надійності вузлів, систем та агрегатів мобільних машин Збірник наукових праць. Центрально український науковий вісник. Технічні науки. Випуск № 8(39)_II. - Кропивницький. – 2023. с. 175-189.

3. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

УДК 621.785:629.3.027.3

Широков В.В., докт. техн. наук, професор
Українська академія друкарства, м. Львів vvshyrokov@gmail.com
Шахбазов Я.О., докт. техн. наук, професор
Національний університет «Львівська політехніка», shah-nika@ukr.net
Максимук О.В., докт. фіз. мат. наук, професор
Львівський національний університет ім. Івана Франка
Білоус О.В, канд. техн. наук, доцент
Національний університет «Львівська політехніка»

ЗМІЦНЕННЯ ПРУЖИННОЇ СТАЛІ ГАРТУВАННЯМ ПІСЛЯ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО НАГРІВУ

Пружини, ресори, клеми – поширені та відповідальні деталі машин і механізмів. Вони підлягають багаторазовим знакозмінним навантаженням. Особливістю є те, що за значних ударних і статичних навантажень вони повинні зазнавати лише пружних деформацій. Тому основна вимога до матеріалів – високий опір пластичній деформації. Її задовільняє група пружинних сталей, легованих кремнієм . Кремній підвищує опір руху дислокацій, а від так границю плинності. В таких сталях, термічною обробкою забезпечується поєднання високої міцності за підвищених пластичності і в’язкості. До недоліків належать схильність до графітизації, інтенсивний ріст зерна, зневуглечення – найбільш шкідливий процес, який змінює властивості і впливає на структуру поверхневих шарів металу. Термічне зміцнення пружних елементів, як правило, досягають гартуванням з відпуском. Гартуванням забезпечують утворення в структурі мартенситу, бажано без трооститу та мінімумом залишкового аустеніту. Запобігання зневуглеченню поверхневих шарів досягають шляхом раціонального нагріву під гартування, охолодженням та наступним відпуском. Важливу роль відіграє перший етап термічної обробки. Як правило, нагрів до температури гартування проводять в печах, робота яких не оптимізована, оскільки характеризується тривалим часом, складністю контролю і підтримання температури та її нерівномірністю по об’єму печі.

Метою роботи було встановити вплив електроконтактного (ЕК) нагріву під гартування на фізико-механічні властивості пружинної сталі 60С2. Пропонується проводити нагрів металу під гартування ЕК методом, принцип якого ґрунтується на тепловій дії електричного струму безпосередньо у провіднику-заготовці. Метод відзначається економічністю, широким діапазоном швидкостей нагріву, порівняно простою конструкцією устаткування. Це дозволяє регулювати фазові перетворення та створювати однорідну структуру і задовільний рівень фізико-механічних властивостей сталі. Крім того, зменшується небезпека перегріву.

Дослідження проводились на зразках ∅16 мм ГОСТ 7414-75 з ресорно-пружинної сталі 60С2 (0,58–0,63% C, 1,6–2,0% Si, 0,6–0,9% Mn, Cr ≥ 0,3%). Термообробку проводили на установці, в якій взірець встановлюється у ізольовані від корпусу затискачі, до яких від трансформаторів типу ТКП 150/2 підводиться струм та відбувається ЕК нагрів. Потім проводять гартування в маслі. Автоматично контролювались температура та тривалість нагріву. Швидкість нагріву – 22 ... 28 ^{0}С/с, час нагріву і витримки – 50 … 60 с. Діапазон

нагріву 700 … 925 ^{0}С з кроком 25 ^{0}С. Контроль температури здійснюється пірометром. Міцність визначали на зразках, які підлягали попередньому гартуванню за різних температур нагріву з наступним відпуском при 440 ^{0}С протягом 40 хв. Встановлено, що твердість металу у вихідному стані (стан поставки) становить не більше 269*HB*. Структура ферито-перлітна; співвідношення між кількостями перліту і фериту відповідає 4 балу згідно ГОСТ 8233.

Результати вимірювання твердості *HRC* взірців за різних температур гартування наведено на рис. 1. Різниця значень твердості по перерізу зразків не перевищує двох одиниць, що не прямо підтверджує рівномірність прогріву. З аналізу кривої (рис. 1) випливає, що твердість *HRC* збільшується у своїх значеннях з підвищенням температури нагріву, набуває максимальних значень вище 800 ^{0}С. Різка зміна значень *HRC* в інтервалі 775 .. 800 ^{0}С пояснюється досягненням критичної точки A_{c3}, яка для сталі 60С2 складає 780 ^{0}С.

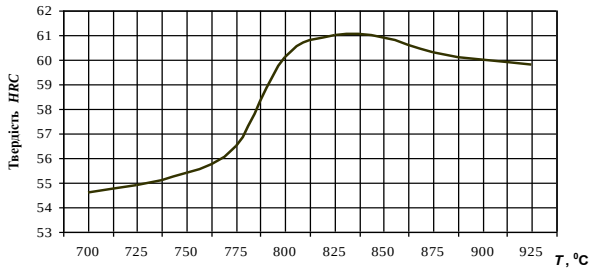

Рис. 1 – Крива твердості HRC сталі 60С2 в залежності від температури нагріву під гартування електроконтактним методом

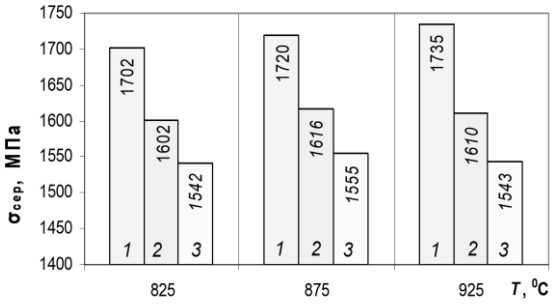

Рис. 2 – Міцнісні властивості сталі 60С2 після різних температур нагріву під гартування ЕК методом та наступним відпуском: 1 – межа міцності $\sigma_в$, 2 – межа плинності $\sigma_т$, 3 – межа пропорційності $\sigma_п$

Структура металу – мартенсит гартування. Видимих дефектів, зокрема тріщини не виявлено. Згідно металографічних даних випливає, що з ростом температури структура диспергується, а зерно здрібнюється. На основі аналізу дюрометричних вимірювань встановлено часткове зневуглечення поверхневого шару по контуру взірця. Його глибина не перевищує 0,06 мм, що можна вважати незначним у порівнянні із зневуглеченням сталі за інших методів нагріву. Наприклад, за пічного нагріву його значення досягає 0,2 ... 0,3 мм, і більше. Отже, менша глибина зневуглечення досягається короткотривалістю нагріву, який забезпечує ЕК метод. Твердість після відпуску становить 43 … 46 *HRC*, мікроструктура – троостит відпуску. Залежність міцнісних характеристик від температури нагріву характеризують гістограми наведені на рис. 2. Зі збільшенням температури нагріву під гартування значення характеристик міцності $\sigma_в$, $\sigma_т$, $\sigma_п$ зростають. Цей ефект пояснюється тим, що застосування високих температур нагріву під гартування, не зважаючи на коротку тривалість сприяє більшій однорідності аустеніту як за вмістом кремнію, так і за розподілом вуглецю. Нами також встановлено, що ударна в'язкість сталі 60С2 після гартування із застосуванням ЕК нагріву становить близько 281 кДж/м^2, що відповідає вимогам до властивостей металу більшості пружних деталей**.** Отже, апробовано ЕК метод нагріву під гартування сталі 60С2. На основі аналізу залежностей фізико-механічних властивостей сталі від температури нагріву під гартування підтверджено доцільність його застосування.