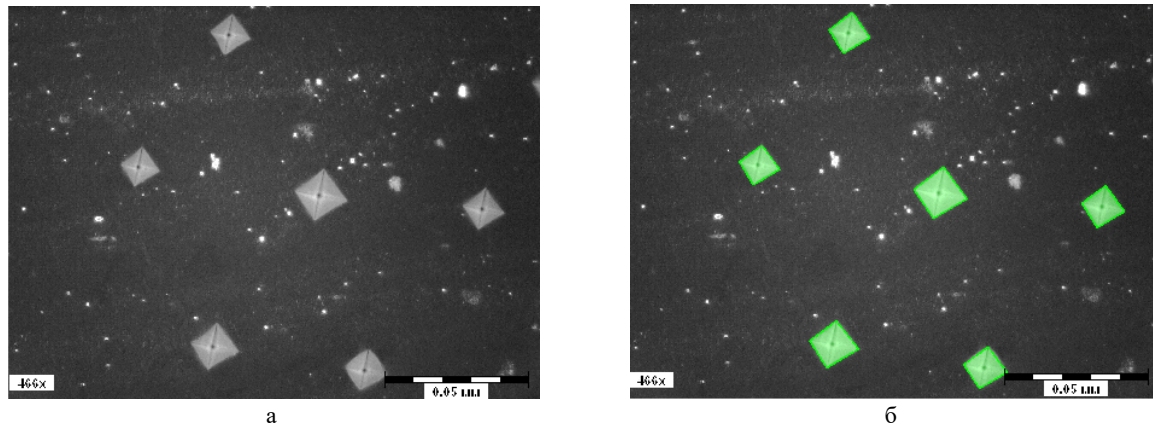
*a**б*

Данные статистики

Кол-во полей	2
Площадь поля, мм ²	0.025
Обраб. площадь, мм ²	0.050
Калибровка	50x_1,25_High
Кол-во отпечатков	10
Микротвердость (HV):	H/мм ²
Ср. арифм.	3313.1
Мин.	997.2
Макс.	4918.2
СКО	1297.8

в

Рис. 2.13.1. Статистичні вимірювання мікротвердості сталі 110Г13Л після твердіння без вібраційного впливу: а – вихідне зображення; б – контрастування відбитків; в – дані статистики.

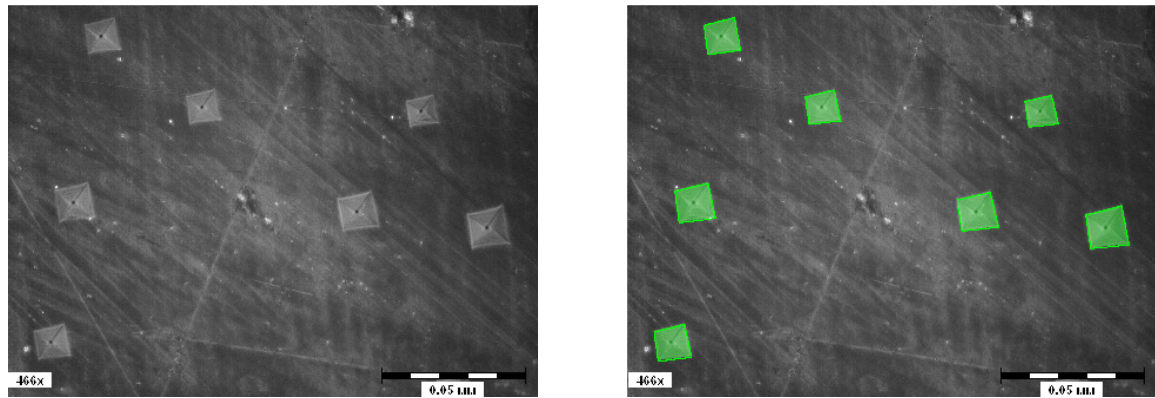


Данные статистики

Кол-во полей	2
Площадь поля, мм*мм	0.025
Обраб. площадь, мм*мм	0.050
Калибровка	50x_1.25_High
Кол-во отпечатков	10
Микротвердость (HV):	Н/мм ²
Ср. арифм.	1889.8
Мин.	1148.2
Макс.	3237.5
СКО	697.0

