

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ.

ІНСТИТУТ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ ІМ. З. І. НЕКРАСОВА.

БАБАЧЕНКО Олександр Іванович

УДК 669.15-194.52:669.017.2:620.17

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІПЛИВУ СТРУКТУРНОГО СТАНУ СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЬ-
ВИХ СТАЛЕЙ НА ПОКАЗНИКИ В'ЯЗКОСТІ РУЙНУВАННЯ ПРИ
СТАТИЧНОМУ, ДИНАМІЧНОМУ ТА ЦИКЛІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ.

Спеціальність 05.16.01 - Металознавство та термічна
обробка металів.

А н н о т а ц і я

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

м. Дніпропетровськ - 1997.



Дисертація є рукопис.

Робота виконана в Інституті чорної металургії НАН України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор,
Узлов Іван Герасимович,
зав. відділом Інституту чорної
металургії НАН України

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, Губенко Світлана Іванівна,
професор Державної металургійної академії України

кандидат технічних наук, Котова Лариса Іванівна,
доцент Дніпропетровського технічного університету
залізничного транспорту

Провідна установа:


Дніпропетровський державний університет.

Захист відбудеться "19" грудня 1997р. о "12" годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 03.09.01
в Інституті чорної металургії НАН України за адресою:
320050, м. Дніпропетровськ, ГСП, пл. Стародубова 1а.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту
чорної металургії НАН України.

Автореферат разісланий "22" листопада 1997р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук


Левченко Г. В.

ДВ-38.728

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність роботи. На даний час показник металоємкості національного прибутку, який характеризує рівень ефективності виробництва і застосування продуктів чорної металургії, на Україні більше ніж в два рази вищий, ніж в індустріально розвинутих країнах. Так питома металоємкість залізничного рухомого складу вище зарубіжного на 50%, сільськогосподарських машин та автомобільного транспорту на 30%, тракторів на 20%. Внаслідок цього витрати палива та енергії на одиницю корисної потужності у вітчизняної техніки в 1,3-1,7 рази вищі, ніж у зарубіжній.

Таке положення може бути покращене шляхом корінного підвищення якості готової продукції (в першу чергу за рахунок підвищення міцності конструкційних сталей), що дасть можливість знизити металоємкість виготовлених виробів.

Вирішення цього питання тісно пов'язано з удосконаленням існуючих і розробкою нових критеріїв та методик оцінки їх експлуатаційних властивостей. Вони повинні базуватися на останніх досягненнях фізики твердого тіла і механіки руйнування. Одним із таких критеріїв є критичний коефіцієнт інтенсивності напружень K_{Ic} (в'язкість руйнування). Знання величини цього показника і закономірностей його змін у залежності від режимів термічної обробки і хімічного складу конструкційних сталей дозволить прогнозувати працездатність реальних сталевих виробів з різними дефектами, які виникають як в процесі їх виробництва, так і в експлуатації.

Мета роботи. Дослідження впливу структурного стану середньовуглецевих ферито-перлітних сталей, зумовленого їх хімічним складом і режимами термічної обробки, на показники в'язкості руйнування при статичному, динамічному і циклічному навантаженні. Встановлення взаємозв'язку між цими показниками і стандартними механічними характеристиками міцності та пластичності.

Наукова новизна. Вперше на основі експериментальних досліджень отримані залежності критичного коефіцієнта інтенсивності напружень від структурного стану середньовуглецевих ферито-перлітних сталей, що визначається їх швидкістю охолодження із аустенітної області (в діапазоні $1-10^0$ С/с) і вмістом вуглецю в межах 0,49-0,63 мас.%. Показано, що підвищення швидкості охолодження в досліджуваному діапазоні забезпечує одержання структурного стану

Інститут металургії
України

сталі з підвищеними властивостями міцності і одночасним підвищенням показників в'язкості руйнування як при статичному, так і при динамічному навантаженні. Підвищення міцності шляхом збільшення вмісту вуглецю, навпаки, негативно впливає на в'язкість руйнування.

Встановлено, що мірою граничної пластичності сталей є відносне звуження, яке чинить визначальний вплив на величину критичного коефіцієнта інтенсивності напружень.

