

Г.В. Шкарівський // Міжвідомчий тематичний науковий збірник “Механізація та електрифікація сільського господарства”. – Глеваха: ННЦ “ІМЕСГ”. – Вип. 88. – 2004.– С. 70–77.

Изложены результаты анализа развития интегральной конструктивно-компоновочной схемы энергосредств сельскохозяйственного назначения.

Мобильное энергетическое средство, компоновка, интегральная компоновка, конструкция, развитие.

The results of analysis of development of integrated design-layout scheme of power unit for agricultural purposes.

Mobile power, tool arrangement, integralnoya layout, design and development.

УДК 630.56.7

КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ КОРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕСІ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

О.Є. Семеновський, кандидат технічних наук

Встановлені причини короблення деталей в процесі термічної обробки. Розроблені критерії оцінки цієї величини.

Сталь, легування, цементация, технологічність, короблення, внутрішні напруження.

Постановка проблеми. Сучасна техніка висуває до конструкційних матеріалів все більш високі вимоги у відношенні механічних властивостей, а серійне та масове машинобудування у відношенні їх технологічності. Складнопрофільність сучасних деталей зубчастих передач вимагає включення в процес їх виготовлення операцій штампування, обробки різанням, зварювання, поверхневого зміцнення, фінішних доводочних операцій. Це накладає на матеріал усе більш високі технологічні вимоги до штампувальності, оброблюваності різанням, зварюваності, прогартовуваності, цементуємості, коробленню в процесі зміцнення.

Аналіз останніх досліджень. В області цементувальних сталей вибір композицій з оптимальним співвідношенням фізико-механічних і технологічних можливостей ускладнюється

© О.Є. Семеновський, 2014

недостатністю відомостей про вплив їх складу на ці характеристики. Крім того, дані які є суперечливі і носять, в основному, якісний характер. Ще недостатньо даних про взаємозв'язки між різними властивостями цементувальних сталей, що не дозволяє прогнозувати ці властивості, значно збільшуючи обсяг роботи при їх виборі, або розробці.

Нами було поставлено завдання не тільки якісної, а й кількісної оцінки такої технологічної властивості, як схильність сталей до короблення в процесі хіміко-термічної обробки, з метою введення єдиної характеристики яка визначає схильність сталі до деформації в процесі гартування.

Вибір марки сталі визначається не тільки умовами експлуатації, а також технологічними можливостями устаткування. В роботі [1-3] проведений всебічний аналіз використовуваних марок сталей для важконавантажених зубчастих передач. Аналізуючи дані цієї роботи, можна зробити висновок, що вибір матеріалу в значній мірі визначає застосування відповідної технології зміцнення. Найбільш перспективною технологією зміцнення шестерень варто вважати хіміко-термічну обробку.

Мета досліджень. Основним завданням нашої роботи було встановлення єдиного критерію кількісної оцінки схильності сталі до короблення в процесі термічної обробки.

Результати досліджень. Зміна геометричних параметрів деталей, що відбуваються в процесі хіміко-термічної обробки, є визначальним фактором для економічних показників виробництва. Усунення короблення вимагає проведення додаткових фінішних операцій, таких як відновлення базових отворів, шліфування торців і обробка робочих профілів. Крім того, незадовільна оброблюваність різанням матеріалів, що мають високу твердість, накладає необхідність проведення операцій захисту від насичення вуглецем в процесі цементації тих поверхонь деталі, що обробляються після хіміко-термічної обробки. Для цього, як правило, застосовуються процеси електролітичного міднення чи нанесення захисних антицементацийних паст. Ці операції трудомісткі, енергоємкі і вимагають витрати дорогих і дефіцитних матеріалів.

