



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **101208** (13) **C2**
(51) МПК (2013.01)
B22D 1/00
C22B 9/00
C22F 3/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2011 01616**
(22) Дата подання заявки: **11.02.2011**
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: **11.03.2013**
(41) Публікація відомостей про заявку: **25.05.2012, Бюл.№ 10**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **11.03.2013, Бюл.№ 5**

(72) Винахідник(и):
Петров Сергій Степанович (UA),
Пригунов Сергій Володимирович (UA),
Пригунова Адель Георгіївна (UA),
Ключник Дар'я Миколаївна (UA)
(73) Власник(и):
Петров Сергій Степанович,
Запорізьке шосе, 2-а, кв. 317, м.
Дніпропетровськ, 49041, Україна (UA)
(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:
UA 200812666, 10.06.2009
RU 2347643 C1, 27.02.2009
SU 1767921 A1, 10.07.1996
Ердаков И. Н. и др. Влияние импульсного электрического воздействия на кристаллизацию силумина (АК7ч) и стали (20ГЛ) // Литейные процессы. – 2010. – № 9, С. 54-57
Вернидуб А. Г. и др. Обработка сплава АК7 импульсным электрическим током // Процессы литья. – 2005. – № 1, С. 64-67.
Беклемишев Н.Н. и др. Влияние импульсного тока на конструктивную прочность алюминиевых сплавов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1991. – № 3, С. 15-17

(54) СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА СИЛУМІНІВ

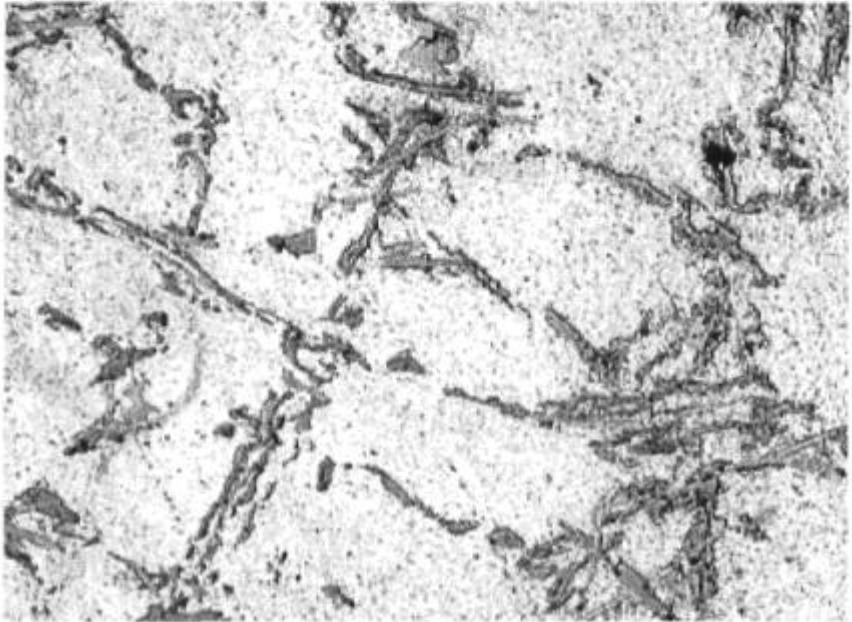
(57) Реферат:

Винахід належить до кольорової металургії, а саме способів виробництва ливарних алюміній-кремнієвих сплавів. Спосіб включає виплавку силикоалюмінію, у тому числі з лому і відходів, корегування складу розплаву алюмінієм і легуючими елементами, фільтрацію розплаву до заданого складу, модифікування розплаву флюсом, обробку розплаву силуміну на жолобі при литті постійним електричним струмом. Відповідно до винаходу обробку здійснюють постійним імпульсним електричним струмом із частотою імпульсів від 100 до 5000 Гц і щільністю струму від 7 до 20 А/см². Це дозволить зменшити витрати електроенергії й домогтися зниження впливу шкідливих домішок.

UA 101208 C2



a



6

Винахід стосується кольорової металургії, а саме способу виробництва силумінів і може використовуватися для виробництва виливків складної конфігурації.