Вперше на основі експериментальних досліджень одержані кінетичні діаграми втомного руйнування (КДВР) середньовуглецевих ферито-перлітних сталей в різному структурному стані і визначені значення параметрів КДВР цих сталей. Отримані залежності цих показників від швидкості охолодження сталей із аустенітної області і вмісту в них вуглецю.

Практична цінність. Розроблена методика визначення в'язкості руйнування залізничних коліс. Одержані значення в'язкості руйнування K_{1c} суцільнокатаних коліс, виробництва ВАТ "Нижньодніпровський трубопрокатний завод". Показана можливість досягнення в цих колесах рівня в'язкості руйнування, що відповідає вимогам міжнародних стандартів ($K_{1c} > 2530 \text{ Н/мм}^{3/2}$).

На основі розробленої методики на ВАТ "Нижньодніпровський трубопрокатний завод" створена технологічна інструкція по визначенню показника K_{1c} залізничних коліс (ІВ 246-16.97. Відбір проб, виготовлення зразків і проведення випробувань по визначенню в'язкості руйнування залізничних коліс.), що дало можливість цьому підприємству проводити оцінку якості суцільнокатаних залізничних коліс у відповідності до вимог технічних умов UIC-812-3 Міжнародного союзу залізниць і здійснювати по них виробництво залізничних коліс на експорт.

Одержано рівняння множинної регресії, яке встановлює зв'язок між критичним коефіцієнтом інтенсивності напружень, швидкістю охолодження при термічній обробці і вмістом вуглецю в досліджуваних середньовуглецевих сталях. Це рівняння дозволяє проводити оцінку очікуваного рівня в'язкості руйнування по заданому хімічному складу і режиму термічної обробки цих сталей.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на Всесоюзному семінарі "Сучасні методи контролю структури і властивостей металопродукції на підприємствах чорної металургії" (м. Москва, 1986р.); міжгалузевий

науково-технічній конференції "Конструкційні сталі - прогресивні процеси виробництва і ефективність використання" (м. Дніпропетровськ, 1995р.); міжнародній конференції "Проблеми сучасного матеріалознавства" (м. Дніпропетровськ, 1997р.).

Публікація матеріалів. По результатам виконаних досліджень опубліковано 9 робіт.

Обсяг роботи. Робота складається із вступу, шести розділів, бібліографічного списку із 122 найменувань, містить 146 сторінок машинописного тексту, 26 малюнків, 5 таблиць, один додаток.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

Аналіз стану питання і завдання досліджень.

Достовірна оцінка надійності сталевих виробів можлива тільки при використанні як класичних загальноприйнятих характеристик механічних властивостей (тимчасового опору розриву, ударної в'язкості та інш.), так і параметрів механіки руйнування, найважливішим серед яких являється критичний коефіцієнт інтенсивності напружень (в'язкість руйнування) K_{Ic} . Одним із основних факторів, який чинить вплив на величину цього показника, є структурний стан сталі. Аналіз літературних даних показує, що не існує загальних закономірностей взаємозв'язку параметрів структури і показників в'язкості руйнування конструкційних сталей. Вони носять складний, та неоднозначний характер. Напевно, при вивченні цього питання необхідний диференційований підхід, тобто дослідження треба проводити окремо для конкретного класу конструкційних сталей і відповідно до конкретних умов експлуатації сталевих виробів. В більшості випадків подібні дослідження проводились тільки на спеціальних легованих сталях. Для сталей масового виробництва (вуглецевих і низьколегованих) вони практично відсутні. Тому дана дисертаційна робота присвячена вивченню впливу структурних параметрів на показники в'язкості руйнування середньовуглецевих сталей і виготовлених із них залізничних коліс; дослідженню діапазонів змінювання цих показників при зміні вмісту вуглецю і режимів термічної обробки; встановленню взаємозв'язку між службовими механічними властивостями вказаних сталей і показниками в'язкості руйнування.

Матеріал і методика досліджень.

Матеріалом для досліджень служила середньовуглецева сталь (зокрема сталь для залізничних коліс), піддана позапічному вакуумуванню і розлита в безперервнолиті заготовки, виробництва Чехії (сталь А), і невакуумована мартенівська сталь з різним вмістом вуглецю (сталь Б, В, Г). Хімічний склад цих сталей наведено в табл. 1.

Таблиця 1.

Хімічний склад досліджуваних середньовуглецевих сталей.

