

## ПОЛІПШЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАДИЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

Сушко О.В., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (061) 42-13-54

**Анотація** – робота присвячена аналізу основних сучасних методів поліпшення механічних характеристик традиційних сталей, які використовуються для виготовлення вузлів та деталей тракторів і автомобілів.

**Ключові слова** – сталі, тріщиностійкість, зернистість, термічна обробка, конструкційна міцність.

*Постановка проблеми.* У процесі виробництва, технічного обслуговування та ремонту автомобілів, тракторів та інших механізмів використовують близько 5,5 тис. різних матеріалів. Найпоширенішими серед них є сплави на основі заліза – сталі та чавуни.

Недостатня надійність машин призводить до значних економічних втрат, які пов'язані з ремонтом та технічним обслуговуванням. Наприклад, на ремонт автомобілів витрачається 25-30% металу, потрібного на виготовлення нової машини, а витрати на його ремонт і технічне обслуговування в експлуатації у 6 разів більші за вартість самого автомобіля [1].

*Аналіз останніх досліджень.* У масі сучасного легкового автомобіля сталі складають 40 %, чавуни – 13 %. Пластмаси близько 10 %, цинк ~ 0,5 %. У вантажних автомобілях частка сталі наближається до 60 %. Для забезпечення необхідних властивостей автомобільних та тракторних деталей, що експлуатуються в різних умовах, використовують понад 50 марок конструкційних сталей [2,3]. Витрати на метал складають до 25 % собівартості машини. Від якості матеріалу, від його раціонального і ефективного вибору залежать маса автомобіля, його надійність і довговічність, витрати пального, мастила. В наш час істотно розширюється використання сплавів на основі легких металів, пластмас, композиційних матеріалів, що може суттєво зменшити масу машин і відповідно підвищити їх експлуатаційні характеристики [4].

*Формулювання цілей статті.* Метою даної роботи є аналіз існуючих сучасних методів поліпшення механічних характеристик традиційних сталей з метою підвищення їх конструкційної міцності.

*Основна частина.* У теперішній час існують дві тенденції підвищення надійності сталевих конструкцій [5]:

– поліпшення властивостей традиційних сталей;

– використання спеціальних високоміцних сталей, які поєднують високі характеристики міцності та тріщиностійкості з низьким порогом холодноламкості.

Основними шляхами досягнення підвищення тріщиностійкості традиційних сталей при збереженні високого рівня характеристик їх міцності є:

1. Застосування високочистих сталей з мінімальною кількістю шкідливих домішок.
2. Одержання в сталях ультрадрібного зерна.
3. Термомеханічна обробка.
4. Поверхнєве зміцнення, що викликає напруження стиску, зокрема, поверхнєва пластична деформація.
5. Специфічні види відпуску, які забезпечують «заліковування» субмікроскопічних тріщин, що виникають при гартуванні (наприклад, відпуск під напруженням).

Розглянемо ці напрямки більш докладно.

*Високочисті сталі.* Досвід свідчить, що чистота металу за шкідливими домішками мало впливає на міцність  $\sigma_{0,2}$  і пластичність ( $\delta$  – відносне подовження,  $\psi$  – відносне звуження). Але істотно підвищує ударну в'язкість  $KCU$  і роботу розвитку тріщини ( $KC_3$  – робота зародження тріщини,  $KC_p$  – робота розвитку тріщини) та знижує температуру переходу в крихкий стан  $t_{кр}$ . Данні для сталі 40X2H1 різної чистоти представлені в табл.1.

Таблица 1

Вплив шкідливих домішок на властивості сталі 40X2H1 після покращення (А.П.Гуляев)

Ступінь чистоти сталі	Загальна кількість домішок, ppm	Властивості							
		$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$KCU$ , Дж/см <sup>2</sup>	$KC_3$ , Дж/см <sup>2</sup>	$KC_p$ , Дж/см <sup>2</sup>	$t_{кр}$ , °С
Звичайна	1642	1080	960	19	59	97	42	55	-40
Чиста	1214	1040	930	19	58	112	44	68	-80
Високочиста	547	1060	940	19	59	191	36	155	-110

Під звичайною розуміють сталь, виплавлену у відкритій електропечі. Чиста сталь – виплавлена у вакуумі, високочиста – у вакуумі з використанням чистої шихти. Термічна обробка полягала у гартуванні та відпуску при 600 °С.