Відомий спосіб виготовлення силікоалюмінію (Троицкий И.А., Железнов В.А. Металлургия алюминия. - М.: Металлургия, 1977. - 392 с), що полягає у фільтрації розплаву від неметалевих включень і інтерметалідів, до складу яких входить залізо, корегування хімічного складу розплаву (доведення алюмінієм і легуючими елементами до заданого складу), модифікування розплаву флюсом, розливання отриманого сплаву на стандартних конвеєрних або ливарних машинах.

Недоліком відомого способу виробництва силумінів є те, що повсюдне використання низькосортної та вторинної сировини призводить до забруднення алюмінієвих сплавів залізом. При кристалізації утворюються первинні або евтектичні кристали інтерметалідних залізівмісних фаз, які зазвичай присутні у формі грубих пластин-концентраторів напруги, по яких відбувається сколювання. Це призводить до різкого зниження механічних властивостей - як показників міцності, так і пластичності, утруднює механічне оброблювання виливків. Фільтрація розплаву дозволяє зменшити кількість шкідливих домішок. Для зниження вмісту заліза, нейтралізації його негативного впливу в розплав силумінів додають первинний алюміній, проводять низькотемпературну марганцеву або хромову фільтрацію, в процесі якої залізо відфільтровується у вигляді інтерметалідних фаз разом з алюмінієм. У результаті фільтрації розплаву досягається зниження вмісту заліза з 1,0-1,5 % до 0,3-0,7 % (в залежності від хімічного складу промислового силуміну), що сприяє підвищенню механічних властивостей в твердому стані. Проте внаслідок фільтрації, крім заліза, втрачається до 30 % алюмінію, а також марганець, хром, нікель та інші легуючі елементи, що входять до складу інтерметалідів, які залишаються на фільтрі у вигляді фільтрозалишків. Втрати алюмінію, легуючих елементів при фільтрації тим вагоміші, чим менший відсоток заліза регламентується хімічним складом сплаву, що виплавляється. Це збільшує собівартість ливарних сплавів і виробів з них на 30-40 %, робить їх неконкурентоспроможними.

Відомі способи виробництва алюміній-кремнієвих сплавів (Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием. - М.: Металлургия, 1977. - 272 с), при яких розплав обробляють рафінуючими флюсами, інертними газами, вакуумуванням і ультразвуком з метою поліпшення їх якості. Ці способи підвищують якість металів і сплавів за рахунок зменшення кількості газових домішок і неметалевих включень, але практично не усувають негативну дію заліза, не впливають на морфологію кристалів, тобто на форму їх росту, і тим більше не змінюють фазовий склад силумінів, від чого значною мірою залежать їх властивості.

Винахід, що заявляється, усуває зазначені недоліки і спрямований, в першу чергу, на поліпшення механічних властивостей алюмінієвих сплавів при підвищеній кількості заліза внаслідок зміни фазового складу та морфології інтерметалідів ливарних алюмінієвих сплавів під впливом оброблення розплаву за способом, що надається. Таким чином, спосіб, що пропонується, має суттєві відмінності, в першу чергу, за результатом, а саме: після оброблення розплаву силуміну за новим способом при кристалізації замість евтектики $\beta\text{-FeSiAl}_5\text{+Si+Al}_\alpha$, в якій залізівмісна фаза β має форму великих пластинчатих кристалів, утворюється евтектика $\alpha\text{-Fe}_2\text{SiAl}_8\text{+Si+Al}_\alpha$ з розгалуженими кристалами α -фази (Фіг. 1). Ці суттєві відмінності забезпечують значне зростання механічних властивостей сплаву без зміни його хімічного складу.

Найбільш близьким по суті та технічному результату, що досягається, до винаходу, що заявляється, є "Спосіб виробництва ливарних сплавів на основі алюмінію" (авторське свідоцтво СРСР № 1150960, МКл. С22В 9/00, 1983 р.), що прийнято за прототип.

Спосіб за прототипом містить: виготовлення силікоалюмінію, фільтрацію його від інтерметалідних і шлакових включень, корегування хімічного складу розплаву, модифікування розплаву флюсом, розливання отриманого сплаву з пічного простору за допомогою жолобу. На останній операції (при розливанні розплаву) здійснюється оброблення розплаву на жолобі постійним електричним струмом щільністю 80-440 А/см² або змінним 150-670 А/см² при підтримці напруги у межах 2-40 В. Час оброблення становить 3-45 сек.