Умовне позначення сталі	!	Вміст елементів, % мас.				
		C	Mn	Si	S	P
Сталь А (вакуумована)	!	0,50	0,73	0,23	0,004	0,017
Сталь Б (невакуумована)	!	0,49	0,72	0,25	0,019	0,014
Сталь В (невакуумована)	!	0,56	0,73	0,26	0,022	0,017
Сталь Г (невакуумована)	!	0,63	0,74	0,31	0,022	0,019

Хімічний склад досліджуваних сталей відповідає сталям, які використовуються для виготовлення суцільнокатаних залізничних коліс по стандарту UIC-812-3 (сталь А і Б) і ГОСТ 10791-91 (сталь В і Г).

Для одержання різного структурного стану із ободів залізничних коліс були вирізані заготовки для зразків, які термічно оброблялись по різних режимах, що відрізнялись швидкістю охолодження із аустенітної області (850°C): 1 °C/c - охолодження на повітрі (нормалізація); 6 °C/c - охолодження в розплавленій солі при 250°C; 10 °C/c - охолодження в маслі.

Основним критерієм в'язкості руйнування при статичному навантаженні був вибраний критичний коефіцієнт інтенсивності напружень K_{Ic} . Для його визначення використовувався компактний зразок товщиною 25 мм. Випробування на в'язкість руйнування проводились на універсальній випробній машині ЕДЦ-20.

Характеристиками динамічної в'язкості руйнування були вибрані робота удару і її складові - робота зародження тріщини і робота розвитку тріщини, визначення яких проводили при ударному згині призматичних зразків розміром 10x10x55 мм з U-подібним надрізом глибиною 2 мм. Випробування проводились на маятниковому копрі

PSW-30. Роботу зародження і роботу розвитку тріщини визначали методом осцилографування з записом діаграми руйнування в координатах "зусилля - час".

Стандартні механічні властивості при статичному розтязі (тимчасовий опір розриву, границя текучесті, відносне звуження, відносне подовження) визначали на круглих зразках діаметром 5 мм на випробній машині типу TT-DM-L "Instron" по ГОСТ 1497-84.

Показниками циклічної в'язкості руйнування були вибрані параметри кінетичних діаграм втомного руйнування: K_{th} - пороговий коефіцієнт інтенсивності напружень; n - тангенс кута нахилу другої прямолінійної ділянки кінетичної діаграми; K^* - коефіцієнт інтенсивності напружень на цій ділянці при швидкості росту тріщини 10^{-7} м/цикл. Випробування проводились на компактних зразках товщиною 25 мм на гідропульсуючій випробній машині типу ЕДЦ-20 з частотою 14 Гц і коефіцієнтом асиметрії $R=0,1$. Вимірювання довжини втомної тріщини проводили методом різниці електричних потенціалів за допомогою спеціально розробленого для цієї мети вимірювального пристрою.

Мікроструктурні дослідження проводили за допомогою світового мікроскопа "Neophot-32" і електронного мікроскопа EF-2.

Дослідження впливу термічної обробки і хімічного складу середньовуглецевих сталей на їх структурний стан, механічні властивості і показники в'язкості руйнування.

Проведені дослідження впливу прискореного охолодження при термічній обробці середньовуглецевих сталей і вмісту в них вуглецю на їх структурний стан, механічні властивості і показники в'язкості руйнування при статичному і динамічному навантаженні.

Показано, що розпад переохолодженого аустеніту при прискореному охолодженні досліджуваних сталей проходить по дифузійному механізму з утворенням ферито-перлітної структури, параметри якої змінюються при збільшенні швидкості охолодження.

Встановлено, що прискорене охолодження цих сталей в досліджуваному діапазоні швидкостей охолодження приводить до підвищення як характеристик міцності, так і критичного коефіцієнта інтенсивності напружень K_{Ic} (табл. 2).

Одержані в роботі результати свідчать про те, що між критичним коефіцієнтом інтенсивності напружень з одного боку і показни-

Продовження табл. 2.

