

Міністерство освіти України

Державна металургійна академія України

На правах рукопису

Пирогова Ольга Віталіївна

**ВПЛИВ ЛЕГУЮЧИХ ДОБАВОК НА ДЕФОРМІВНІСТЬ ЛЕДБУРИТУ ТА
ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІЛИХ
ДЕФОРМОВАНИХ ЧАВУНІВ**

Спеціальність 05.16.01.

"Металознавство та термічна обробка металів"

Авторсферат

дисертації на здобуття вченого
ступеню кандидата технічних наук

Дніпропетровськ

1995

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00761618 (Т)

Робота виконана в Д

Науковий керівник - академік НАН України
Таран Юрій Миколаєвич

Офіційні опоненти: професор, доктор технічних наук
Воробйов Геннадій Михайлович

кандидат фізико-математичних наук
Лючков Анатолій Дем'янович

Головне підприємство: ВАТ "Електрометалургійний завод
Дніпроспецсталь"

Захист відбудеться 26 12 1995 р. в 12³⁰ години на
засіданні спеціалізованої Ради Д031101 при Державній металургійній
академії України за адресою 320635, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотечі Державної мета-
лургійної академії України.

Автореферат розісланий 23 11 1995 г.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Вчений секретар Ради
професор,
доктор технічних наук

М.М. Сафьян

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Зараз велику увагу приділяють розв'язанню матеріалознавських задач, які спрямовані на розробку нових матеріалів і технології їх виробництва. Деформовані білі чавуни, особливо чавуни з пластичністю, наведеною карбідним перетворенням (ПНКП-чавуни), які розроблені Дніпропетровською школою металознавців, являють собою приклад матеріалів з наперед заданим комплексом властивостей. Можливість гарячої деформації чавунів, сполучена з отриманням виробів високої твердості, зносостійкості, міцності та підвищеної пластичності, дозволяє розглядати білий чавун як перспективний конструкційний і інструментальний матеріал.

Проте здатність до деформування основної структурної складової білих чавунів - ледебуриту - залежно від легування вивчена недостатньо, а дані про вплив гарячої деформації на властивості чавунів після фінішної термічної обробки відсутні.

Ціль роботи. Дослідження впливу легуючих домішок на деформівність ледебуриту та підвищення експлуатаційних властивостей деформованих білих чавунів.

Для досягнення поставленої цілі слід розв'язати наступні завдання:

- встановити механізм знеміцнення білих чавунів під час гарячої пластичної деформації;
- вивчити процеси зміни структури ледебуриту білих чавунів, легованих карбидоутворюючими елементами, в ході гарячої деформації;
- вивчити характер змін властивостей і структури цементиту при гарячій деформації та вплив на них легуючих добавок;
- встановити роль аустеніту в карбідному перетворенні в ПНКП-чавунах;
- вивчити зміни структури і властивостей цементиту під час післядеформаційного нагрівання;
- розробити технологічну схему виробництва зносостійких виробів з деформованого білого ПНКП-чавуну.

Наукова новизна:

- Показано, що знеміцнення білих чавунів при гарячій деформації проходить за механізмом динамічної рекристалізації аустеніту;
- Вперше встановлено, що карбідне перетворення в цементиті, легovanому ванадієм, розвивається і без дифузійного обміну з аустенітом, усуває сталу

стадію на кривих гарячої деформації ПНКП-чавуну, активізує додаткову площину ковзання (111) в цементиті;

-Вперше виявлена текстура деформації в цементиті після гарячої прокатки, встановлений тип текстури, показаний вплив легування на процеси утворення текстури;

-Доведена реалізація множеного ковзання в цементиті та показаний кристалографічний зв'язок між площинами ковзання аустеніту і цементиту при гарячій деформації чавунів;

-Показано, що гарячедеформований легований цементит зберігає дефектність, достатню для розвитку в ньому процесів статичної рекристалізації при післядеформаційному відпалі;

-Розроблена та випробувана дослідно-промислова технологія виробництва деформуючого інструменту з ПНКП-чавуну.

Практична цінність роботи. На основі експериментальних даних про вплив послідовних процесів гарячої деформації та післядеформаційних нагрівів і виявлену значну термічну стійкість дефектів кристалічної будови в цементиті розроблена та випробувана в дослідно-промислових умовах технологія виробництва деформуючих роликів для розкатки електроіскрового вкриття на поверхні трубних виробів. Економічна ефективність від заміни роликів з сплаву ВК6 роликками з ванадійового ПНКП-чавуну за рахунок економії легуючих елементів складає 7435 \$/т (розрахунок виконано за срітовими цінами 1994 р.).

