



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **108129** (13) **C2**  
(51) МПК (2015.01)**C21D 5/00****C21D 9/38** (2006.01)**C22C 37/06** (2006.01)**C22C 38/56** (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД****(21)** Номер заявки: **а 2013 06201****(22)** Дата подання заявки: **20.05.2013****(24)** Дата, з якої є чинними  
права на винахід: **25.03.2015****(41)** Публікація відомостей  
про заявку: **25.11.2013, Бюл.№ 22****(46)** Публікація відомостей  
про видачу патенту: **25.03.2015, Бюл.№ 6****(72)** Винахідник(и):  
**Єфременко Василь Георгійович (UA),**  
**Чабак Юлія Геннадіївна (UA),**  
**Козаревська Тетяна Василівна (UA),**  
**Єфременко Богдан Васильович (UA)****(73)** Власник(и):  
**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ**  
**ЗАКЛАД "ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ**  
**ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ",**  
вул. Університетська, 7, м. Маріуполь,  
Донецька обл., 87500 (UA)**(56)** Перелік документів, взятих до уваги  
експертизою:  
SU 1 413 145 A1, 30.07.1988  
UA 90 822 C2, 25.05.2010  
UA a201212477, 25.04.2013  
RU 2 113 495 C1, 20.08.1998  
RU 2 412 272 C2, 27.06.2006  
RO 97 870 B1, 30.01.1990  
CN 101905184 A, 08.12.2010  
JP 55-158873 A, 10.12.1980  
US 4 395 284 A, 26.07.1983  
Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны.  
Структура и свойства. – М.: Металлургия,  
1983. – С. 128-145, 150-157  
Жуков А.А., Сильман Г.И., Фрольцов М.С.  
Износостойкие отливки из комплексно-  
легированных белых чугунов. – М.:  
Машиностроение, 1984. – С. 38-59, 76-79**(54) СПОСІБ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ВІДЛИВКІВ З ВИСОКОХРОМИСТОГО КОМПЛЕКСНО-ЛЕГОВАНОГО ЧАВУНУ****(57)** Реферат:

Винахід належить до галузі металургії та машинобудування, зокрема до способу термічної обробки відливок з комплексно-легованих високохромистих чавунів з 12-25 мас.% Cr, які додатково вміщують 3-6 мас.% Mn, або не менше 2 мас.% Mn при введенні комплексу елементів Ni-Mo-Cu до 1 мас.% кожного. Спосіб включає нагрів, витримку та охолодження, при цьому нагрів виконують до температури  $t_1 \pm 25$  °C з витримкою впродовж 2-3 год., після чого виконують охолодження на спокійному повітрі до температури не вище 100 °C і додатково проводять відпуск у кілька етапів: на першому - при температурі  $t_2 \pm 25$  °C впродовж 1-3 год.,

далі - при температурі  $A_{c1}'' - (20 - 50)$  °C тривалістю до 15 год., де: $t_1$  - температура максимальної швидкості виділення вторинних карбідів з аустеніту,

UA 108129 C2

$t_2$  - температура максимальної швидкості розпаду залишкового аустеніту,

$A_{c1}^H$  - нижня межа температурного інтервалу критичної точки  $A_{c1}$  чавуну).

Крім того, відпуск на другій стадії може проводитися у вигляді 3-4 циклів, кожний з яких складається з нагріву до температури ( $A_{c1}^H - (20 - 50) ^\circ\text{C}$ ), витримки впродовж 1-1,5 год. і охолодження на  $90-150 ^\circ\text{C}$  зі швидкістю  $100-180 ^\circ\text{C/год}$ . Винахід забезпечує зниження твердості в межах 36-38 HRC за відсутності в структурі аустеніту, підвищення оброблюваності відливок різанням, скорочення тривалості процесу термообробки.

Винахід належить до галузі металургії та машинобудування, зокрема до способу термічної обробки відливок із високохромистого комплексно-легованого чавуну із 12-25 мас. % Cr, який додатково вміщує 3-6 мас. % Mn, або не менше 2 мас. % Mn при введенні комплексу елементів Ni-Mo-Cu (до 1 мас. % кожного).