	Стан	Швидкість охладження, °C/c	$\sigma_{B,2}$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$ Н/мм ²	δ_5 , %	Ψ , %	KU _з , Дж	KU _р , Дж	KU, Дж	KCU, Дж/см ²	K1с, Н/мм ^{3/2}
сталь В	Гарячекатан.	<1	810	445	15	19	5,2	3,7	8,8	11,0	1404
	Нормалізація	1	843	463	20	39	14,7	3,9	18,6	23,0	1881
	Охолодж. в солі при 250°C	6	989	645	15	40	20,1	5,9	26,0	32,6	2084
	Охолодження в маслі	10	1020	668	11	38	19,6	5,9	25,5	31,7	2242
сталь Г	Гарячекатан.	<1	866	476	15	20	4,5	2,8	7,3	9,4	1417
	Нормалізація	1	906	484	17	36	15,8	3,8	19,6	25,3	1613
	Охолодж. в солі при 250°C	6	1058	739	14	35	20,0	5,0	25,0	32,8	2017
	Охолодження в маслі	10	1125	816	12	36	19,7	4,8	24,5	31,2	2027

ками міцності і пластичності з другого, існує такий зв'язок: якщо в результаті термічної обробки чи зміни хімічного складу підвищуються характеристики міцності і не зменшується відносне звуження, то це приводить до підвищення коефіцієнта інтенсивності напружень. Зменшення відносного звуження при підвищенні характеристик міцності веде до зниження в'язкості руйнування K_{1с}.

Загальний характер змінювання показників динамічної в'язкості руйнування аналогічний змінюванню критичного коефіцієнта інтенсивності напружень K_{1с}, а рівень значень цих характеристик визначається, в основному, одним структурним параметром - величиною дійсного зерна.

Встановлено, що підвищення вмісту вуглецю в досліджуваних сталях від 0,49 до 0,63% знижує значення критичного коефіцієнта інтенсивності напружень в середньому на 30%.

Дослідження впливу структурного стану середньовуглецевих сталей на критичний коефіцієнт інтенсивності напружень і встановлення кореляційної залежності між цим показником, хімічним складом і швидкістю охолодження сталі при термічній обробці.

Термічна обробка реальних виробів із конструкційних сталей змінює не один, а сразу декілька структурних параметрів, при цьому їх спільний вплив на механічні властивості і показники в'язкості руйнування дуже часто не дорівнює сумі впливу кожного із змінюваних структурних складових частин окремо. В даній роботі зроблена спроба виявити тенденцію спільного впливу величини дійсного зерна, кількості структурно вільного фериту та дисперсності перліту на в'язкість руйнування K_{1с}.

Підтверджено, що одержання високих значень K_{1с} можливо тільки в умовах реалізації в'язкого мікромеханізму руйнування, визначальним структурним фактором при зміні якого є розмір дійсного зерна.

При в'язкому мікромеханізмі руйнування ріст критичного коефіцієнта інтенсивності напружень при підвищенні швидкості охолодження сталей відбувається за рахунок зменшення кількості структурно вільного фериту і збільшення дисперсності перліту. Результати проведених досліджень і аналіз існуючих механізмів руйнування перлітних сталей дозволяє припустити, що ведучу роль грає морфологія перліту, зокрема, товщина цементитних пластин.

Модель мікромеханізму руйнування Сміта дозволяє пояснити ведучу роль цементитних пластин в цьому процесі.

Показано, що позапічна вакуумна обробка підвищує значення в'язкості руйнування K_{1c} досліджуваних сталей на 150-300 Н/мм^{3/2}, при практично однаковому рівні міцності і пластичності (табл. 2). Причиною цього є менша забрудненість вакуумованої сталі неметалевими включеннями.

З використанням кореляційного аналізу одержана залежність критичного коефіцієнта інтенсивності напружень від вмісту вуглецю і швидкості охолодження сталі у вигляді криволінійного рівняння регресії

$$K_{1c} = 438,79 + 14,12 V_{ох} - 1290,01 C - 11,18 V_{ох} \cdot C + 1045,06 C^2 - 0,52 V_{ох}^2; \quad (1); \quad R=0,9357.$$

Всі змінні величини рівняння (1) виражаються в натуральному масштабі, тобто K_{1c} - МПа·м^{1/2}; $V_{ох}$ - °С/с; C - мас.%. Рівень значень коефіцієнта множинної регресії свідчить про достатню адекватність прийнятої моделі регресії з двома значимими факторами (швидкістю охолодження і вмістом вуглецю).

Дослідження впливу структурного стану середньовуглецевих сталей на закономірності розвитку в них втомних тріщин.