Апробація роботи і публікації. Матеріали дисертації доповідалися та обговорювалися на научному семінарі "Строение и механические свойства металлических материалов" (Ленінград, 1990 р.), VI Всесоюзній конференції "Текстуры и рекристаллизация в металлах и сплавах" (Свердловск, 1991 г.), Міжнародній конференції "Materials Week' 93" (USA, Pittsburg, 1993), науково-технічному семінарі "Термомеханическая обработка металлических материалов" (Москва, 1994 г.).

Основний зміст роботи опубліковано в 7 друкованих роботах.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, 4 глав, висновків, списку літератури (148 назв) та додатків; викладена на 144 сторінках машинописного тексту, містить 47 ілюстрацій, 4 таблиці

КОРОТКИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обґрунтовані актуальність роботи, її ціль, викладена наукова новизна та основні положення, які виникатимуть на захист.

В другій главі проведений аналіз літератури, що присвячена предметові дослідження, на основі чого сформульовані задачі роботи.

В третій главі викладена методика досліджень і розглянуті вивчені матеріали, склад яких наведений в табл. 1

Таблиця 1

Хімічний склад дослідних чавунів

N, п/п	Вміст елементів, % мас						
	C	Cr	V	Mn	Si	S	P
1	2,96	6,76	-	0,35	0,40	0,034	0,052
2	2,70	3,10	-	0,45	0,40	0,035	0,050
3	2,90	0,73	0,43	0,16	0,42	0,032	0,050
4	2,88	0,48	1,23	0,14	0,54	0,034	0,05
5	2,96	0,57	2,60	0,14	0,54	0,034	0,054
6	2,92	0,52	-	0,14	0,54	0,029	0,054

Гарячу пластичність і деформаційну поведінку чавунів оцінювали при гарячому крутінні, швидкість деформації складала $3 \cdot 10^{-2} \text{с}^{-1}$. Перерахунок діаграм гарячого крутіння в дійсні координати $\sigma - \varepsilon$ проведений на ПЕОМ ДВК-3 з наступним оформленням з допомогою пакету научної графіки "2DSCI". Вплив гарячої пластичної деформації на структурні зміни в ледебуриті досліджували на заготовках, прокатаних з обтиском 17+65%, на стані ДУО-300 з приблизно однаковою швидкістю $28 \pm 2 \text{с}^{-1}$. Її постійність забезпечувалась зміною швидкості обертання валків при зміні обтиску. Температура деформації складала 1050°C. Частина зразків після виходу з кліті гартували в воді.

Мікроструктурний аналіз проведений на оптичних мікроскопах "VERTIVAL" і "АХІОМАТ". Мікроструктуру виявляли тепловим, хімічним та електрохімічним травленням. Евтектичний цементит екстрагувати анодним розчиненням зразків в 5% водному розчині HCl. Об'єкти з екстрагованого цементиту для світлової мікроскопії та рентгеноспектрального мікроаналізу готували за розробленою оригінальною методикою, яка полягала в змішуванні у визначених пропорціях карбідного осадку, порішки Al_2O_3 і

рідкого скла з наступним нагріванням об'єкту до 300-400 °С. Термостійкий матеріал зв'язки дозволяв використовувати теплове травління і не розкладався під електронним зондом при дослідженнях на рентгенівських мікроаналізаторах MS-46 і Camebax фірми "Сітеса".

Рентгеноструктурний аналіз проводили на дифрактометрі ДРОН 3,0 УМ в Fe-K α випромінюванні з фокусуванням за Брэггом-Брентано. Зйомку дебаєграм - на установці УРС-60 в камері РКД в Co-K α випромінюванні. Текстурування в ситектичних карбідах при різних обробках чавунів вивчали з допомогою побудови зворотних полюсних фігур. Полюсні густини розраховували, використовуючи нормування Вільсона.

Мікротвердість зтектичного цементиту за Вікерсом вимірювали з допомогою спеціальної приставки "mhp-160" до оптичного мікроскопу "VERTVAL". Топографію поверхні часток карбідного осадку і мікроструктуру зразків досліджували на растровому електронному мікроскопі JSM-35 фірми "JEOL".

Результати кількісних вимірів обробляли статистично та оформлювали графічно на ЕОМ IBM 486DX з допомогою програм "Excel 4.0" і "Page Maker 4.0".

В четвертій главі розглянутий вплив гарячої пластичної деформації та післядеформаційного нагріву на структуру і властивості білих чавунів.