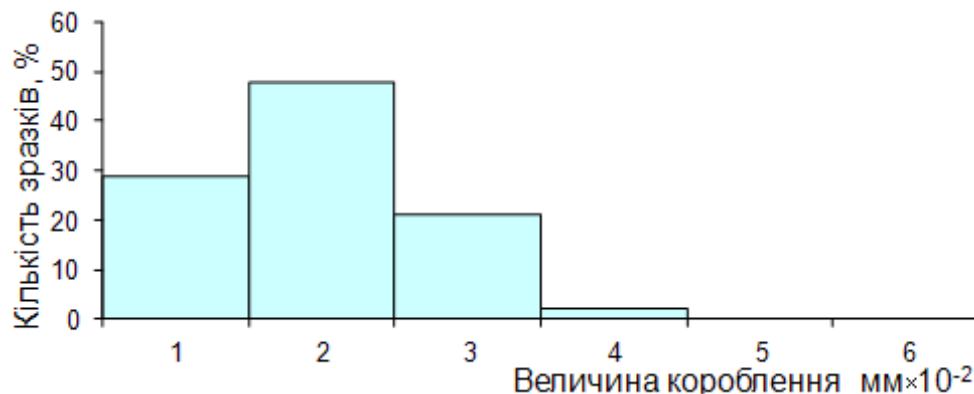
Актуальність питання короблення деталей, що підлягають поверхневому зміцненню, особливо гостро постала в зв'язку з тим, що значно зросли вимоги до металоємкості і точності виготовлення зубчастих передач [4, 5]. Загальновідомо, що основною причиною короблення при хіміко-термічній обробці є гартування.

Охолодження в процесі гартування приводить до появи температурного градієнта по перетину деталей, величина якого визначається температурою нагрівання, розмірами і формою деталі,

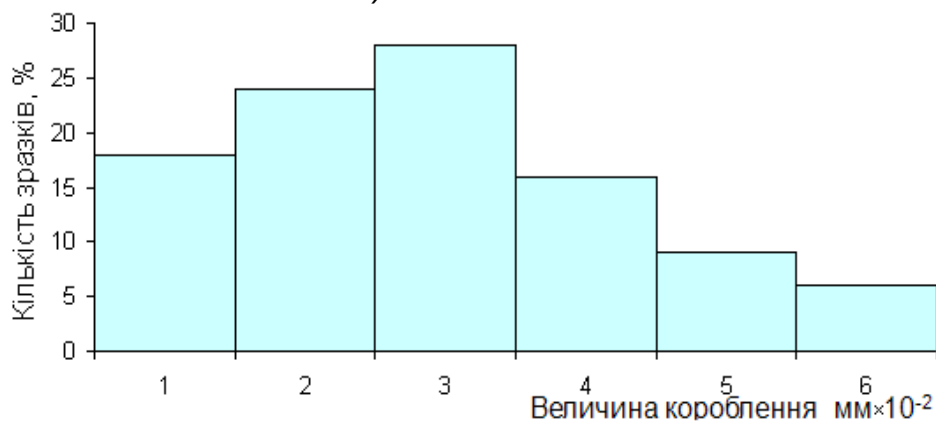
теплопровідністю сталі і охолоджуючою здатністю гартівного середовища, його циркуляцією [6].

Неодноразність зміни температури по глибині оброблюваних матеріалів при охолодженні, поряд з неодноразністю протікання фазових перетворень, що супроводжуються зміною питомого об'єму, приводить до виникнення напружень. Напруження, що виникають внаслідок неодноразної теплової деформації, одержали назву теплових або термічних.

Оскільки в нашій роботі постало завдання не тільки якісної, а й кількісної оцінки такої технологічної характеристики, як схильність сталей до короблення в процесі хіміко-термічної обробки, то базуючись на аналізі порівняльних досліджень величини короблення деталей із різних сталей, результати яких представлено у вигляді гістограм на рис. 1, пропонується введення єдиної характеристики яка визначає схильність сталі до деформації в процесі гартування. Вона представляє собою коефіцієнт, який визначається із співвідношення між кількістю деталей, що вкладаються в припустиму величину короблення, згідно з технічною документацією, до кількості деталей – які не вкладаються в припустимі технічною документацією відхилення (браковані деталі).



а) сталь 15ХГНБТЧ



б) сталь 12ХН3А

Рис. 1. Гістограми величини короблення деталей в процесі гартування.