Для достовірної оцінки надійності і довговічності виробів із конструкційних сталей, які підлягають впливу не тільки статичних, але і циклічних навантажень, знання критичного коефіцієнта інтенсивності напружень K_{1c} являється недостатнім. Значення статичної і циклічної в'язкості руйнування в більшості випадків не збігаються, так як концепція циклічної в'язкості руйнування є більш загальною, а втомне руйнування, яке контролюється K_{1c} , є його окремим випадком.

В роботі вперше на основі експериментальних досліджень одержані кінетичні діаграми втомного руйнування середньовуглецевих сталей в різному структурному стані і визначені параметри КДВР цих сталей (табл. 3).

Встановлено, що прискорене охолодження сталей із аустенітної області приводить до підвищення порогового коефіцієнта інтенсивності напружень K_{th} , що зв'язано зі зменшенням в структурі кіль-

Таблиця 3.

Параметри кінетичних діаграм втомного руйнування середньовуглецевих сталей після різних швидкостей охолодження.

	Стан	Швидкість	Kth, Н/мм ^{3/2}	Kж, Н/мм ^{3/2}	n
		охолодження, °С/с			
сталь В	Гарячекатан.	<1	440	710	3,64
	Нормалізація	1	450	920	3,08
	Охолодж. в солі при 250°С	6	580	1150	3,14
	Охолодження в маслі	10	760	1110	2,94
сталь В	Гарячекатан.	<1	480	850	4,39
	Нормалізація	1	500	920	3,33
	Охолодж. в солі при 250°С	6	580	1070	3,61
	Охолодження в маслі	10	760	1050	3,53
сталь Г	Гарячекатан.	<1	460	820	5,09
	Нормалізація	1	480	850	3,77
	Охолодж. в солі при 250°С	6	580	1000	3,87
	Охолодження в маслі	10	770	1020	3,80

кості структурно вільного фериту і збільшенням дисперсності перліту. Не виявлено вплив величини дійсного зерна на показник K_{th} .

Швидкість росту тріщини на другій прямолінійній ділянці КДВР істотно залежить від величини дійсного зерна в сталі, зменшуючись при його здрібненні.

Таким чином, параметри структури середньовуглецевих ферито-перлітних сталей чинять різний вплив на характеристики першої і другої ділянок кінетичних діаграм втомного руйнування. Це є наслідком зміни величини зони пластичної деформації навколо втомної тріщини, яка має мінімальні розміри (в межах одного зерна) при низьких значеннях K_{max} і може поширюватись на декілька зерен при підвищенні K_{max} . Результати проведених досліджень показують, що не можна говорити про повну структурну нечутливість другої ділянки КДВР.

Встановлено, що порогове значення коефіцієнта інтенсивності напружень K_{th} в діапазоні 0,49-0,63%С не залежить від вмісту вуглецю в сталі і становить 500-750 Н/мм^{3/2} для різних режимів її термічної обробки. Різниця в швидкості росту втомної тріщини починає виявлятися при високих значеннях K_{max} (друга ділянка КДВР), причому чим більший вміст вуглецю, тим вище швидкість росту тріщини. Збільшення швидкості росту тріщини відбувається за рахунок лінійного підвищення показника n .

Показано, що між границею витривалості і параметрами КДВР досліджуваних сталей не існує однозначної кореляційної залежності. Характер залежності між цими характеристиками визначається відносною тривалістю першої і другої стадій втомного руйнування.

Визначення шляхів оптимізації структурного стану колісної сталі з метою підвищення в'язкості руйнування залізничних коліс.

Найбільш актуальна проблема опору крихкому руйнуванню для сталевих виробів і конструкцій, в яких в процесі виробництва або експлуатації неможливо уникнути різного рода тріщин. До таких виробів належать і залізничні колеса.

Основним показником опору крихкому руйнуванню залізничних коліс було вибрано критичний коефіцієнт інтенсивності напружень K_{Ic} . Використовуючи цей параметр, можна розрахувати критичну довжину тріщини, при досягненні якої відбувається руйнування ко-

леса.