Особливості гарячої пластичної деформації ПНКП-чавуну.

Проаналізовані температурні залежності основних параметрів гарячої деформації σ_{\max} , ϵ_{\max} , $\Delta\sigma$, $\epsilon_{\text{уг}}$ в інтервалі 950+1050 °С. Криві високо-температурного крутіння нелегованого (сплав N6 табл.1) і ванадійового ПНКП-чавуну (сплав N4 табл.1) мають як спільні, так і відмінні риси.

Гаряча деформація чавунів здійснюється в двофазному стані ($\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$), коли доля твердої і крихкої фази складає 25-30%. Тому досліджувані об'єкти підпадають під правило сумішей, згідно з яким при невпорядкованому розподілі твердої фази, м'яка фаза - аустеніт, деформується більше, ніж тверда. У вивчених дозвектичних відпалених чавунах безперервна сітка цементиту навколо дендритів первинного аустеніту не виявлена, що дозволяє говорити про відсутність відсутності пластичних деформацій в ледебуритному цементиті при деформаціях 0.09-0.145, які відповідають σ_{\max} . Відтак, падіння напр. і після σ_{\max} пов'язане зі зменшенням аустеніту. Присутність значної кількості цементиту призводить до того, що при рівних деформаціях в чавунах густина дислокацій в аустеніті значно вища, ніж в сталях.

Тому в чавунах проходить інтенсивний розвиток процесів зміщення і спостережувані величини ϵ_{\max} в 2-3 рази менші, ніж в сталях при співставлених температурно-швидкісних умовах деформування.

Рівень σ_{\max} і напруги течії в ПНКП-чавуні завжди вищий, ніж в нелегованому. Порівняння високотемпературних границь текучості сталей, хімічний склад яких адекватний складові аустеніту досліджуваних чавунів, показало, що зміщення ПНКП-чавуну, в першу чергу, зумовлене легуванням цементиту. Загальний вигляд діаграм деформації білого чавуну відповідає закономірностям, які характерні для гарячої деформації сталей. При однакових об'ємній долі і розподілі карбідної фази на діаграмах ванадійового чавуну відсутня стала стадія. Такий ефект зумовлений карбідним перетворенням в цементиті: з $(\text{Fe}, \text{V})_3\text{C}$, що містить до 5%мас. ванадію, виділяються спецкарбіди VC. Визначну роль карбідного перетворення в постійному зміщенні ванадійового чавуну ілюструє аномальна залежність $\Delta\sigma$ від температури випробування. Якщо $\Delta\sigma$ нелегованого чавуну, як і сталей, плавно знижується з ростом температури, то ПНКП-чавуні залежність $\Delta\sigma$ від температури випробування має екстремум. Різкий зріст зміщення співпадає з оптимальним для карбідного перетворення температурним інтервалом.

Дослідження рекристалізації аустеніту при гарячій прокатці чавунів різного хімічного складу.

В зв'язку з відсутністю експериментальної можливості фіксації структури аустеніту гартуванням після гарячої деформації крупніням дослідження мікроструктури проведено після прокатки з обліском 17-65% за прохід і гартуванням зразків через 0.5 с після виходу з кліті. Систематизація даних про вплив швидкості деформації на ϵ_{\max} і порівняння дійсних деформацій при прокатці і крупнінні дозволили встановити, що всі досліджені деформації при прокатці перевищують ϵ_{\max} і формування структури аустеніту проходить під дією розвинутих процесів зміщення.

Після контрольної обробки з гартуванням в воді, яка повністю відтворює термообробку перед прокаткою, величина аустенітного зерна в досліджуваних чавунах коливається від 6.4 ± 0.5 мкм до 11.5 ± 0.8 мкм.

При всіх досліджених ступенях деформації в усіх чавунах формується структура, що складається з рівноосних зерен аустеніту. При малих ступенях деформації ($\leq 25\%$) спостерігається зубчатість границь зерен, типова для гарячедетформованих металів, яка свідчить про розвиток локальної динамічної полігонізації в приграницьних об'ємах, що приводить до утворення зародків

рекристалізації. В подальшому рекристалізація розвивається за рахунок утворення зародків, яка проходить не тільки на границях, але і в об'ємі зерна.

Таким чином, аустеніт чавунів, як і інші дрібнозернисті матеріали, в яких при підвищених температурах переважає приграничне ковзання, знеміцнюється за механізмом динамічної рекристалізації. Через послідовні цикли приграничного ковзання і рекристалізації структура, що формується, не є сталою, проходить її постійна зміна, навіть подрібнення зерна.