в

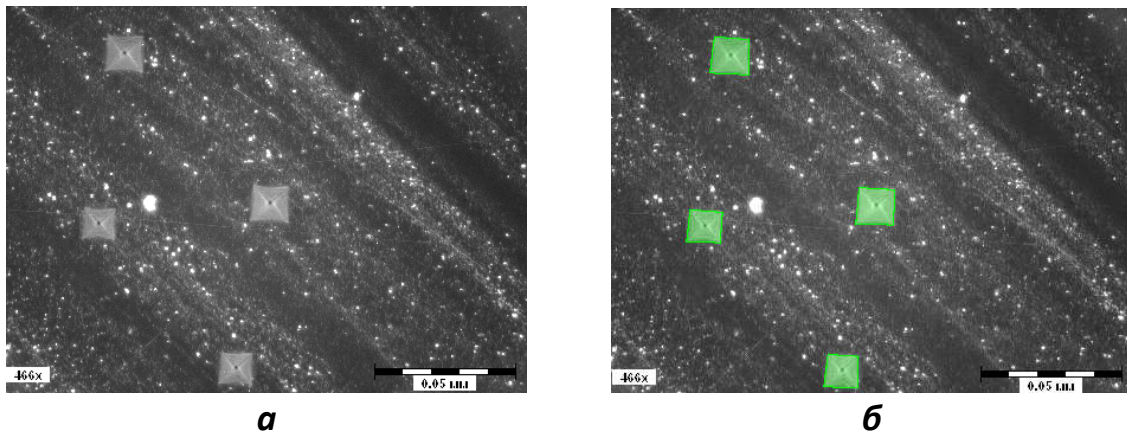
Рис. 2.13.2. Статистичні вимірювання мікротвердості сталі 110Г13Л після твердіння в умовах вібраційної з частотою 20 Гц: а – вихідне зображення; б – контрастування відбитків; в – дані статистики.

*a**б***Данные статистики**

Кол-во полей	2
Площадь поля, мм*мм	0.025
Обраб. площадь, мм*мм	0.050
Калибровка	50x_1,25_High
Кол-во отпечатков	10
Микротвердость (HV):	Н/мм ²
Ср. арифм.	2261.9
Мин.	1533.9
Макс.	3006.3
СКО	523.6

в

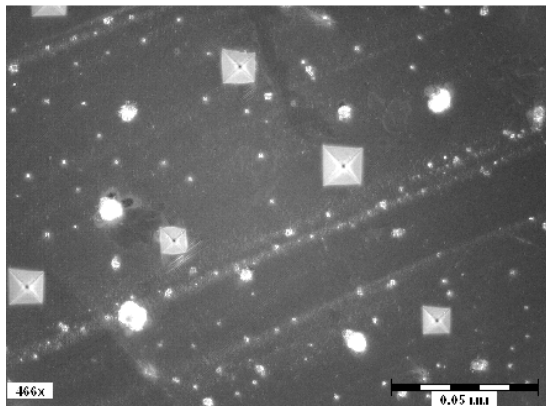
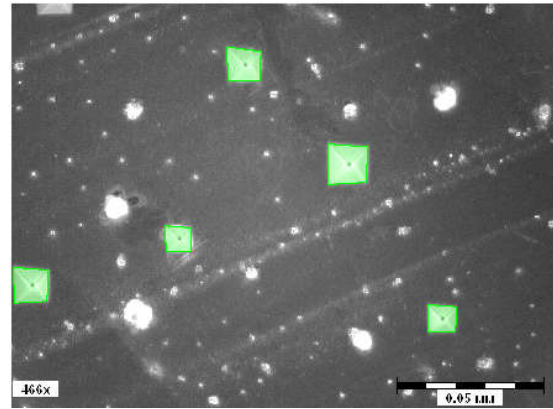
Рис. 2.13.3. Статистичні вимірювання мікротвердості сталі 110Г13Л після твердіння в умовах вібраційної з частотою 50 Гц: а – вихідне зображення; б – контрастування відбитків; в – дані статистики.

*a**б***Данные статистики**

Кол-во полей	2
Площадь поля, мм²	0.025
Обраб. площадь, мм²	0.050
Калибровка	50x_1.25_High
Кол-во отпечатков	8
Микротвердость (HV):	Н/мм²
Ср. арифм.	2215.1
Мин.	1514.2
Макс.	3866.1
СКО	814.0

в

Рис. 2.13.4. Статистичні вимірювання мікротвердості сталі 110Г13Л після твердіння в умовах вібраційної з частотою 100 Гц: а – вихідне зображення; б – контрастування відбитків; в – дані статистики.