В роботі розроблена методика визначення критичного коефіцієнта інтенсивності напружень залізничних коліс. Визначена величина критичного коефіцієнта інтенсивності напружень K_{Ic} залізничних коліс, виготовлених із вакуумованої сталі марки R7 (технічні умови УІС 812-3), виробництва Чехії і мартенівської невакуумованої сталі 2 (ГОСТ 10791-91), виробництва Нижньодніпровського трубопрокатного заводу. Показана можливість досягнення в цих колесах рівня в'язкості руйнування, який відповідає вимогам міжнародних стандартів ($K_{Ic} > 2530 \text{ Н/мм}^{3/2}$). Аналіз залежності критичного коефіцієнта інтенсивності напружень від швидкості охолодження і вмісту вуглецю, яка описується рівнянням (1) показує, що значення $K_{Ic} > 2530 \text{ Н/мм}^{3/2}$ ($80 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) можна одержати при вмісту в сталі вуглецю від 0,49 до 0,53 % і швидкості охолодження вище $4,3^\circ\text{C}/\text{с}$. При вмісту вуглецю більше 0,53%, в'язкість руйнування буде нижче $2530 \text{ Н/мм}^{3/2}$ незалежно від швидкості охолодження сталі.

В роботі одержано рівняння росту втомної тріщини в ободі залізничного колеса під дією залишкових розтягуючих напружень.

Для одержання високих значень в'язкості руйнування залізничних коліс необхідно, щоб середній умовний діаметр дійсного зерна в структурі сталі був не більше 0,0329 мм (шостий-сьомий номер по ГОСТ 5639-89). Дрібне зерно є необхідною умовою одержання високих значень в'язкості руйнування.

Збільшення структурної однорідності (тобто зменшення кількості структурно вільного фериту) сталей для залізничних коліс також підвищує характеристики в'язкості руйнування.

Підвищення дисперсності перліту позитивно впливає на характеристики в'язкості руйнування. Але в цьому випадку важлива не тільки величина самої міжпластиночної відстані (тобто сумарна товщина феритних і цементитних пластин), але і співвідношення між цими величинами. Збільшення товщини цементитних пластин при постійній міжпластиночній відстані веде до скрихлення сталі і, як наслідок, до зменшення її показників в'язкості руйнування.

Таким чином, для підвищення міцності залізничних коліс необхідно віддавати перевагу термічному зміцненню перед збільшенням вмісту вуглецю, так як разом з підвищенням міцності в першому випадку досягається і високий рівень в'язкості руйнування.

ВИСНОВКИ.

1. Проведені комплексні дослідження впливу швидкості охолодження в діапазоні 1-10°C/с середньовуглецевих ферито-перлітних сталей із аустенітної області і вмісту в них вуглецю (в границях 0,49-0,63 мас.%) на їх структурний стан, механічні властивості і показники в'язкості руйнування при статичному, динамічному і циклічному навантаженні. Одержані результати можуть бути використані при виборі оптимальних режимів термічного зміцнення різних виробів із середньовуглецевих сталей (наприклад, залізничних коліс, рейок, бандажів, осей та ін.).

2. Вперше встановлена залежність критичного коефіцієнта інтенсивності напружень (в'язкості руйнування) K_{Ic} від швидкості охолодження сталі із аустенітної області і вмісту вуглецю. Показано, що збільшення швидкості охолодження в досліджуваному діапазоні забезпечує підвищення характеристик міцності з одночасним зростанням показників в'язкості руйнування як при статичному, так і при динамічному навантаженні. Збільшення міцності шляхом підвищення вмісту вуглецю в сталі, навпаки, негативно впливає на в'язкість руйнування середньовуглецевих сталей.

3. Показано, що між критичним коефіцієнтом інтенсивності напружень K_{Ic} і механічними властивостями існує складний взаємозв'язок. Рівень значень цього показника є функцією границі текучесті і відносного звуження.

4. Встановлено, що при в'язкому мікромеханізмі руйнування основним структурним параметром, який визначає рівень показників в'язкості руйнування досліджуваних середньовуглецевих сталей, є міжпластиночна відстань в перліті, зокрема її складова частина - товщина цементитних пластин, зменшення якої веде до підвищення в'язкості руйнування K_{Ic} . Вивчений механізм руйнування ферито-перлітних сталей, який пояснює ведучу роль цементитних пластин в цьому процесі.

5. Одержана аналітична залежність критичного коефіцієнта інтенсивності напружень від структурного стану сталі, який визначається швидкістю охолодження при термічній обробці і вмістом вуглецю, у вигляді рівняння множинної регресії вказаних змінних. Це рівняння дозволяє проводити оцінку очікуваного рівня в'язкості руйнування сталі по заданому хімічному складу і режиму термічної обробки.