В усіх досліджуваних сплавах при температурі деформації присутня приблизно однакова об'ємна доля цементитних часток розміром від 1 до 20 мкм. Підвищена густина великих часток (5-8 мкм), утворена за рахунок присутності спеціальних карбідів ванадію, призводить до високої густини місць зародження і тому до більш інтенсивного подрібнення зерна (сплав N5) порівняно з чавуном, що має практично однаковий за рівнем легування аустеніт (сплав N3).

Аналіз текстури α -фази, яка успадковує текстурні максимуми гаряче-деформованого аустеніту за рахунок реалізації обмеженого числа варіантів ОС Курдімова-Закса при мартенситному перетворенні, показав незмінність полюсних густин (100), (110) і (112), що свідчить про проходження динамічної рекристалізації аустеніту.

Вплив легування на структуру і властивості евтектичного цементиту при гарячій прокатці.

Хімічний склад всіх досліджених сплавів був підібраний таким чином, щоб тип евтектичного карбіду Me_3C залишався незмінним, а змінювалась тільки кількість легуючих елементів в ньому. З допомогою рентгеноструктурного, мікрорентгеноспектрального аналізу і мікроструктурних досліджень встановлено, що теплові і деформаційні впливи викликають фазові переходи тільки в евтектичному цементиті сплавів 4 і 5 (табл.1). Практично однаковий вміст ванадію в цементиті і різна концентрація його в аустеніті сплавів 4 і 5 може зумовити різні пластичні властивості Me_3C за рахунок впливу матриці на карбідне перетворення.

Спільний відпал в вакуумованій ампулі протягом 5 годин при 1050 °С сплаву 4 і цементиту, екстрагованого з нього, показав, що в обох випадках в цементиті виявляються частки VC, огранка яких характерна для кубічної сингонії. Ідентичність виділень в екстрагованому і неекстрагованому цементиті підтверджується даними мікрорентгеноспектрального аналізу. Таким чином, показано, що карбідне перетворення в ванадійовому цементиті розвивається без взаємодії з аустенітом.

Легування карбідоутворюючими елементами значно впливає на властивості цементиту. Його мікротвердість при збільшенні вмісту хрому від 1.03 до 7.9 і 13.9% зростає відповідно на 2700 і 3800 МПа. Всього 2% ванадію в евтектичному цементиті збільшують його мікротвердість на 1900 МПа.

В вихідному стані цементит всіх досліджуваних сплавів має визначену кристалізаційну кристалографічну текстуру. Перпендикулярно до тепловідводу найбільшу полюсну густину мають інтерференції (130), (120) і (140), які, видно, є компонентами розсіювання слабкої аксіальної текстури. В сплавах 1 і 2 (табл. 1) аксіальна текстура не виявлена і евтектичний цементит текстурований більш слабо.

Гаряча прокатка призводить до формування іншої, ніж вихідна, багатокомпонентної текстури евтектичного цементиту. Тип текстури, що формується при гарячій деформації, генетично зв'язаний з превалюючим механізмом динамічного структуроутворення. Тому необхідний спільний аналіз динаміки перерозподілу полюсних густин і ширини рентгенівських інтерференцій цементиту, який враховував би, що цементит має низькосиметричну орторомбічну ґратку з різними типами міжатомної взаємодії (від металічного до ковалентного зв'язку), і, внаслідок цього, різну інтенсивність накопичення та анігіляції дефектів в різних площинах та напрямках.

Евтектичний цементит всіх сплавів характеризується спільним набором текстурно чутливих площин (021), (122), (023) і (130). Можливо, максимуми полюсної густини (023) і (021) пов'язані з розсіюванням текстури (011), оскільки кут між ними складає відповідно 11.5 і 16.3 градуса. Для цементиту сплавів з карбідним перетворенням додається площина (222).

В низьколегтованому цементиті з 1.03% Cr (сплав 6) ширива рентгенівських ліній практично не реагує на зріст ступеню деформації, відбувається незначний перерозподіл інтенсивностей і розмивання вихідної текстури. Цементит з 7.9% Cr (сплав 2) характеризується інтенсивним зростанням ширини ліній після 25% обтяжку. Полюсна густина текстурних компонент (130) і (120) при цьому досягає максимальних значень, а потім падає або залишається сталою. Максимум на кривих ширини ліній (021) і (130) свідчить про зміну механізму структуроутворення.