Такою кількісною характеристикою є в даному випадку інтеграл Рімана – у змісті межі сум Дарбу (як площа криволінійної трапеції). За допомогою функції-індикатора належності змінної до множини, що задається для будь-якої множини. А й змінної величини “x”

наступним чином $\chi_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$, можна подати ступінчастий графік функції $\mathfrak{Z}(x)$ у вигляді:

$$\mathfrak{Z}(x) = \sum_{i=1}^m (n_i \chi_{(a_i; a_{i+1})}(s)).$$

Нехай n_j – значення функції на напівзакритому інтервалі $(a_j, a_{j+1}]$. Характеристика, що вводиться запишеться тоді у вигляді:

$$\mathfrak{R}(x) = \mathfrak{R}(\mathfrak{Z}(x)) = \frac{\int_x^b \left(\sum_{i=1}^m (n_i \chi_{(a_i; a_{i+1})}(s)) ds \right)}{\int_a^x \left(\sum_{i=1}^m (n_i \chi_{(a_i; a_{i+1})}(s)) ds \right)} = \frac{\sum_{\substack{i=j+1 \\ j: x \in (a_j, a_{j+1}]}}^m \left(n_i \Delta a_{i+1} + \frac{n_j (a_{j+1} - x)}{m - j} \right)}{\sum_{\substack{i=1 \\ j: x \in (a_j, a_{j+1}]}}^{j-1} \left(n_i \Delta a_{i+1} + \frac{n_j (x - a_j)}{m - j} \right)}$$

де: $\chi_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$ – функція-індикатор належності змінної x до множини A;

n_j – значення функції на напівзакритому інтервалі $(a_j, a_{j+1}]$ $\mathfrak{Z}(x) = \sum_{i=1}^m (n_i \chi_{(a_i; a_{i+1})}(s))$ – функціональна залежність, що

відповідає східчастому графіку, побудованому за експериментальними даними.

Для прикладу проведемо розрахунок коефіцієнта схильності до деформації для сталей 12ХН3А та 15ХГНБТЧ.

Для сталі 12ХН3А розрахунок має вигляд:

$$\mathfrak{R}(x) = \begin{cases} \frac{101 - 18x}{18x}, & x \in (0, 1] \\ \frac{107 - 24x}{24x - 6}, & x \in (1, 2] \\ \frac{115 - 28x}{28x - 14}, & x \in (2, 3] \\ \frac{79 - 16x}{16x + 22}, & x \in (3, 4] \\ \frac{51 - 9x}{9x + 50}, & x \in (4, 5] \\ \frac{36 - 6x}{6x + 65}, & x \in (5, 6] \end{cases}$$

$$x = \begin{cases} \frac{101}{18(R_0 + 1)}, x \in (0, 1] \\ \frac{107 + 6R_0}{24(R_0 + 1)}, x \in (1, 2] \\ \frac{115 + 14R_0}{28(R_0 + 1)}, x \in (2, 3] \\ \frac{79 - 22R_0}{16(R_0 + 1)}, x \in (3, 4] \\ \frac{51 - 50R_0}{9(R_0 + 1)}, x \in (4, 5] \\ \frac{36 - 65R_0}{6(R_0 + 1)}, x \in (5, 6] \end{cases}$$

$$R_0 = 0.03 \Rightarrow x \geq 5,5097$$

Для сталі 15ХГНБТЧ розрахунок має вигляд:

$$\mathfrak{R}(x) = \begin{cases} \frac{29(1-x) + 61}{29x}, x \in (0, 1] \\ \frac{48(2-x) + 23}{48(x-1) + 29}, x \in (1, 2] \\ \frac{21(3-x) + 2}{21(x-2) + 77}, x \in (2, 3] \\ \frac{2(4-x)}{2(x-3) + 98}, x \in (3, 4] \end{cases},$$

$$x = \begin{cases} \frac{90}{29(R_0 + 1)}, x \in (0, 1] \\ \frac{119 + 19R_0}{48(R_0 + 1)}, x \in (1, 2] \\ \frac{65 - 35R_0}{28(R_0 + 1)}, x \in (2, 3] \\ \frac{2(1 - 23R_0)}{(R_0 + 1)}, x \in (3, 4] \end{cases}.$$

$$R_0 = 0.03 \Rightarrow x \geq 2,956$$

В нашому конкретному випадку при припустимому процентному співвідношенні кількісних характеристик бракованих і небракованих деталей у межах – 3%, сталь 15ХГНБТЧ, маючи низьку схильність до короблення, забезпечить величину допусків – 0,029 мм, а сталь 12ХНЗА – 0,055 мм. А у випадку коли серійна сталь забезпечить такі ж допустимі відхилення, як і розроблена, кількість бракованих деталей буде складати 30%.