Білі високохромисті чавуни використовують як ливарний матеріал для отримання виробів, які експлуатуються в умовах інтенсивного абразивного, корозійно-абразивного, ерозійного та інших видів зношування. Частина таких виробів, як правило деталей машин (валків, роликів, імперелерів, коліс тощо), не може бути використана в литому стані, вони потребують механічної обробки. Оскільки високохромисті чавуни мають в своїй структурі велику кількість твердої карбідної фази, вони належать до матеріалів з низькою оброблюваністю різанням. Для покращення цієї характеристики до виробів за названого класу сплавів застосовують попередню пом'якшувальну термічну обробку.

Відомий спосіб такої обробки, описаний в патенті США № 4395284, МПК C22C 38/56. Згідно з цим патентом, для чавуну, що вміщує 2,5-3,5 мас. % C, 0,5-1,0 мас. % Mn, 0,25-1,5 мас. % Si, 13-19 мас. % Cr, 0,8-3,0 мас. % Ni, застосовують пом'якшувальну обробку, яка полягає у відпалі при температурі 925-955 °C з наступним охолодженням зі швидкістю в межах 100-350 °C/год.

Недоліком цього методу є те, що він не гарантує зниження твердості чавуну до рівня не вище 40 HRC, а тому не забезпечує потрібної швидкості різання. Крім того, він не враховує можливість підвищення вмісту марганцю в чавуні для підвищення прогартуваності та заміни дефіцитного нікелю. Існує цілий ряд високохромистих чавунів з 12-25 % Cr, які додатково леговані 3-6 % Mn. Ці чавуни належать до сплавів, які можна загартувати охолодженням на повітрі (замість масла або його замінників), що зменшує напруги у відливках та знижує вірогідність розтріскування в процесі зміцнювальної термічної обробки. Втім, наявність 3-6 % марганцю суттєво стабілізує аустеніт до перлітного перетворення, а тому при відпалі в структурі чавуну залишається значна кількість аустеніту. Частково аустеніт перетворюється у мартенсит при охолодженні до температури  $M_n$ , частково - при механічній обробці. І в тому, і в іншому випадках це призводить до підвищення твердості поверхні чавунних виробів, що різко знижує їх здатність до механічної обробки. При легуванні високохромистих чавунів комплексом Mn-Ni, Mn-Mo, Mn-Mo-Cu (до 1 % кожного) досягається ще більша стабілізація аустеніту, а тому оброблюваність різанням таких чавунів знижується більшою мірою.

Для покращення оброблюваності різанням хромо-марганцевих чавунів із вмістом 12-25 мас. % Cr у [1] рекомендується проводити відпал при 860-880 °C (3 год.) та охолоджувати зі швидкістю не вище 40 °C/год. При такому режимі прийнятна швидкість різання досягається лише при вмісті марганцю не вище 2 мас. %; при більшій концентрації марганцю різко зростає кількість аустеніту у структурі, і швидкість різання чавунів знижується у кілька разів.

Найбільш близьким до пропонованого є спосіб, описаний у [1]. З метою зменшення кількості аустеніту у структурі Cr-Mn чавунів, які підлягають механічній обробці, запропоновано спосіб термічної обробки, який складається з нагріву при температурі вище критичної точки  $A_{c1}$  після чого виконується витримка: перша - при температурі мінімальної стійкості аустеніту, друга - при температурі на 20-50 °C нижче точки  $A_{c1}$ , із завершальним охолодженням з пічкою до температури 300 °C, далі - на повітрі. Однак, цей спосіб потребує дуже великої у часі витримки при температурах в інтервалі "носу" C-діаграми розпаду аустеніту. Авторами патенту, який заявляється, встановлено, що високотемпературний нагрів легованих чавунів систем Cr-Mn, Cr-Mn-Ni, Cr-Mn-Mo, Cr-Mn-Mo-Cu супроводжується проявом ефекту гальмування перлітного перетворення аустеніту при температурах нижче критичної точки  $A_{c1}$ . Це пов'язано з виділенням вторинних карбідів з аустеніту, що змінює хімічний склад гамма-фази та призводить до появи залишкових напруг, що у комплексі стабілізує аустеніт до перлітного перетворення. У зв'язку з цим для повного перетворення стабілізованого аустеніту витримка при температурі його мінімальної стійкості повинна становити десятки годин, що різко підвищує собівартість термічної обробки. Якщо витримка не перевищуватиме 10 год., як це рекомендується в [1], твердість чавуну становитиме не нижче 45 HRC, а, крім того, в структурі залишиться в значній кількості аустеніт, що в комплексі не забезпечить потрібної швидкості оброблення різанням.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалити спосіб термічної обробки відливок із високохромистого комплексно-легованого чавуну, в якому зміна режиму термообробки дозволить підвищити оброблюваність чавуну різанням за рахунок зниження його твердості та зменшення кількості аустеніту, а також дозволить скоротити тривалість процесу термообробки і знизити його собівартість.