Суттєвими ознаками прототипу, що збігаються з суттєвими ознаками способу, що заявляється, є виплавка силікоалюмінію, у тому числі з лому і відходів, корегування складу розплаву алюмінієм і легуючими елементами, модифікування розплаву флюсом, оброблення розплаву силуміну на жолобі електричним струмом.

Недоліками способу за прототипом є застосування електричного струму з незмінною частотою імпульсів струму промислових мереж (40-50 Гц). Це обмежує можливості керування процесами структуроутворення, не дозволяє одержати позитивний результат нейтралізації шкідливого впливу заліза на властивості ливарних алюмінієво-кремнієвих сплавів при більш низькій щільності електричного струму, не забезпечує суттєвого підвищення їх якості, яке

принципово можливе за умови зміни фазового складу основних евтектик з β -FeSiAl₅+Si+Al_α, на α -Fe₂SiAl₈+Si+Al_α, що мають суттєві морфологічні відмінності (див. Фіг. 1).

У основу винаходу поставлено задачу оптимізувати процес структуроутворення в алюміній-кремнієвих сплавах за рахунок зміни частоти імпульсів та зниження щільності електричного струму. Це дозволить підвищити ефективність нейтралізації шкідливого впливу заліза в силумінах внаслідок зміни морфології залізовмісних фаз з пластинчастих на розгалужені і, відповідно, покращити їх механічні властивості, знизити втрати електроенергії.

Зміни у процесі кристалізації внаслідок рідиннофазного оброблення однополярним імпульсним електричним струмом і фазового складу (з β -інтерметаліду на α -інтерметалід) забезпечують значне зростання механічних властивостей. При цьому розмір структурних складових, що утворюються після оброблення розплаву однополярним імпульсним електричним струмом, на порядок менший, ніж ті, що протиставляються. Останнє зумовлено суттєвим модифікуючим ефектом, що має місце при більш високих показниках частоти електричного струму порівняно з прототипом. Крім того, за способом, що пропонується, можливе підвищення вмісту заліза в сплаві до 1,0-1,3 % при збереженні механічних властивості при 25 °С на рівні сплавів з вмістом заліза $\leq 0,7$ % і більш високої жароміцності. Скорочуються втрати алюмінію, марганцю, хрому та інших легуючих на виробництво. Знижується собівартість, підвищується конкурентоздатність ливарної продукції.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі виробництва ливарних сплавів на основі алюмінію, що містить виплавку силікоалюмінію, у тому числі з лому та відходів, корегування хімічного складу розплаву алюмінієм і легуючими елементами, модифікування розплаву флюсом, оброблення розплаву силуміну на жолобі електричним струмом, згідно з винаходом оброблення розплаву здійснюється однополярним імпульсним електричним струмом із частотою імпульсів від 100 до 5000 Гц і щільністю струму від 7 до 20 А/см².

Причинно-наслідковий зв'язок між суттєвими ознаками винаходу та технічним результатом, що досягаються, полягає в наступному. При обробленні розплаву електричним струмом за оптимальними режимами, а саме: при щільності електричного струму в інтервалі від 7 до 20 А/см², частоті від 100 до 5000 Гц, мають місце істотні зміни в процесі структуроутворення, обумовлені зміною будови розплаву під дією електричного струму. При проходженні електричного струму відбувається електроперенос хімічних елементів між мікрогрупуваннями в розплаві. В результаті локальної зміни хімічного складу на макrorівні близько 1000 атомів утворюються мікрогрупування з ближнім порядком атомів, що притаманні розплаву іншого хімічного складу відносно діаграми рівноважного стану. Відповідно змінюється характер фазових перетворень при кристалізації.

Перерозподіл між мікрогрупуваннями повинен бути значним, що визначає нижню межу щільності однополярного імпульсного електричного струму. При збільшенні щільності електричного струму виникають електроконвективні потоки, зменшується спрямоване переміщення іонів (електроперенос). Цей фактор (зростання електроконвекції при збільшенні щільності електричного струму) визначає верхню межу щільності однополярного електричного струму.