Зменшення вмісту домішок підвищує також тріщиностійкість  $K_{Ic}$ . Так для однієї і тієї ж марки сталі при міцності  $\sigma_{0,2} = 1400 - 1500$  МПа після очищення від сірки і газів  $K_{Ic}$  зросло від 57 – 72 до 69 – 88 МПа·м<sup>1/2</sup>.

Наведені данні свідчать, що очищення (рафінування) сталі є одним з важливих резервів підвищення конструкційної міцності.

Обробка на ультрадрібне зерно. Відомо, що границя текучості сталі змінюється залежно від розміру зерна за законом Холла-Петча [2]:

$$\sigma_{0,2} = \sigma_0 + k_y d^{-1/2}, \quad (1)$$

де  $\sigma_0$  – границя текучості металу без урахування гальмівного впливу границь зерен на рух дислокацій (з деяким наближенням можна прийняти за  $\sigma_0$  границю текучості монокристала);

$k_y$  – коефіцієнт зміцнення, що залежить від природи матеріалу;

$d$  – розмір зерна (субзерна).

При цьому зернограничне зміцнення не супроводжується помітним зниженням в'язкості руйнування. Зазвичай цей показник навіть збільшується.

Подрібнення зерна підвищує границю витривалості сталі, ударну в'язкість, в тому числі роботу розвитку тріщини, помітно знижує поріг холодноламкості. Наприклад, для однієї з марок середньовуглецевої сталі подрібнення зерна з ~25 мкм до ~2 мкм знизило температуру в'язко-крихкого переходу з +90 °С до -100 °С. Для легованої конструкційної сталі подрібнення зерна з 25 до 3-5 мкм одночасно приводить до підвищення  $\sigma_s$  з 1330 до 1670 МПа,  $K_{Ic}$  – з 72 до 97 МПа·м<sup>1/2</sup>, ударної в'язкості – у 1,8 рази. У сталі з  $\sigma_{0,2} = 2000 - 2500$  МПа подрібнення зерна з 50 до 3-5 мкм дозволяє збільшити  $K_{Ic}$  у 3-4 рази [6].

Отже, можна зробити висновок, що обробка на наддрібне зерно дозволяє одержати унікальне поєднання міцності, пластичності, в'язкості, низької температури в'язко-крихкого переходу і є ефективним методом підвищення конструкційної міцності.

Не зупиняючись докладно на методах одержання ультрадрібного зерна, перелічимо основні.

1. *Металургійні методи*: виплавлення спадково дрібнозернистих сталей, сталей з карбонітридним зміцненням, підвищення швидкості зародження центрів кристалізації в результаті зміни температурних умов затвердіння або застосування модифікування тощо. Це дозволяє одержати дрібнозернисту структуру литого металу.

2. *Термічна обробка*: прискорене нагрівання в аустенітну область, наприклад, використовуючи СВЧ або електричний струм, який пропускають через виріб, багаторазова обробка, термоциклічна обробка, що передбачає кілька циклів нагріву і охолодження навколо критичних точок. В результаті використання зазначених обробок вдається одержати зерно розміром 2-3 мкм. До цієї групи методів належать також різні види термомеханічної обробки, при застосуванні яких отримують наддрібне зерно.

*Поверхнева пластична деформація (ППД)* – один з ефективних способів підвищення границі витривалості. Стискувальні напруження, які створюються у поверхневих шарах деталі. Приводять до збільшення опору розвитку тріщин у виробі. Це помітно підвищує  $K_{Ic}$ . У табл. 2 наведені

значення  $K_{Ic}$  після поверхневої обробки, яка супроводжується різним рівнем виникаючих стискувальних напружень [5].

Поверхневі стискувальні напруження знижують ефективний коефіцієнт концентрації напружень  $K_\sigma$  (відношення границі витривалості гладкого зразка  $\sigma_{-1}^{глад}$  до границі витривалості зразка з надрізом  $\sigma_{-1}^{др}$ ):

$$K_\sigma = \frac{\sigma_{-1}^{глад}}{\sigma_{-1}^{др}} \quad (2)$$

Наприклад, для сталі 38ХС (термічна обробка – гартування і середній відпуск) застосування ППД підвищує  $\sigma_{-1}$  з 640 до 800 МПа. При цьому  $K_\sigma$  знижується від 1,7 до 1,09. Тому для зменшення чутливості виробу до концентрації напружень широко використовують ППД.