Для рішення поставленої задачі в способі термічної обробки відливок із високохромистого комплексно-легованого чавуну, який включає нагрів, витримку та охолодження, у відповідності з винаходом нагрів виконують до температури  $t_1 \pm 25$  °C з витримкою впродовж 2-3 год., потім

проводять охолодження на спокійному повітрі до температури не вище 100 °С і додатково проводять відпуск у кілька етапів: на першому - при температурі  $t_2 \pm 25$  °С впродовж 1-3 год., далі - при температурі  $A_{c1}^H - (20 - 50)$  °С тривалістю до 15 год., де:

$t_1$  - температура максимальної швидкості виділення вторинних карбідів з аустеніту,

5  $t_2$  - температура максимальної швидкості розпаду залишкового аустеніту,

$A_{c1}^H$  - нижня межа температурного інтервалу критичної точки  $A_{c1}$  чавуну.

При цьому другий етап відпуску проводять у вигляді 3-4 циклів, кожен з яких складається з

нагріву до температури  $A_{c1}^H - (20 - 50)$  °С, витримки впродовж 1-1,5 год. і охолодження на 90-150 °С зі швидкістю 100-180 °С/год.

10 У виноході, як пом'якшувальну обробку замість традиційного відпалу пропонується використовувати загартування з високим відпуском. При цьому завдання зменшення кількості аустеніту вирішується на стадії загартування за рахунок використання зсувного механізму перетворення замість дифузійного механізму, який зазвичай застосовується у традиційних способах. При високотемпературній витримці (яку ще називають дестабілізацією) з аустеніту у великій кількості виділяються вторинні карбіди хрому, внаслідок чого аустеніт суттєво збіднюється вуглецем і хромом і дестабілізується до мартенситного перетворення. При охолодженні на повітрі аустеніт більшою частиною перетворюється в мартенсит при досягненні точки  $M_n$ , а частково залишається у вигляді залишкового аустеніту. Таким чином, за досить короткий час обробки (2-3 год.) в структурі чавуну усувається значна кількість аустеніту. 20 Загартування з охолодженням на повітрі не призводить до короблення або розтріскування відливок, оскільки проводиться з невеликою швидкістю охолодження, яка, втім, при підвищеній кількості марганцю є достатньою для повного переохолодження аустеніту до мартенситного інтервалу температур. В процесі наступного високого відпуску йде розпад мартенситу з виділенням зернистих карбідів, тобто формується структура "ферит + зернисті карбіди", яка забезпечує максимальну оброблюваність різанням [2]. Впродовж перших двох годин процес виділення дисперсних карбідів з мартенситу в основному завершується, і при наступній витримці йде їх коагуляція, що супроводжується зменшенням мікротвердості металевої матриці. Оскільки після загартування в структурі чавуну присутній залишковий аустеніт, який знижує оброблюваність різанням, відпуск необхідно спочатку проводити при температурі мінімальної 30 стійкості залишкового аустеніту для його найскорішого розпаду. В подальшому температуру відпуску слід підвищити впритул до нижньої межі інтервалу критичної точки  $A_{c1}$ , щоб за рахунок активізації дифузійних процесів досягти максимально швидкої коагуляції карбідів, які виділилися при розпаді мартенситу та залишкового аустеніту.

Витримку на першій стадії термообробки слід проводити при температурі, яка є близькою до 35 температури ( $t_1$ ) максимальної швидкості виділення вторинних карбідів, оскільки саме це забезпечить зменшення часу витримки, необхідної для завершення процесу дестабілізації чавуну. Якщо витримка виконуватиметься при температурі, яка буде відрізнятися від температури  $t_1$  більш ніж на 25 °С, то вторинні карбіди не виділяться повною мірою, дестабілізація не буде досягнута, внаслідок чого по закінченні всієї термообробки в структурі 40 чавуну залишиться підвищена кількість залишкового аустеніту, який знизить оброблюваність різанням.