Можливість керування електромасопереносом досягається варіюванням частотою імпульсів однополярного електричного струму. Це дозволяє, з одного боку, значно знизити щільність електричного струму (у порівнянні з прототипом), з іншого, стабілізувати модифікуючий ефект впливу електричного струму в широкому інтервалі його щільності ($j=7-20$ А/см²).

Перелік графічних фігур.

Фіг. 1 - мікроструктура сплаву Al - 8 % Si - 0,7 % Fe, X 400:

а - початкова структура сплаву, де основним елементом структури є евтектика β -FeSiAl₅+Si+Al_α;

б - після оброблення розплаву за способом, що пропонується, де основним елементом структури є евтектика α -Fe₂SiAl₈ + Si+Al_α.

Фіг. 2 - вплив частоти однополярного імпульсного електричного струму (ν) при обробленні розплаву на відносне подовження (δ , %) сплаву АК5М2 в залежності від щільності електричного струму (j).

Фіг. 3 - мікроструктура сплаву АК5М2:

а - початковий стан, X 400;

б - після оброблення розплаву однополярним імпульсним електричним струмом (ν - 1000 Гц; j - 7 А/см²), X 800.

Фіг. 4 - об'ємна частка інтерметаліду а в залежності від параметрів рідиннофазного оброблення електричним струмом сплаву АК5М2.

Фіг. 5 - вплив оброблення розплаву однополярним імпульсним електричним струмом на механічні характеристики сплаву АК5М2 (межу міцності - σ , МПа; відносне подовження - σ , %; твердість НВ) у залежності від частоти імпульсів (ν), при щільності електричного струму 7 A/cm^2 .

Оптимальний діапазон використання частоти імпульсів визначається наступними чинниками: низька частота (менше 100 Гц) не забезпечує достатній електромасоперенос і перерозподіл атомів хімічних елементів між мікрогрупуваннями; при високій частоті імпульсів (більше 5000 Гц) електричний струм переміщується по поверхні потоку розплаву, не охоплюючи весь його об'єм. Глибина проникнення високочастотного струму в товщу розплаву тим менша, чим вище його частота. Тому при збільшенні частоти імпульсів понад 5000 Гц, з одного боку, зменшується кількість обробленого рідкого металу, з іншого - відбувається значне підвищення локальної щільності електричного струму, внаслідок чого при кристалізації формується структура, характерна для сплаву в початковому стані, з аналогічним рівнем механічних властивостей, що демонструється даними, наведеними на графіку (фіг. 2).

Реалізацію способу виробництва ливарних сплавів на основі алюмінію розглянемо на прикладі доевтектичного промислового силуміну АК5М2, що виготовляється з брухту та відходів. Після оброблення розплаву промислового силуміну АК5М2 відбуваються значні зміни у процесі структуроутворення (фіг. 3). Насамперед, це стосується залізовмісних інтерметалідів, що утворюються при високих температурах. Так, за даними рентгеноструктурного і металографічного аналізу при деяких режимах оброблення розплаву електричним струмом (щільність електричного струму - j ; частота імпульсів - ν) на зразках після твердіння голчата фаза $\beta\text{-FeSiAl}_5$ майже відсутня.

Результати кількісного металографічного аналізу (фіг. 4) свідчать, що найбільша об'ємна частка розгалуженого інтерметаліду $\alpha\text{-(FeMn)}_3\text{Si}_2\text{Al}_{15}$, який являє собою твердий розчин марганцю на основі фази $\alpha\text{-Fe}_2\text{SiAl}_8$, спостерігається при обробленні розплаву електричним струмом при частотах 100-5000 Гц, при варіюванні щільністю струму в широких межах від 7 до 20 A/cm^2 .