Таким чином запропонований в нашій роботі коефіцієнт дає можливість кількісно оцінювати схильність сталей до короблення і забезпечує можливість вибору хімічного складу сталі в залежності

від необхідної величини допусків та технологічних можливостей виробництва. Визначення цього коефіцієнту процес досить трудомісткий. Для спрощення пошукових робіт щодо дослідження цієї характеристики проведені її порівняння з іншими технологічними властивостями сталей. З точки зору причин виникнення короблення деталей в процесі гартування найбільш близькою характеристикою, яка має взаємозв'язок з коефіцієнтом деформованості є величина напруження в зміцненому шарі.

Були розглянуті залежності розподілення залишкових внутрішніх напружень (рис. 2), для сталей з різним ступенем легування. Характер отриманих кривих дозволяє говорити про те, що комплексно-легована сталь має більш різке зниження рівня напружень, по мірі віддалення від поверхні, у порівнянні із серійною сталлю 12ХН3А.

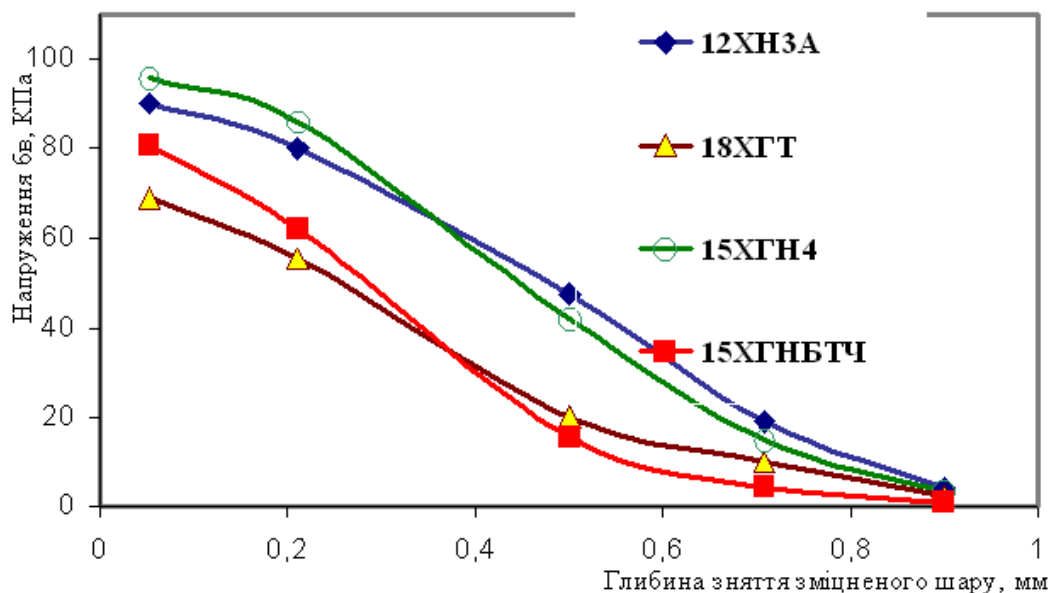


Рис. 2. Розподіл залишкових внутрішніх напружень у зміцненому шарі.

Виходячи з фізичного змісту цієї величини, можна стверджувати, що взаємозв'язок з розглянутою характеристикою має сума всіх напружень в усьому поверхневому шарі. Її можна представити у вигляді інтегралу Рімана.

Для сталі 12ХН3А:

$$I_{12ХН3А} = \int_{0,1}^{0,9} (-953,12x^4 + 2343,8x^3 - 1910,3x^2 + 456,06x + 57,948) \cdot dx = 37.0398 .$$

Для сталі 15ХГНБТЧ:

$$I_{15ХГНБТЧ} = \int_{0,1}^{0,9} (263.02x^4 - 527.08x^3 + 479.32x^2 - 314.73x + 107.08) \cdot dx = 20.7075 .$$

Для сталі 18ХГТ:

$$I_{18ХГТ} = \int_{0,1}^{0,9} (-3208,3x^4 + 6672,9x^3 - 4562,3x^2 + 1046,8x - 2,2063) dx = 25,305 .$$

Для сталі 15ХГН:

$$I_{15ХГН} = \int_{0,1}^{0,9} (1296,9x^4 - 2579,2x^3 + 1736,6x^2 - 504,21x + 82,005) \cdot dx = 15,5048 .$$

Комп'ютерна обробка сумарної величини напружень усього зміцненого шару показала, що в серійної сталі 12ХНЗА цей показник у 1,5 рази вище, ніж у розробленої нами сталі.