Витримка при високотемпературному нагріві повинна становити 2-3 год., що необхідно для максимально повного завершення процесу виділення вторинних карбідів. При витримці, меншій за 2 год., карбіди виділяться не повною мірою, а тому в чавуні залишиться підвищена об'ємна 45 доля залишкового аустеніту. У разі, якщо витримка перевищуватиме 3 год., буде спостерігатися укрупнення вторинних карбідів, що може негативно позначитися на експлуатаційній стійкості чавунних відливок.

Охолодження після аустенізації необхідно виконувати на спокійному повітрі. Така швидкість охолодження для комплексно-легованих чавунів фактично є вищою за критичну, тобто вона 50 забезпечить мартенситне перетворення без утворення продуктів немартенситного походження. Застосування охолодження зі швидкістю, більш високою за охолодження на спокійному повітрі (наприклад, в маслі), може призвести до виникнення високих напруг, які призведуть до розтріскування відливок. Охолодження на цій стадії слід проводити до температури не вище 100 °С. При більш високій температурі завершення охолодження в структурі залишається 55 підвищена кількість аустеніту, який значно стабілізується і не повністю розпадається під час відпуску.

Перша стадія відпуску передбачає розпад залишкового аустеніту. Для пришвидшення цього процесу температура витримки на першій стадії не повинна відрізнятися від температури мінімальної стійкості залишкового аустеніту до розпаду ( $t_2$ ) більше ніж на 25 °С. У зворотному випадку розпад залишкового аустеніту буде йти дуже повільно, що викличе збільшення його кількості в структурі і знизить оброблюваність різанням.

Витримка на першій стадії відпуску має становити 1-3 год., що є необхідною умовою для завершення розпаду залишкового аустеніту. Якщо витримка становитиме менше 1 год., розпад не завершиться повністю, і оброблюваність різанням знизиться за рахунок підвищення кількості аустеніту. Витримка більша за 3 год. є неефективною, оскільки вона не дає відчутного зниження твердості за рахунок коагуляції та сфероїдизації карбідів, при цьому зростуть енерговитрати на термічну обробку.

Паралельно з розпадом аустеніту на першій стадії відпуску йде розпад мартенситу. Для інтенсифікації цього процесу і подальшої коагуляції карбідів по завершенні першої стадії виконується друга стадія відпуску, для якої вибирається більш висока температура, яка на 20-50 °С нижче нижньої межі температурного інтервалу критичної точки  $A_{c1}$ . Якщо другу стадію виконувати при температурі, більш високій за заявлений інтервал, то пройде зворотне  $\alpha \rightarrow \gamma$  перетворення, що може призвести до утворення структур підвищеної твердості, внаслідок чого твердість чавуну по закінченні режиму зростає. У випадку, коли температура відпуску буде нижчою за вказаний інтервал, твердість знову ж таки підвищиться, оскільки процеси коагуляції та сфероїдизації карбідів пройдуть не повною мірою.

Витримка на другій стадії відпуску повинна становити до 15 год., це забезпечить отримання структури "ферит + зернисті карбіди" з максимальним ступенем коагуляції карбідів. Витримка, довша за 15 год., не є доцільною, оскільки це не забезпечить додаткового зниження твердості, натомість зростуть енерговитрати при проведенні термообробки.

Приклад реалізації запропонованого способу у відповідності до першого пункту формули. Зразки виплавленого в лабораторній індукційній пічці чавуну хімічного складу. 3,05 мас. % С, 0,85 мас. % Si, 14,50 мас. % Cr, 4,21 мас. % Mn розмірами 10×10×25 мм піддавали термічній обробці в муфельній електропечі в атмосфері повітря. Після аустенізації зразки охолоджували на спокійному повітрі до кімнатної температури, після чого виконували відпуск. Режими термообробки наведено в табл. 1. Зразки цього ж чавуну піддавали термічній обробці за відомим режимом: аустенізація при 950 °С (2 год.), витримка при 600 °С (10 год.), підйом до 720 °С з витримкою 6 год. На завершальній стадії всіх режимів зразки охолоджували разом з піччю до 300 °С, далі - на повітрі.