Таблиця 2

Вплив залишкових напружень на в'язкість руйнування сталі 40Х  
(С.С.Дяченко)

Вид поверхневої обробки	Залишкове стискувальне напруження, МПа	$K_{Ic}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>
Вихідні зразки	0	44
Обкатка роликками	-90	51
Фрикційна зміцнювальна обробка + обкатка	-170	60

В останні роки ППД застосовують для багатьох виробів як завершальну операцію. Після такого виду обробки довговічність ресор підвищується на 600 %, пружин – на 2500 %, півосей – на 1900 %, шатунів – на 1000 %, зубчастих коліс – на 400 %. Зварних з'єднань – на 300 %.

*Відпуск під навантаженням.* У реальному металі через неоднорідності мікробудови і наявність усякого роду дефектів виникають локальні мікронапруження, які можуть сягати значень, близьких до теоретичної міцності матеріалу, і викликати крихке руйнування. Тому зниження рівня цих напружень шляхом мікропластичної деформації має приводити до зростання конструкційної міцності. Одним із методів, які полегшують релаксацію напружень і тим самим зміцнюють метал, є відпуск під навантаженням.

Сутність методу полягає в прикладанні до зразка під час відпуску навантаження, верхній рівень якого має не перевищувати границі текучості матеріалу. Як правило, напруження при навантаженні знаходиться в межах 0,5 - 0,8  $\sigma_{0,2}$ . При цьому в окремих найбільш «слабких» місцях починається рух дислокацій, який приводить до релаксації локальних напружень. До того ж прикладання зовнішнього напруження викликає «заліковування» мікро- та субмікроскопічних тріщин, які виникають при гартуванні, особливо у високоміцних сталях. Для ілюстрації можна привести такі дані [7]: після гартування в сталі 30ХГСА ( $\sigma_s = 1650 - 1700$  МПа) загальна довжина тріщин

L, віднесена до одиниці поверхні, складала  $27 \text{ см}^{-1}$ , після звичайного відпуску при  $320 \text{ }^\circ\text{C} \sim 25 \text{ см}^{-1}$ , а після відпуску під напруженням  $\sigma \sim 0,5 \sigma_{0,2} - 13 \text{ см}^{-1}$ . Природно, внаслідок цього знижується схильність матеріалу до крихкого руйнування.

*Висновки.* У традиційних сталях за рахунок очищення від шкідливих домішок при однаковій міцності тріщиностійкість  $K_{Ic}$  може бути підвищена на 110 – 125 %. Ще більш значущим фактором є подрібнення зерна, що дозволяє збільшити тріщиностійкість у 3-4 рази. Помітно (у 1,5 рази) може бути підвищена конструкційна міцність застосуванням ПІД.

Література.

1. Кондратюк С.Є., Кіндрачук М.В., Степаненко В.О., Москаленко Ю.Н. Матеріалознавство та обробка металів: Навч. посібник: – Київ: вид-во «Вікторія», 2000. – 254 с.
2. Дяченко С.С. Фізичні основи міцності та пластичності металів: Навч. посібник. – Харків: вид-во ХНАДУ, 2003. – 226 с.
3. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Остапенко В.О., Лопатьмо К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навч. посібник. – Київ: вид-во «Либідь», 2002. – 326 с.
4. Композиционные материалы.: Справочник / Под ред. Д.М. Капиноса. – Киев: Наукова думка, 1985. – 592 с.
5. Носкова Н.И., Милуков Р.Р. Субмикроструктурные и нанокристаллические металлы и сплавы. – Екатеринбург: УрОРАН, 2003. – 279 с.
6. Мохарт А.В., Чумак М.Г. Термічна обробка металів: Навч. посібник. – Київ: вид-во «Либідь», 2002. – 572 с.
7. Callister W.D., Jr. Material Science and Engineering: an Introduction. 5<sup>th</sup> ed. – NY: John Wiley & Sons, 2000. – 871 p.

## IMPROVEMENT OF MECHANICAL DESCRIPTIONS OF TRADITIONAL STEEL

O. Sushko

### *Summary*

The article is devoted to the analysis of basic modern methods of improvement mechanical descriptions of traditional steel, knots and of tractors and cars details.