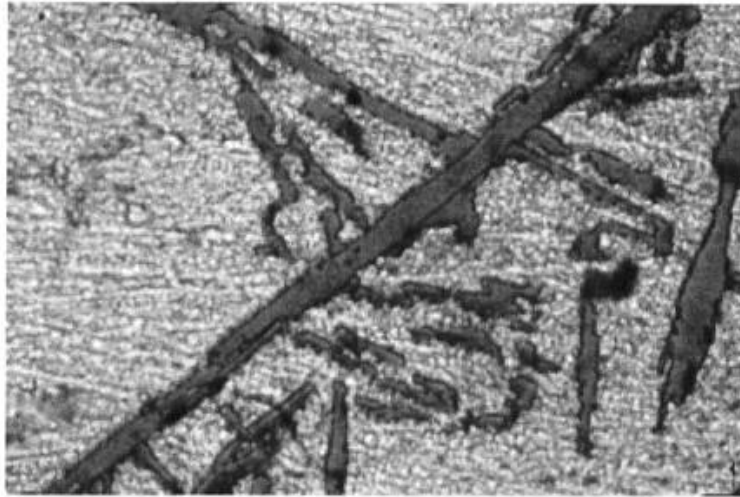
Структурні зміни супроводжуються підвищенням механічних властивостей. При нижньому значенні щільності електричного струму ($j=7 \text{ A/cm}^2$) максимальні значення механічних характеристик набувають при частоті імпульсів від 100 до 5000 Гц (фіг. 5).

Структура і властивості вторинного сплаву АК5М2, що отримані при оптимальних режимах оброблення розплаву однополярним імпульсним електричним струмом, має усі ознаки, характерні для сплаву АК6М2, який виготовляється з первинних матеріалів. Це дозволяє розширити сфери застосування сплавів, що виробляються з брухту та відходів (АК5М2, АК7) і використовувати їх замість первинних сплавів (АК6М2, АК7ч).

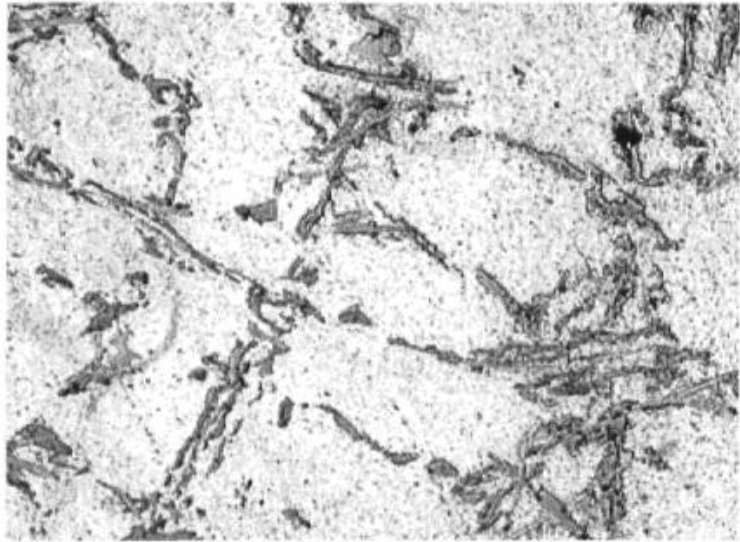
Таким чином, спосіб, що заявляється, дозволяє одержати новий технічний результат, виражений у підвищенні ефективності нейтралізації шкідливого впливу заліза при економії алюмінію, легуючих компонентів, зменшенні витрат електроенергії.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб виробництва силумінів, що містить виплавку силікоалюмінію, у тому числі з лому і відходів, корегування хімічного складу розплаву алюмінієм і легуючими елементами, модифікування розплаву флюсом, оброблення розплаву силуміну електричним струмом при переміщенні його по жолобу в процесі розливання, який **відрізняється** тим, що оброблення розплаву здійснюється однополярним імпульсним електричним струмом із частотою імпульсів від 100 до 5000 Гц і щільністю струму від 7 до 20 A/cm^2 .