На термооброблених зразках заміряли твердість (по методу Роквелла, шкала С), а також визначали кількість залишкового аустеніту рентгеноструктурним методом (на дифрактометрі ДРОН-2 у випромінненні заліза). Результати вимірювань наведені у таблиці 1. Попередньо проведеними дослідженнями було встановлено, що максимальна швидкість виділення вторинних карбідів з литого аустеніту даного чавуну відповідає 950 °С, а максимальна швидкість розпаду залишкового аустеніту відповідає 650 °С. Нижня температурна межа критичної точки  $A_{c1}$  чавуну становить 755 °С, верхня - 820 °С.

Результати, наведені в таблиці 1, показують, що коли параметри режиму знаходяться в межах, що заявляються (режими №№ 1-3), то досягається мінімальна твердість (36-38 HRC) при повній відсутності залишкового аустеніту. Якщо параметри лежать поза заявлених меж, то це призводить до підвищення твердості до 42-45 HRC та до появи аустеніту в структурі, що може негативно позначити на оброблюваності чавунів різанням. При реалізації відомого режиму чавун має високу твердість (57 HRC) і багато аустеніту в структурі, що є неприйнятним з точки зору механічної обробки відливків.

Таблиця 1

Режими термообробки та результати випробувань зразків чавуну

№ режиму	Аустенізація		Охолодження на повітрі до	Перша стадія відпуску		Друга стадія відпуску		Твердість, HRC	Кількість аустеніту, %
	т-ра, °С	витримка, год.		т-ра, °С	витримка, год.	т-ра, °С	витримка, год.		
1	930	2,1	65	635	1,5	705	12	38	0
2	974	2,8	40	670	2	727	13	36	0
3	950	2,5	50	650	1,7	715	14	37	0
4	910	1,7	150	590	1,2	690	11	45	15,8
5	975	3,5	200	680	2,3	745	18	42	21,2
Відомий	950	2,0	-	-	-	-	-	57	35,0

Втім, заявлений режим термообробки попри забезпечення необхідного рівня пом'якшення чавуну, має підвищену тривалість (за рахунок довгої витримки на другій стадії відпуску). Для зменшення тривалості відпуску та зменшення енерговитрат на термообробку пропонується на другій стадії відпуску, замість ізотермічної витримки, застосувати циклічний нагрів до

5 температури ( $A_{c1}^H - (20 - 50)^\circ\text{C}$ ) з витримкою при цій температурі 1-1,5 год. і охолодженням на  $90-150^\circ\text{C}$  зі швидкістю  $100-180^\circ\text{C/год}$ . Відомо, що термоциклічна обробка (ТЦО) прискорює дифузійні процеси (до яких належить коагуляція карбідів) за рахунок утворення додаткової кількості дефектів кристалічної ґратки. Застосування ТЦО особливо ефективно у білих чавунах, оскільки карбіди і матриця мають різний коефіцієнт термічного подовження, що при нагріві та

10 охолодженні призводить до більш активної деформації матриці, тобто ініціює утворення нових дефектів у вигляді крайових дислокацій та вакансій. Таким чином, скорочення тривалості режиму можна досягти прискоренням коагуляції та сфероїдизації карбідних часток за рахунок застосування ТЦО.

15 Авторами заявки встановлено, що необхідно застосовувати три-чотири цикли ТЦО. При меншій кількості циклів не досягається необхідний ступінь коагуляції карбідів, що призводить до підвищення твердості чавуну. При більшій кількості циклів не відбувається додаткового суттєвого зменшення твердості, натомість зростає тривалість режиму.

Витримка при температурі нагріву циклу, яка необхідна для коагуляції та сфероїдизації карбідів, повинна становити 1-1,5 год. При меншій витримці карбіди залишаються досить дисперсними, що збільшує твердість. Більші витримки викликають зменшення кількості дефектів кристалічної ґратки за рахунок рекристалізації, тобто знижується ефект стимулювання коагуляції за рахунок ТЦО (це також сприяє підвищенню твердості чавуну).