Після деформації 45% в цементиті сплаву N2 починають привалювати процеси динамічного знеміцнення, очевидно, динамічна рекристалізація цементиту, яка призводить до падіння полюсної густини і дефектності карбіду. Разом з тим полюсна густина та ширива ліній (122) зростають у всьому інтервалі деформацій. В кристалах, в яких площина (122) орієнтована паралельно до площини прокатки, переважний тип структуроутворення - 18

рячий наклеп. Цементит сплаву N3, що містить 0.52% Cr і 2% V також характеризується екстремальними залежностями полюсної густини і ширини рентгенівських інтерференцій від ступеню деформації для площин (021), (023) і (021) за максимумом при 25% обтиску. В евтектичному цементиті, що містить 13.9% Cr (сплав N1), з ростом ступеню деформації спостерігається монотонний зріст ширини ліній для основних текстурних компонент (021), (122), (023), (130), їх полюсні густини повільно зростають, досягаючи, як і ширина ліній найбільших значень після деформації 65%. В даному випадку основний тип структуроутворення в цементиті - гарячий наклеп.

Проведена по ширині рентгенівських ліній оцінка густини дислокацій показала, що рекристалізація в низьколегованому цементиті розвивається при густині дислокацій 10^9 см^{-2} , а високохромистому при такій же дефектності вона відсутня. Наведені результати показують, що легований цементит зміцнюється і зменщується подібно до твердих розчинів заміщення, в яких легуючий елемент збільшує силу міжатомної взаємодії.

В цементиті з 0.8%Cr і 5% V (сплав N4) деформація супроводиться карбідним перетворенням. В усьому дослідженому діапазоні обтисків переважним типом структуроутворення є гарячий наклеп: спостерігається спільне зростання найбільш текстурно-чутливих компонент (021), (122), (023), (222) і ширини ліній цих же інтерференцій. Густина дислокацій в цементиті з карбідним перетворенням порівняно з недеформованим станом зростає в 3-3.5 рази, що пов'язано як з генерацією дислокацій при карбідному перетворенні, так і з утрудненням їх анігіляції в зв'язку з утворенням в цементиті карбиду ванадію.

Наявність в цементиті тестури прокатки свідчить про те, що при гарячій деформації чавуну цементит зазнає пластичної деформації не менше 10-20%.

В аустеніті, що зазнав динамічної рекристалізації густина дислокацій звичайно складає 10^9 см^{-2} , такий самий порядок густини дислокацій в гарячедеформованому цементиті. Близькість значень густини дислокацій в структурних складових означає високий ступінь сумісності їх деформації і можливість деформації з великими обтисками без руйнування. Висока сумісність деформації повинна базуватися на зв'язку кристалографії ковзання в обох фазах. Орієнтаційні співвідношення (ОС) між різними фазами спостерігаються не тільки у випадках зсувних перетворень, але і при дифузійному евтектоїдному перетворенні в сталях, виділенні збиткового фериту чи цементиту з аустеніту, евтектичних перетвореннях в кольорових металах. Близькість розташування атомів в площинах цементиту і аустеніту, що стику-

ються, визначає ОС. Підвищення температури кардинально не змінює розташування атомів в найбільш подібних площинах $(113)_A$ і $(001)_D$. Тому можна вважати, що встановлені ОС Арбузова-Курдюмова і Кутелі цементит/аустеніт зберігаються і при високих температурах, коли формується межфазна границя аустеніт збитковий/цементит ледебуриту.

Відомо, що пластична течія чавуну починається в аустеніті, а ковзання в аустеніті проходить по густоупакованих площинах $\{111\}$. Розгляд орієнтаційних співпадань площин сімейства $\{111\}$ з виявленими текстурними максимумами, що базується на ОС γ/Fe_3C :

Арбузова-Курдюмова $(100)Fe_3C \parallel (5\bar{4}5)\gamma$; $(010)Fe_3C \parallel (\bar{1}01)\gamma$; $(001)Fe_3C \parallel (252)\gamma$
і
Кутелі $(100)Fe_3C \parallel (3\bar{1}1)\gamma$; $(010)Fe_3C \sim (\bar{3}29)\gamma$; $(001)Fe_3C \sim (39\bar{1})\gamma$

показав, що акомодация ковзання між аустенітом і цементитом більш вірогідна при збереженні ОС Арбузова-Курдюмова (мал.1). Починаючись в аустеніті по площинах $(\bar{1}\bar{1}1)_A$ і $(\bar{1}11)_A$, ковзання ініціюється в близьких до аустенітних (разорієнтування ≤ 8 градусів) площинах цементиту $(\bar{1}22)_D$ і $(\bar{1}\bar{2}2)_D$. Вірогідно, ці площини у випадку гарячої деформації є первинними площинами ковзання. При подальшому деформуванні проходить переорієнтація кристалічної ґратки, приведена напрута зсуву досягає критичних величин і в інших системах ковзання, і починається дія активних джерел в площинах $\{011\}$, $\{111\}$, $\{130\}$.