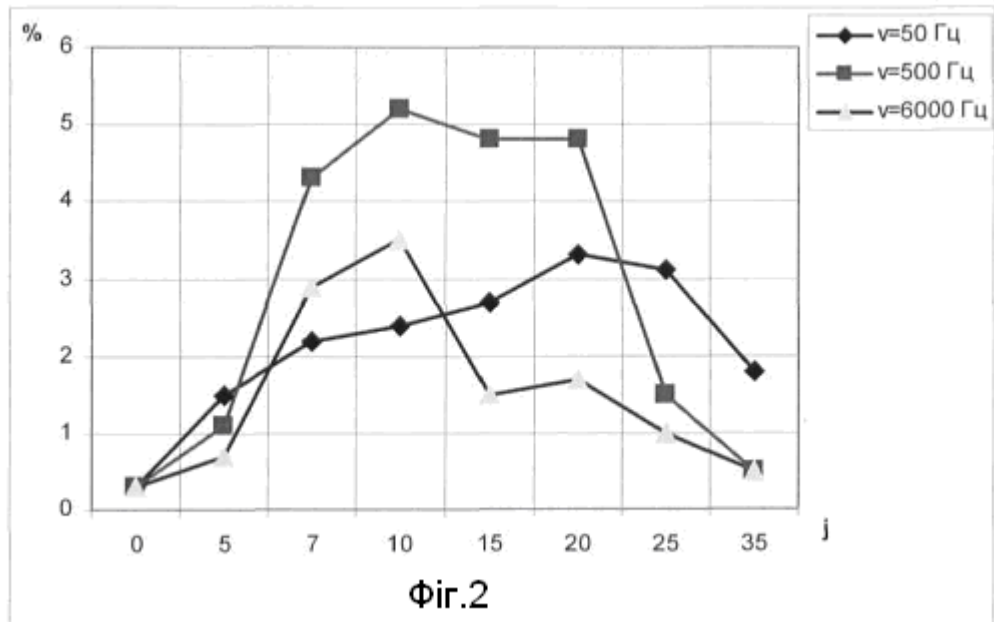


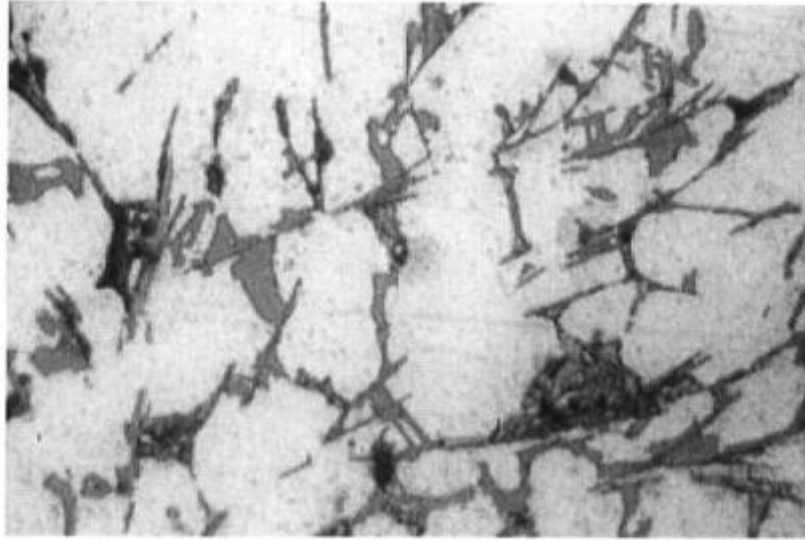
a



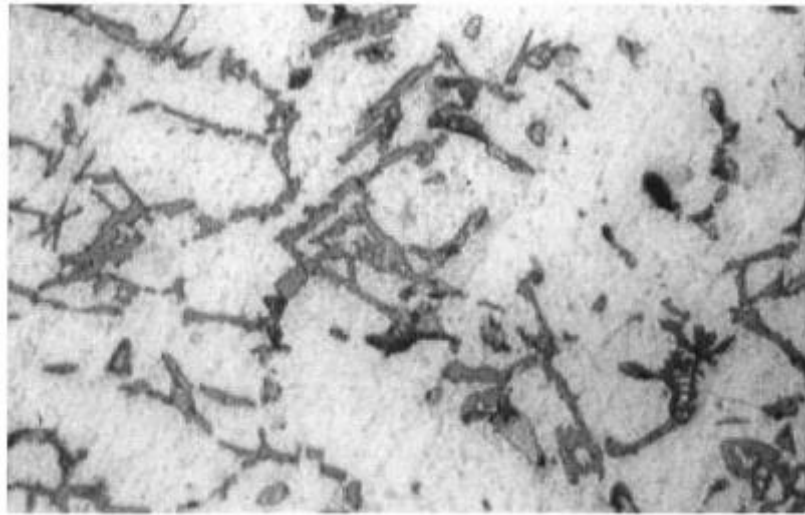
б
Фиг.1

$\nu=50$ $\Gamma_{\text{ц}}$	$\nu=500$ $\Gamma_{\text{ц}}$	$\nu=6000$ $\Gamma_{\text{ц}}$	j , A/cm^2
0,3	0,3	0,3	0
1,5	1,1	0,7	5
2,2	4,3	2,9	7
2,4	5,2	3,5	10
2,7	4,8	1,5	15
3,3	4,8	1,7	20
3,1	1,5	1	25
1,8	0,5	0,5	35