6. Показано, що позапічна вакуумна обробка середньовуглецевих сталей, практично не змінюючи характеристики міцності і пластичності, підвищує показники статичної і динамічної в'язкості руйнування у всьому досліджуваному діапазоні швидкостей охолодження сталі при її зміцнюючій обробці.

7. Створена методика визначення показників циклічної в'язкості руйнування конструкційних сталей при навантаженні компактних зразків. Вперше побудовані кінетичні діаграми втомного руйнування і визначені параметри КДВР досліджуваних сталей в різному структурному стані. Одержані залежності цих показників від швидкості охолодження і вмісту вуглецю. Встановлена структурна чутливість другої ділянки кінетичної діаграми втомного руйнування.

8. Показано, що достовірна оцінка експлуатаційних властивостей сталевих виробів, які працюють в умовах циклічного навантаження, можлива тільки при визначенні як границі витривалості, так і параметрів КДВР. Не знайдені загальні закономірності зміни цих параметрів в залежності від статичної в'язкості руйнування.

9. Розраховане рівняння росту втомної тріщини в ободі залізничного колеса, виготовленого із сталі марки R7, і побудована номограма для визначення його довговічності.

10. Розроблена методика визначення в'язкості руйнування залізничних коліс. Одержані кількісні значення K_{Ic} суцільнокатаних залізничних коліс виробництва ВАТ "Нижньодніпровський трубопрокатний завод". Визначені шляхи досягнення в цих колесах рівня в'язкості руйнування, який відповідає вимогам міжнародних стандартів ($K_{Ic} > 2530 \text{ Н/мм}^{3/2}$), при певному структурному стані сталі, який залежить від вмісту вуглецю і конкретних режимів охолодження в процесі термічної обробки коліс.

11. Розроблена методика введена на ВАТ "Нижньодніпровський трубопрокатний завод", що дало йому можливість проводити оцінку якості суцільнокатаних залізничних коліс у відповідності до вимог технічних умов UIC-812-3 Міжнародного союзу залізниць і, таким чином, забезпечило надійну поставку цієї продукції на експорт в різні країни світу.

Основний зміст дисертації опубліковано в роботах:

1. Узлов И. Г., Моисеева Л. А., Мирошниченко Н. Г., Умеренкова Н. А., Бабаченко А. И. . Вязкость разрушения среднеуглеродистой колесной стали в различных структурных состояниях. // Сталь. - 1996. -

№4. - С. 51-54.

2. Узлов И. Г., Умеренкова Н. А., Бабаченко А. И. Методика определения вязкости разрушения материала железнодорожных колес. // Завод. лаб. - 1996. - №7. - С. 36-37.

3. Узлов И. Г., Бабаченко А. И., Умеренкова Н. А., Моисеева Л. А. Исследование влияния структурного состояния среднеуглеродистых сталей на показатели вязкости разрушения. // Сталь. - 1997. - №5. - С. 57-60.

4. Староселецкий М. И., Мирошниченко Н. Г., Моисеева Л. А., Умеренкова Л. А., Бабаченко А. И. Влияние различных факторов на прочностные характеристики железнодорожных колес. // Metallurg. - 1996. - №10. - С. 16-17.

5. Моисеева Л. А., Узлов И. Г., Бабаченко А. И., Умеренкова Н. А., Химиченко В. А. Моделирование взаимосвязи вязкости разрушения с прочностными и пластическими характеристиками и микроструктурой углеродистой стали. // Металлофизика и новейшие технологии. - 1997. - №7. - С. 72-78.

6. Узлов И. Г., Бабаченко А. И., Умеренкова Н. А., Моисеева Л. А. Пути повышения надежности железнодорожных колес. // Залізничний транспорт України. - 1997. - №2-3. - С. 5-8.

7. Умеренкова Н. А., Гешелин В. Г., Бабаченко А. И., Десятник А. Н., Коваленко Г. Н. Методика и автоматизированное устройство для испытаний на ударный изгиб. // Тез. докл. Всесоюзного семинара "Современные методы контроля структуры и свойств металлопродукции на предприятиях черной металлургии". - М: Металлургия, 1986. - С. 29.