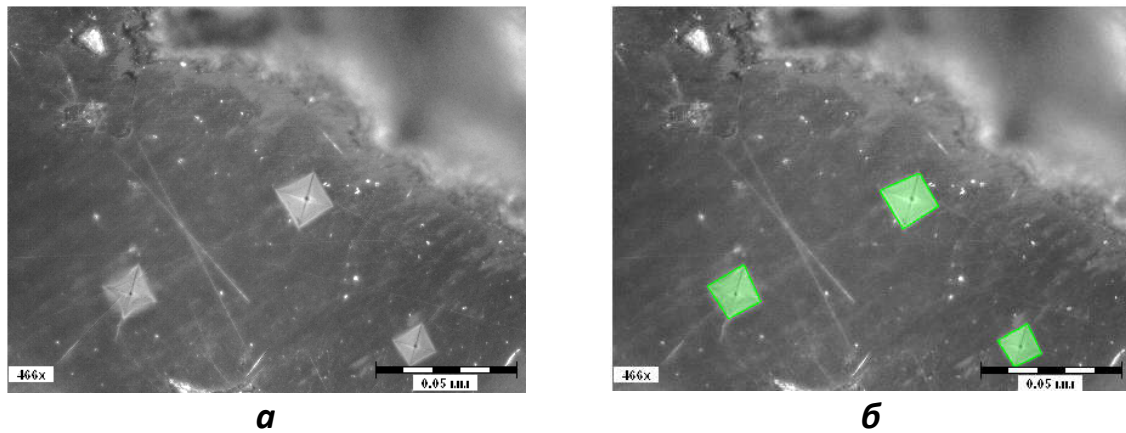
***а******б***

Данные статистики

Кол-во полей	2
Площадь поля, мм*мм	0.025
Обраб. площадь, мм*мм	0.050
Калибровка	50х_1,25_High
Кол-во отпечатков	9
Микротвердость (HV):	Н/мм ²
Ср. арифм.	2464.6
Мин.	1386.2
Макс.	3637.6
СКО	844.6

в

Рис. 2.13.5. Статистичні вимірювання мікротвердості сталі 110Г13Л після твердіння в умовах вібраційної з частотою 300 Гц: а – вихідне зображення; б – контрастування відбитків; в – дані статистики.



Данные статистики

Кол-во полей	2
Площадь поля, мм*мм	0.025
Обраб. площадь, мм*мм	0.050
Калибровка	50x_1,25_High
Кол-во отпечатков	7
Микротвердость (HV):	H/мм ²
Ср. арифм.	1456.8
Мин.	891.6
Макс.	1938.2
СКО	397.2

в

Рис. 2.13.6. Статистичні вимірювання мікротвердості сталі 110Г13Л після твердіння в умовах вібраційної з частотою 800 Гц: а – вихідне зображення; б – контрастування відбитків; в – дані статистики.

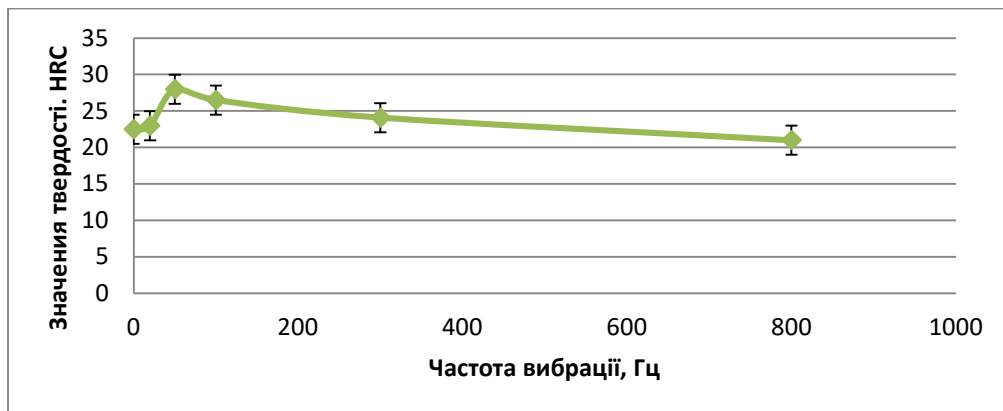


Рис. 2.13.7. Значення твердості по Роквеллу сталі 110Г1Л в залежності від частот вібраційного обробки.