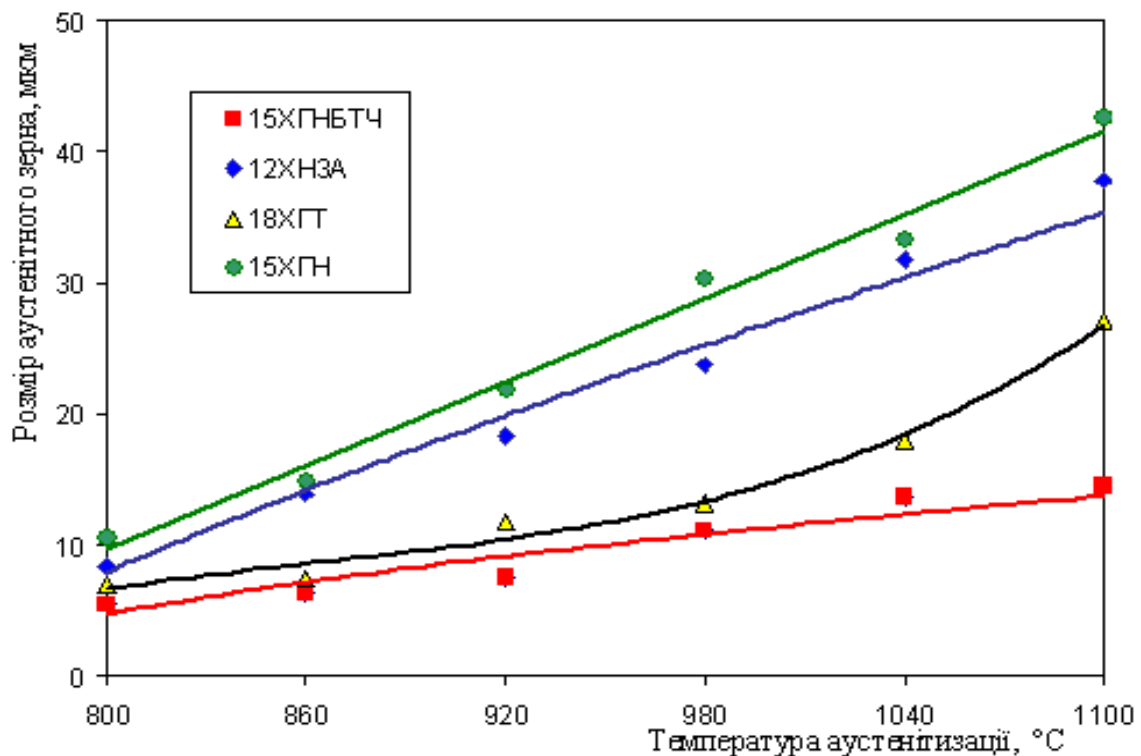


Рис. 2. Кінетика росту аустенітного зерна.

Однак рекомендувати цю характеристику для визначення схильності сталі до короблення недоцільно з двох причин. По-перше, величина залишкових внутрішніх напружень лише побічно пов'язана з тими напруженнями, що викликають деформацію виробу (зразка) у процесі термічної обробки, і є не причиною, а наслідком. По-друге, її визначення пов'язане зі значними технічними складностями. У той же час, як якісна характеристика, вона підтверджує отримані нами результати при дослідженні схильностей сталей з різними композиціями легуючих елементів до короблення.