8. Узлов И. Г., Умеренкова Н. А., Бабаченко А. И., Моисеева Л. А. Исследование влияния скорости охлаждения и содержания углерода на вязкость разрушения среднеуглеродистой колесной стали. // Тезисы доклада научно-технической конференции "Конструкционные стали - прогрессивные процессы производства и эффективность применения". г. Днепропетровск, 1995. - С. 51-52.

9. Узлов И. Г., Бабаченко А. И., Моисеева Л. А. Влияние структурного состояния среднеуглеродистых сталей на критический коэффициент интенсивности напряжения K_{Ic} . // Сб. трудов международной конференции "Проблемы современного материаловедения". Днепропетровск, 1997. - Ч. 1. С. 56-57.

Бабаченко О. І. Дослідження впливу структурного стану середньовуглецевих сталей на показники в'язкості руйнування при статичному, динамічному і циклічному навантаженні. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.01- металознавство та термічна обробка металів. - Інститут чорної металургії НАН України, Дніпропетровськ, 1997.

Дисертація присвячена дослідженню впливу термічної обробки середньовуглецевих сталей на формування їх структурного стану, механічних властивостей і показників в'язкості руйнування при різних видах навантаження. В дисертації одержані залежності цих показників від вмісту вуглецю і структурного стану сталей, який формується в процесі їх охолодження із аустенітної області з різними швидкостями.

Встановлено взаємозв'язок між характеристиками в'язкості руйнування і стандартними механічними властивостями середньовуглецевих сталей.

Розроблена методика визначення критичного коефіцієнта інтенсивності напружень K_{Ic} колісної сталі і на цій основі проведена оцінка рівня в'язкості руйнування суцільнокатаних залізничних коліс різного хімічного складу і різних способів виробництва; визначені шляхи підвищення цього показника.

Ключові слова: середньовуглецева сталь, структурний стан, механічні властивості, в'язкість руйнування, втомна тріщина.

Бабаченко А. И. Исследование влияния структурного состояния среднеуглеродистых сталей на показатели вязкости разрушения при статическом, динамическом и циклическом нагружении.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - металлосведение и термическая обработка металлов. Институт черной металлургии НАН Украины, Днепропетровск, 1997.

Диссертация посвящена исследованию влияния термической обработки среднеуглеродистых феррито-перлитных сталей на формирование структурного состояния, механических свойств и показателей вязкости разрушения при различных видах нагружения. В диссертации получены зависимости этих показателей от содержания углерода и структурного состояния сталей, формирующегося в процессе их охлаждения из аустенитной области с различными скоростями.

Установлена взаимосвязь между характеристиками вязкости разрушения и стандартными механическими свойствами среднеуглеродистых сталей.

Разработана методика определения критического коэффициента интенсивности напряжения K_{Ic} колесной стали и на этой основе проведена оценка уровня этого показателя цельнокатаных железнодорожных колес различного химического состава и различных способов производства; определены пути повышения этого показателя.

Ключевые слова: среднеуглеродистая сталь, структурное состояние, механические свойства, вязкость разрушения, усталостная трещина.

Babachenko A. I. The investigation of effect of structure state of medium - carbon steels on their fracture toughness under statik, dynamik and cyclicloads applied. - Manuscript.

The Dissertation for defending the Degree of Candidate of Technical Sciences on the specialty 05.16.01 Metal Science and Thermomechanical Treatment of Metals. Iron and Steel Institute of National Academy of Science of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1997.

The complex investigations of effect of heat treatment of medium-carbon steell of ferritic-pearlitic structure on forming its structure, mechanical properties and values of fracture toughness under different types of loads applied have been performed. As a result of the investigations performed the

relationships between the above mentioned values and carbon contents of steel as well as steel structure state formed within the process of cooling from austenite temperature range at different cooling rates have been obtained.

The relationship between fracture toughness value and standard mechanical properties of medium-carbon steel has been established.

The method of determination of critical of stress intensity factor K_{Ic} for wheel steel has been developed and on this basis the evaluation of the level of this characteristic for rolled railway wheels made from steel of different chemical composition and by different production process has been made, and also the ways for improving the fracture toughness values K_{Ic} have been found.

Keywords: medium-carbon steel, structure state, mechanical properties, fracture toughness.

Підписано до друку 26.09.97.
Формат 60x80 д. л. 1/16. Замовлення N 704.
Тираж 100. Р. п. ІЧМ.
м. Дніпропетровськ, пл. Стародубова, 1.

287977

AB 38.728