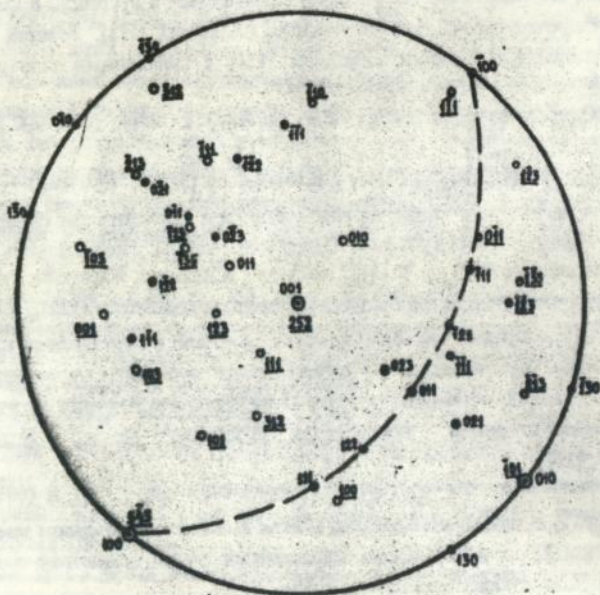
Відсутність ковзання по $(001)_D$, розорієнтація між $(1\bar{1}1)_A$ і $(00\bar{1})_D \sim 5$ градусів (мал.1) в даному дослідженні можна пояснити як впливом температури деформації, так і вихідними орієнтаціями ґратки цементиту відносно поля напруг, що створюється при прокатці.

Аналіз ОС Кутелі показав, що між сімейством площин ковзання $\{111\}_A$ і найближчими площинами ковзання цементиту $\{122\}$ і $\{111\}$ існують досить значні розорієнтації порядку 16-17 градусів.

Висока сумісність деформацій аустеніту и цементиту, переорієнтація певних площин карбіду в площину прокатки свідчить про множенний характер ковзання в евтектичному цементиті по площинах $\{011\}$, $\{122\}$, $\{130\}$ і $\{111\}$, що забезпечує виконання критерію Мізеса - існування п'яти незалежних систем ковзання та деформацію цементиту не менш, ніж на 10%.

Показано, що площини ковзання цементиту $\{011\}$, $\{111\}$, $\{122\}$ мають загальний напрям $[01\bar{1}]$ - один з напрямів ковзання в цементиті, а активізація додаткової площини ковзання $\{111\}$ в ПНКП-чавуні є ще одною з причин його підвищеної пластичності.

Стереографічна проекція, яка показує орієнтаційне співвідношення
Арбузова-Курдюмова між цементитом і аустенітом:



$(100)_{\text{Fe}_3\text{C}} \parallel (545)_{\gamma}$;

$(010)_{\text{Fe}_3\text{C}} \parallel (701)_{\gamma}$;

$(001)_{\text{Fe}_3\text{C}} \parallel (252)_{\gamma}$.

Позначення: ○ - полюси hkl аустеніту;

● - полюси hkl цементиту.

Таким чином, при гарячій прокатці білх чавунів цементит зазнає пластичної деформації, яка призводить до розвитку в ньому процесів зміцнення і знеміцнення. Деформівність цементиту забезпечується дією в ньому п'яти незалежних систем ковзання, а чавуну в цілому - сумісністю деформацій цементиту і аустеніту.

Дослідження процесів, що проходять в евтектичному цементиті при післядеформаційному нагріві ПНКП-чавуну.

При наступному нагріві гарячедеформованих сплавів, в яких не пройшла динамічна рекристалізація, проходить статичний зворот і статична рекристалізація.

Неперервне збільшення дефектності легованого ванадієм цементиту при гарячій деформації свідчить про відсутність в ньому процесів знеміцнення і, отже, обов'язковий розвиток їх при післядеформаційному нагріві. При повторному нагріві до 1050 °С чавуну (сплав N 4), деформованого на 65% , перші ознаки статичної рекристалізації з'являються після 20-хвилинної витримки. Одночасно зменшується мікротвердість цементиту. Збільшення тривалості відпалу призводить до розвитку рекристалізації, однак, евтектичний цементит знов зміцнюється, що пояснюється утворенням в ньому часток VC, яке перебиває знеміцнюючий вплив рекристалізації. Зниження температури відпалу до 950 °С не тільки збільшує час, необхідний для початку рекристалізації, але і супроводжується знеміцненням цементиту. Знеміцнення цементиту виявляється завдяки зниженню інтенсивності карбідного перетворення.