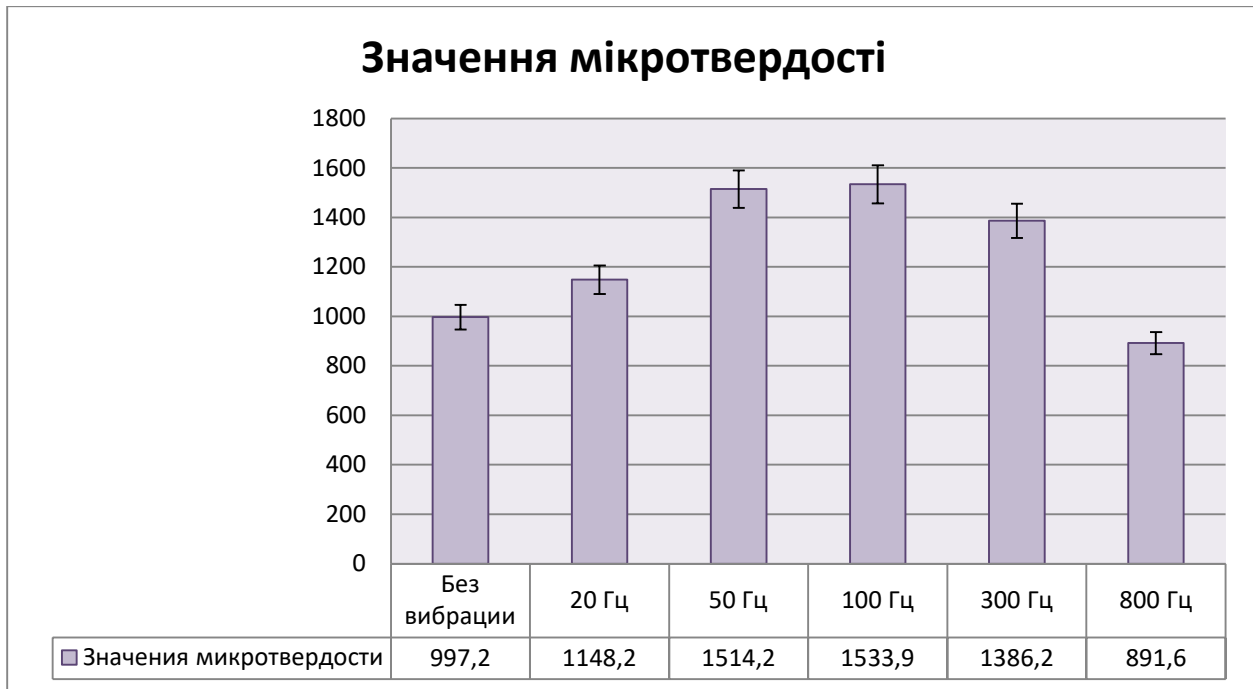


Рис. 2.13.8. Значення мікротвердості аустеніту в сталі 110Г1Л в залежності від частот вібраційного обробки.

Отримані дані свідчать про те, що вібраційний вплив на сталь 110Г13Л з частотою вібрації 50 Гц в процесі твердіння істотно підвищив тимчасовий опір руйнуванню.

Таким чином, використання механічної вібрації малої питомої потужності з частотою 50 Гц, дозволяє отримати равноосную структуру по перетину злитка, що в свою чергу суттєво підвищує її механічні характеристики.

У виробничих умовах використання малопотужних вібраторів для поліпшення механічних властивостей сталі 110Г13Л з підведенням енергії механічної вібрації без істотного загасання до залитого в ливарну форму металу може бути поєднане із застосуванням холодильників, які також подрібнюють зерно, закристалізованої сталі 110Г13Л [8].