Найбільш близькою характеристикою, яка має зв'язок із коефіцієнтом деформованості є схильність сталі до росту аустенітного зерна в процесі нагрівання. Виходячи з фізичного

змісту схильність сталі до росту аустенітного зерна при нагріванні характеризується швидкістю зміни функції, яка описує даний процес. Розглянувши графічні залежності на рис. 3, після апроксимації експериментальних даних за допомогою лінії Тренда степеневого типу, можемо визначити швидкість зміни апроксимованих кривих як похідну $f(x)'$. Середнє значення похідної $f(x)'$ на відрізку $[a,b]$

підррахуємо виходячи із рівності $\int_a^b [f'(x)] dx = f'_{cp}(\theta) \cdot (b-a)$, де

$\theta \in [a,b]$. Звідки $f'_{cp}(x) = \frac{\int_a^b [f'(\theta)] dx}{(b-a)}$. Для досліджуваних сталей

розрахована величина цієї характеристики буде дорівнювати:

Для сталі 12ХН3А:

$$V_{12ХН3А} = \frac{\int_{800}^{1100} \left[\frac{\partial}{\partial x} (7.9655x^{0.8324}) \right] dx}{1100 - 800} = 2.10298.$$

Для сталі 15ХГНБТЧ:

$$V_{15ХГНБТЧ} = \frac{\int_{800}^{1100} \left[\frac{\partial}{\partial x} (5.16x^{0.53}) \right] dx}{1100 - 800} = 0.109308.$$

Для сталі 18ХГТ:

$$V_{18ХГТ} = \frac{\int_{800}^{1100} \left[\frac{\partial}{\partial x} (5.68x^{0.72}) \right] dx}{1100 - 800} = 0.6006.$$

Для сталі 15ХГН:

$$V_{15ХГН} = \frac{\int_{800}^{1100} \left[\frac{\partial}{\partial x} (6.3709x + 3.36) \right] dx}{1100 - 800} = 6.3709.$$

Провівши аналіз математичних розрахунків технологічних характеристик досліджених сталей і порівнявши їх з введеним нами коефіцієнтом, що характеризує схильність сталі до короблення, можна зробити висновок, що схильність сталі до росту аустенітного зерна в процесі витримки при високих температурах має достатню кореляцію з коефіцієнтом короблення сталі.

Висновки

1. Зменшення схильності сталі до короблення дає можливість підвищити економічні показники виробництва за рахунок зменшення кількості фінішних операцій.

2. У ході проведених досліджень встановлено, що рівень короблення сталі в процесі хіміко-термічної обробки знаходиться в прямій залежності від ступеню диспергування вихідної аустенітної структури.

3. Для цементуємих сталей, які в процесі хіміко-термічної обробки піддаються тривалому впливу високих температур, необхідно максимально зменшити схильність сплаву до росту аустенітного зерна, що досягається комплексним легуванням такими елементами, як титан і ніобій, котрі утворюють карбідну фазу, стійку до високих температур.

Список літератури

1. *Вороненко Б.И.* Современные высокопрочные стали для тяжело нагруженных зубчатых передач / *Б.И. Вороненко* // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 1996. – № 8. – С. 11–18.
2. *Brosso P.* El acero en el futuro de los materiales / *Brosso P., Pagliucci C.* // *Siderurgia.* – 1990. – 15, № 50. – P. 5–20.
3. *Фекет Дж. Р.* Применение перспективных высокопрочных сталей в автомобилестроении / *Дж. Р. Фекет* // Доклады Международного семинара "Современные достижения в металлургии и технологии производства сталей для автомобильной промышленности", Москва, 17-18 февраля, 2004. – М.: Металлургиздат, 2004. – С. 21–30.
4. *Зинченко В.М.* Стали для цементуемых и нитроцементуемых деталей / *В.М. Зинченко* // *Технология металлов.* – 2002. – № 7. – С. 15–21.
5. *Романив О.Н.* Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов / *Романив О.Н., Ярема С.Я., Никифорчин Г.Н. и др.* – К.: Наукова думка, 1990. – С. 121–226.
6. *Хус Chun-fang.* Механизм упрочнения и повышения вязкости стали, микролегированной Nb / *Хус Chun-fang, Wang Xin-hua, Xin Yi-de* // *Jinshu rechuli Heat Treat Metals.* – 2003. – 28-№ 5. – С. 15–17.

Установлены причины деформации деталей в процессе термической обработки. Разработаны критерии оценки этой величины.

Сталь, легирование, цементация, технологичность, деформации, внутренние напряжения.

The causes warping of parts during heat treatment. Developed criteria for assessing this value.

Steel, doping, cementation, technology, warping, internal tensions.