Сполучення рентгеноструктурного та мікроструктурного методів дозволило встановити температуру початку рекристалізації (T_p^n) гарячедеформованого цементиту. Після деформації 25+35% T_p^n цементиту складає 1050 °С, а з ростом ступеню деформації до 55+65 % знижується до 950 +975 °С.

Розвиток статичної рекристалізації в цементиті гарячедеформованого чавуну та виявлена залежність T_p^n від величини деформації підтверджує перевагу гарячого наклепу в евтектичному цементиті ПНКП-чавуну.

В п'ятій главі наведені розроблені рекомендації по пластичній деформації та термічній обробці ПНКП-чавуну в промислових умовах.

На основі проведених лабораторних експериментів показано, що дробова деформація за своєю дією на структуру і властивості ледебуритного цементиту практично аналогічна до однопрохідної при рівності їх об'ємів.

Для підвищення зносостійкості ПНКП-чавуну запропонована схема деформаційно-термічної обробки, яка дозволяє подрібнити евтетичні карбіди і складається з попередньої деформації при температурах 1050-1070 °С для утворення підвищеної густини дефектів кристалічної будови; відпалу, протягом якого розвивається рекристалізація евтетичних карбідів; повторної деформації при температурі 950-970 °С (30%), при якій проходить подрібнення евтетичного цементиту по раніше створених висококутових границях. Ця схема була застосована в дослідно-промислових умовах при виробництві прутків $\varnothing 55$ мм на українському підприємстві "Дніпроспецсталь" з поковок $\varnothing 210$, отриманих на ВО "Іжсталь". Рекристалізаційний відпал перед ковкою на $\varnothing 110$ та зниження температури наступної деформації до 950 °С не вплинуло на якість поковок. В результаті були отримані прутки $\varnothing 55$ без макро- і мікротріщин і з достатньо дрібною (~ 20 мкм) фракцією евтетичних карбідів. Чавунні поковки призначались для виробництва роликів, які використовуються при розкатці електроіскрового покриття на внутрішній поверхні трубних виробів. Визначені критичні точки ПНКП-чавуну і у відповідності з вимогами до даного виду інструменту підібраний оптимальний режим остаточної термообробки: гартування та низький відпуск. Рекомендована термообробка дозволила реалізувати не тільки максимально близькі значення твердості фазових складових ПНКП-чавуну ($H_{\text{C}}^{\text{H}}=14500$ МПа, $H_{\text{C}}=9000$ МПа) та забезпечити потрібну термічну стійкість отриманої структури, але і реалізувати ефект підвищення твердості за рахунок збереження збиткової густини дефектів кристалічної будови цементиту, наведених на остиньому етапі деформування.

Загальні висновки:

1. Встановлено, що в білих чавунах при гарячій деформації в інтервалі швидкостей $3 \cdot 10^{-2} + 3 \cdot 10^2$ аустеніт змінюється за типом динамічної рекристалізації.

2. При гарячій прокатці чавунів процеси зміцнення та зменшення ледебуритного цементиту визначаються рівнем легування і природою легуючого елемента.

Цементит, який містить 1.03% Cr, динамічно рекристалізується.

В цементиті з 7.9% Cr або 0.92% Cr и 2 %V динамічна рекристалізація зміщена в сторону великих деформацій.

Цементит, легований 13.9% Cr або 0.8% Cr и 5% V (ПНКП-чавун), не зазнає динамічної рекристалізації, зміщуючись в процесі деформації.

3. Встановлено, що процеси текстуроутворення в цементиті пов'язані з механізмом динамічного знеціднення, отже, визначаються його легуванням.

4. Вперше виявлена текстура деформації ледебуритного цементиту при гарячій прокатці білих чавунів.

5. Встановлено множинне ковзання в цементиті по площинах {130} і {011}, {112}. Площини {112} кристалографічно пов'язані з сімейством площин ковзання {111} аустеніту.

6. Вперше виявлено, що карбідне перетворення в ПНКП-чавуні ініціює додаткову площину ковзання {111} в цементиті і усуває сталу стадію на кривих гарячої деформації.

7. Показано, що карбідне перетворення в ледебуритному цементиті ПНКП-чавуну проходить без дифузійного обміну з аустенітною матрицею.