3. Висновки

Отже, результати експерименту показують, що додаток вібраційних механічних коливань малої питомої потужності впливає на будову і механічних показники:

- утворюється рівноосна аустенітна структура з рівномірним розподілом легуючих елементів по перетину зерна;
- по межах зерен утворюється потрійна евтектика, що складається з порівняно товстих рівновіддалених пластин карбідів $(\text{Mn}, \text{Fe})_3\text{C}$, проміжки між якими заповнені другим компонентом – дисперсною евтектикою

(Mn, Fe) + (Mn, Fe)₃P. Така морфологія потрібної евтектики сприяє підвищенню міцності і пластичних характеристик виливків, а також знижує негативний вплив фосфідної евтектики на ймовірність крихкого руйнування сталі;

- підвищуються показники твердості і мікротвердості зерен аустеніту в сталі 110Г13Л.

Всі зафіксовані позитивні зміни в структурі і властивостях пов'язані з частотою 50 Гц, яка використовується в змінному струмі промислового і цивільного енергопостачання. Це дозволяє припустити, що спостерігаються ефекти впливу вібрації малої питомої потужності можуть бути пов'язані саме з цими низькочастотними коливаннями і резонансними явищами в системі джерело – кристалізується розплав.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лысак Л.И. Вопросы физики металлов и металловедения. Киев: Наука, 1953. – 256 с.
2. Распад аустенита и свойства марганцевой стали [Текст] // Режим доступа <http://tronocroi.ru/metally-i-splavy/raspad-austenita-i-svojstva-margancevoj-stali.html>
3. Марков С.П. Влияние суспензионной заливки на качество отливок из высокомарганцевой стали [Текст] // Режим доступа: <http://hi-intel.ru/806/100.html>
4. Campbell J. Effects of vibration during solidification // International Metals reviews. Vol 26. – 1981. – N 2. – P. 71-108.
5. Pillai R. M. A simple inexpensive technique for enhancing density and mechanical properties of Al-Si alloys / R.M. Pillai, Biju K.S. Kumar, B.C. Pai // Journal of Materials Processing Technology. Vol. 146. – 2004. – N 3. – P. 338–348.
6. Bast J. Influence of vibration during solidification of molten metals on structure and casting properties / J. Bast, J. Hübler, C. Dommaschk // Advanced engineering materials. Vol. 6. – 2004. – N 7. – P. 550-554.
7. Металловедение и термическая обработка металлов: учеб. пособие для вузов / В.И. Большаков, С.И. Губенко. Днепропетровск: ПГАСА, 2004. – 145 с.
8. Большаков В.И. Прикладне матеріалознавство: Підручник для вузів / В.И. Большаков, О.Ю. Береза, В.И. Харченко. – Дн-вськ, РВА «Дніпро-VAL», 2000. – 290 с.
9. Deshpande J. The Effect of Mechanical Mold Vibration On Characteristics of Aluminum Alloys: Degree of Master of Science in Manufacturing Engineering: A Thesis Submitted to the Faculty of Worcester Polytechnic Institute / Jayesh Deshpande. – Worcester, 2006. – 113 p.

10. Ротт Н. А. Влияние маломощной механической вибрации на структуру и свойства аустенитной стали 110Г13Л / В. И. Большаков, Н. А. Ротт // *Металлургическая и горнорудная промышленность: Научно-техн. и производственный журнал.* – № 3 (282). – Днепропетровск: ООО «Укрметаллургинформ «НТА», 2013. – С.83 – 84.
11. Ротт Н. А. Влияние механической вибрации на формирование структуры отливок из стали 110Г13Л. / В. И. Большаков, Г. М. Воробьев, Л. С. Кривуша, Н. А. Ротт // *Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов.* – Вып. 61. – Днепропетровск, ПГАСА, 2011. – С. 49 – 53.
12. Ротт Н. А. Зависимость механических характеристик стали 110Г13Л от частоты вибрации / Н. А. Ротт // *Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов.* – Вып. 67. – Днепропетровск, ПГАСА, 2013. – С. 252 – 254.
13. Ротт Н. А. Влияние механических колебаний на распределение легирующих элементов в стали Гадфильда (110Г13Л) / В. И. Большаков, Н. А. Ротт // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва і архітектури: Збірник наукових праць.* – № 10. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2013. – С. 4 – 9.
14. *Металлургия высокомарганцевой стали* / М.И. Гасик, Ю.Н. Петров, И.А. Семенов и др.— К.: Техника, 1990. – 136 с.
15. ГОСТ 7370 – 98 «Крестовины железнодорожные типов Р75, Р65 и Р50. Технические условия».