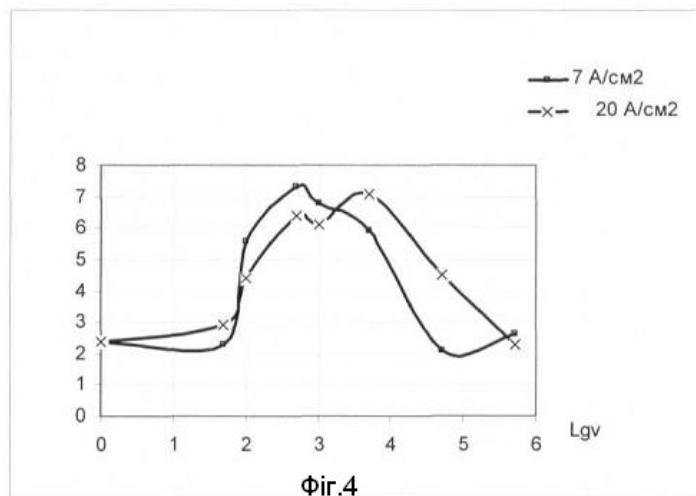


a

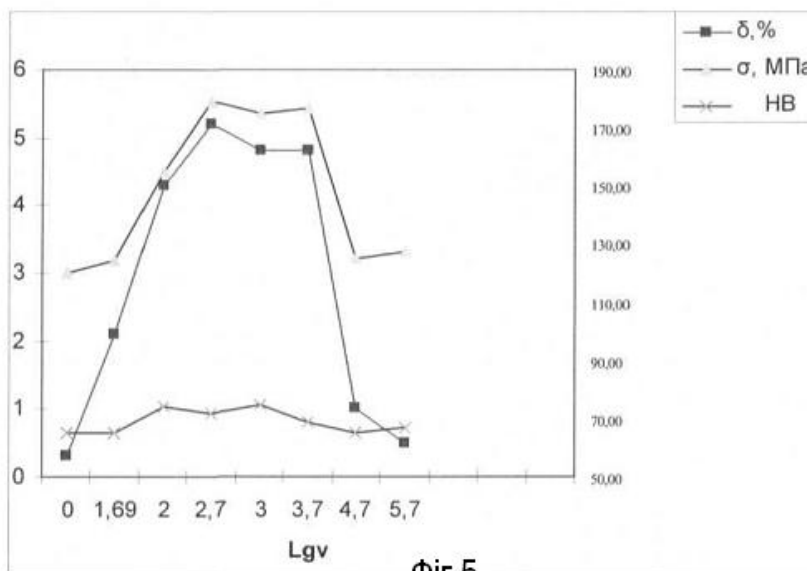


6
Fig.3

7A/cm2	20A/cm2	Lgv	v, Гц
2,40	2,40	0	0
2,30	2,90	1,69	50,00
5,60	4,40	2	100,00
7,30	6,40	2,7	500,00
6,80	6,10	3	1000,00
5,90	7,10	3,7	5000,00
2,10	4,50	4,7	50000,00
2,60	2,30	5,7	500000,00



$\delta, \%$	$\sigma, \text{МПа}$	HB	L_{gv}	$\nu, \text{Гц}$
0,3	120,00	65,00	0	
2,1	124,00	65,00	1,69	50,00
4,3	155,00	74,00	2	100,00
5,2	179,00	72,00	2,7	500,00
4,8	175,00	75,00	3	1000,00
4,8	177,00	69,00	3,7	5000,00
1	125,00	65,00	4,7	50000,00
0,5	127,00	67,00	5,7	500000,00



Фіг.5

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601