8. Визначена кількісна залежність температури початку статичної рекристалізації цементиту від ступеню попередньої гарячої деформації ПНКП-чавуну.

9. Розроблена і випробувана дослідно-промислова технологія виробництва зносостійких роликів з деформованого ПНКП-чавуну для розкатки електроіскрового покриття по внутрішній поверхні трубних виробів.

Основний зміст дисертації викладено в наступних роботах:

1. Таран Ю.Н., Пирогова Е.В., Миронова Т.М. Деформація і рекристалізація цементита в чугунах, легированих ванадієм.-В сб.:Проблеми металургического производства.-Киев: Техника, 1990.-Выпуск 101.-С.126-129.
2. Пирогова Е.В., Миронова Т.М., Нижниковская П.Ф. Структурные изменения в цементите белых чугунов при горячей пластической деформации.-В сб.: Строение и механические свойства металлических материалов.-Ленинград: ЛДНТП, 1990.- С. 85-87.
3. Нижниковская П.Ф., Пирогова Е.В., Миронова Т.М. Структурообразование в цементите при горячей прокатке и отжиге чугунов.-В кн.: Тез. Докл. VI Всесоюзной конференции. Текстуры и рекристаллизация в металлах и сплавах.-М., 1991.-С. 103.
4. Влияние деформации и отжига на структуру эвтектического цементита/ Таран Ю.Н., Нижниковская П.Ф., Пирогова Е.В. и др.// Изв. вузов Черная металлургия.-1991.-№3.-С. 76-78.
5. Carbide Transformations Eutectic Cementite During The Hot Working of Chromium Vanadium Alloyed White Irons/P.F.Nichnicovskaya, T.M. Mironova, Ju.N.Taran, E.V. Pirogova, R.F Decker //The Minerals & Metals Societi.-USA, Pittsburg.-1993.-P.51.

6. Пирогова Е.В., Миронова Т.М., Нижниковская П.Ф. Анализ основных параметров горячей деформации высокоуглеродистых сплавов.-Тез. докл. науч.-техн. семинара. Термомеханическая обработка металлических материалов.- М.МИСИС, 1994.- С.20-21.

7. Миронова Т.М., Пирогова Е.В. Упрочнение и разупрочнение эвтектического цементита при горячей деформации и отжиге.- В сб.материалов научной конференции. Структура и свойства материалов.-Новокузнецк, 1988.- С.173-174.

АННОТАЦИЯ.

Пирогова Е.В. Влияние легирующих добавок на деформируемость ледебурита и повышение эксплуатационных свойств белых деформируемых чугунов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 "Металловедение и термическая обработка металлов", Государственная металлургическая академия Украины, Днепропетровск, 1995.

Защищается научная работа, содержащая результаты исследований структуры и свойств ледебурита различного состава при горячей пластической деформации белых чугунов. Изучены механизмы динамического структурообразования в аустените и цементите, проанализировано формирование кристаллографической текстуры цементита с различным содержанием легирующих элементов, уточнен механизм воздействия карбидного превращения на пластические свойства цементита, установлена количественная зависимость температуры начала статической рекристаллизации цементита от степени предшествующей деформации чугуна. Разработана и опробована в опытно-промышленная технология производства износостойкого инструмента из деформированного чугуна.

Ключевые слова: ледебурут, горячая пластическая деформация, кристаллографическая текстура, динамическая и статическая рекристаллизация, карбидное превращение.

ABSTRACT.

Pirogova E.V. The Effect of Alloying Additions on the Deformability of Ledeburite and Enhancing of Service Properties of White Deformable Cast Irons. Thesis for a Candidate of Science degree on speciality 05.16.01 "Physical metallurgy and heat treatment of metal", State Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1995.

Thesis presenting results of structure and properties examination of different alloyed ledeburite during the hot plastic working of white cast iron are being defended. Dynamic structure forming mechanisms of austenite and cementite have been studied, evolution of eutectic cementite with different alloying additions crystallographic textures have been

determined; mechanism of carbide transformation improving plasticity of eutectic cementite has been defined more precisely; quantitative dependence of static recrystallization temperature as a function of degree of plastic working has been found. Using design of technological scheme pilot lot of wear-resistant coating rolls from white iron forged bars has been manufactured.

Key words: ledeburite, hot plastic working, crystallographic texture, dynamic and static recrystallizations, carbide transformation.

Луг —

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Підписано до друку 14.II.95 р. Заказ № 4580. Тираж 40 екз.
ІЧМ. м. Дніпропетровськ, пл.Акад.Стародубова, І.

Щ6932

AB 33.557
AB 33.557