20 Перепад температур у циклі повинен бути в межах  $90-150^\circ\text{C}$ . Якщо він становить менше  $90^\circ\text{C}$ , недостатньо стимулюються дифузійні процеси (тобто коагуляція карбідів), що не дозволяє зменшити твердість до потрібного рівня. При збільшенні інтервалу температур вище  $150^\circ\text{C}$  не відбувається суттєвого зниження твердості, натомість зростає тривалість режиму та у відливках з'являються залишкові напруги, що негативно впливає на їх експлуатаційну стійкість.

Швидкість охолодження після витримки (на заключному етапі циклу) слід підтримувати в межах  $100-180^\circ\text{C/год}$ . При швидкості, меншій за заявлену, не досягається ефект стимулювання дифузії при ТЦО, крім того, збільшується тривалість циклу. Якщо швидкість перевищує  $180^\circ\text{C}$ , то це може призвести до виникнення напруг й розтріскування відливок.

30 Приклад здійснення запропонованого способу у відповідності до двох пунктів формули (1+2).

35 При проведенні термообробки зразки чавуну аналогічного хімічного складу (див. приклад 1) піддавали нагріву (аустенізації) при  $950^\circ\text{C}$  з витримкою 2 год.; на першій стадії відпуску їх витримували 2 год. при  $650^\circ\text{C}$ , потім реалізували другу стадію відпуску за режимами, наведеними в табл. 2. Після реалізації нової схеми високого відпуску на зразках контролювали твердість та фіксували загальну тривалість відпуску. При ТЦО нагрів виконували за потужністю печі, охолодження проводили разом з піччю після її відключення. Результати дослідження наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Режими термообробки та результати випробувань зразків чавуну

№ режиму	Кількість циклів	Температура нагріву, $^\circ\text{C}$	Тривалість витримки, год.	Інтервал зниження температури, $^\circ\text{C}$	Швидкість охолодження, $^\circ\text{C/год}$ .	Твердість, HRC	Тривалість відпуску, год.
1	3	710	1	95	110	37,5	9,1
2	4	730	1,5	140	170	37	13,6
3	3	720	1,3	110	132	36,5	9,9
4	2	690	0,5	80	85	44	6,0
5	5	745	2,5	135	190	37	21,0
режим № 3 за п. 1	-	-	-	-	-	37	18,2

45 З результатів таблиці видно, що реалізація заявлених меж параметрів дозволяє скоротити тривалість відпуску з 18,2 до 9,1-13,6 год., тобто на 25-50 % при забезпеченні аналогічного низького рівня твердості (36,5-37,5 HRC). Якщо параметри режиму є нижчими за заявлені межі, то твердість зростає до 44 HRC, що негативно впливатиме на оброблюваність різанням. У

випадку перевищення заявлених меж тривалість відпуску стає більшою, аніж у режимі № 3 з таблиці 1, тобто не досягається поставлена мета скорочення тривалості режиму.

Джерела, прийняті до уваги при складанні заявки:

1. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства. - М: Металлургия, 1983. – С.129-156.
2. Долженков И.Е., Долженков И.И... Сфероидизация карбидов в стали. - М: Металлургия, 1984. – С.58-77.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб термічної обробки відливоків з високохромистого комплексно-легованого чавуну, що включає нагрів, витримку та охолодження, який **відрізняється** тим, що нагрів виконують до температури  $t_1 \pm 25$  °С з витримкою впродовж 2-3 год., потім проводять охолодження на спокійному повітрі до температури не вище 100 °С, і додатково проводять відпуск у кілька етапів: на першому - при температурі  $t_2 \pm 25$  °С впродовж 1-3 год., далі - при температурі  $A_{c1}^H - (20 - 50)$  °С тривалістю до 15 год., де:  
 $t_1$  - температура максимальної швидкості виділення вторинних карбідів з аустеніту,  
 $t_2$  - температура максимальної швидкості розпаду залишкового аустеніту,  
 $A_{c1}^H$  - нижня межа температурного інтервалу критичної точки  $A_{c1}$  чавуну.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що відпуск на другому етапі проводять у вигляді 3-4 циклів, кожний з яких складається з нагріву до температури  $A_{c1}^H - (20 - 50)$  °С, витримки впродовж 1-1,5 год. і охолодження на 90-150 °С зі швидкістю 100-180 °С/год.

---

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

---

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