

УДК 621.771:62.717

Дьяченко Ю. Г.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГАРТУВАЛЬНОГО ПОТОКУ НА РІВЕНЬ НАПРУЖЕНЬ В МЕТАЛЕВИХ ВИРОБАХ

Одним з найважливіших факторів, що впливають на ефективність і конкурентоспроможність сучасних машин і механізмів, є механічні властивості й службові характеристики їх комплектуючих виробів і деталей, виготовлених з металів і сплавів (міцність, в'язкість, пластичність, довговічність, зносостійкість, схильність до руйнування і т. п.). Найчастіше результати роботи вчених, конструкторів і технологів по створенню високотехнологічного обладнання зводяться нанівенць через недостатній рівень і однорідність механічних властивостей їх окремих агрегатів і деталей. Досягнення необхідного рівня механічних властивостей будь-яких деталей і виробів з металу можливо за рахунок його легування або термообробки. Термообробка виробів є найекономічнішим та найефективнішим засобом забезпечення комбінації оптимального комплексу міцностних і пластичних характеристик металу. Сучасні технології термозміцнення дозволяють забезпечити істотне підвищення міцності виробів, підвищену в'язкість руйнування, особливо при низьких температурах, при збереженні досить високого рівня пластичності. Службові характеристики термозміцнених виробів (довговічність, зносостійкість, схильність до руйнування і т. п.) значно вище, ніж не термооброблених. Крім того, суттєво знижується собівартість продукції, тому що необхідний рівень механічних властивостей забезпечується без використання або при мінімізації дорогих легуючих добавок у метал [1].

Наслідком нерівномірності й неоднорідності об'ємних змін у виробках при охолодженні в них виникають термічні, а у випадку протікання структурних перетворень – і фазові залишкові напруження, що впливають на надійність, довговічність і корозійну стійкість. Тому питання оптимізації залишкових напружень у металевих термооброблених деталях становить значний практичний інтерес.

Одним із сучасних методів підвищення механічних властивостей металевих матеріалів є використання в якості гартівного середовища спреєрного водоповітряного потоку. Гартування здійснюється за допомогою установки, що дозволяє генерувати водоповітряні потоки. Її суть полягає в подачі на поверхню нагрітого виробу охолоджувача за допомогою спеціальних форсунок [2]. У якості охолоджувача можуть застосовуватися вода, повітря або водоповітряна суміш.

Попередньо нагрітий до температури гартування виріб після необхідної витримки в печі при заданій температурі переноситься в робочу камеру установки, куди подається водоповітряний потік, що пройшов через водокрапельну форсунку, встановлену на шляху руху води й повітря. Відбувається охолодження виробу із заданою швидкістю за рахунок однофазного або двофазного (водяного або водоповітряного) потоку [3].

Швидкість охолодження виробу регулюється збільшенням або зменшенням витрати охолоджувальної рідини. Вплив крапельного потоку гартівного середовища в процесі охолодження сталі забезпечує, в порівнянні із загартуванням у традиційних середовищах (вода, мастило), більш високу дисперсність продуктів мартенситного перетворення й продуктів розпаду мартенситу в ході наступного відпуску. У результаті загартовані із застосуванням крапельного потоку сталеві вироби після остаточної термічної обробки мають підвищені механічні властивості: міцність, пластичність, ударну в'язкість [4]. Проте даних про вплив регульованого гартування на властивості сталевих виробів недостатньо.

Метою даної роботи є дослідження впливу регульованого водоповітряного потоку при гартівному охолодженні на рівень і знак залишкових напруг у сталях.

Залишкові напруги після гартування діляться на температурні й фазові. Щоб виключити вплив останніх, внутрішні (залишкові) напруження визначалися на зразках у формі усадочних скоб (рис. 1) зі сталі аустенітного класу 08X18H12T (C – 0,08 %, Cr – 18 %, Ni – 12 %, Ti – 0,7 %), у якій відсутнє мартенситне перетворення в області позитивних температур.

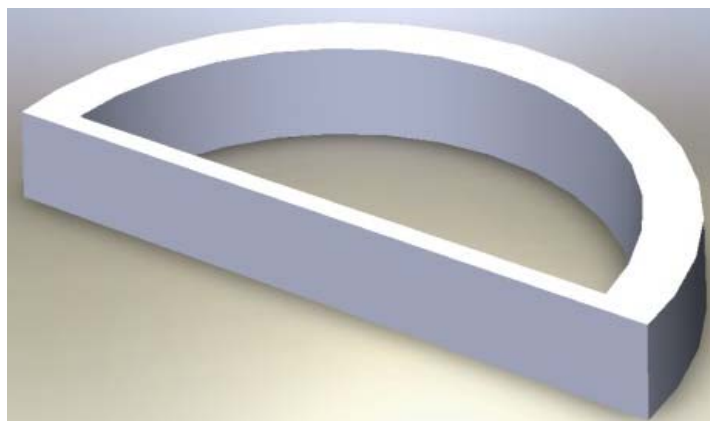


Рис. 1. Усадочна скоба

Скоби піддавалися нагріванню до температури 890 °С. Охолодження зразків проводилося у воді й у водоповітряному потоці. Отримані значення величин залишкових напружень наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Значення залишкових напруг у зразках зі сталі 08X18H12T після загартування

Режим гартування	Властивості		
	Середовище охолодження	HRB	$\sigma_{ост}$ , МПа
890	вода	65–75	29
	водоповітряна суміш	65–75	–18

У відповідності до наведених у таблиці результатів, обробка на стенді водоповітряним потоком впливає не тільки на величину, але й на знак залишкових напружень, при цьому сама величина напружень зменшується.

Надалі був вивчений вплив водоповітряного потоку на напружено-деформований стан сталі 40ХН при термообробці.

Для сталі 40ХН, як і для багатьох інших низьколегованих конструкційних сталей, поширеним способом надання необхідних механічних і експлуатаційних властивостей є гартування з наступним відпуском. Серед інших видів термічної обробки гартування виділяє висока швидкість охолодження після нагрівання, що забезпечує аустенітний стан, який є необхідним в більшості випадків для переохолодження аустеніту до температури початку мартенситного перетворення. Критична швидкість охолодження може становити сотні градусів у секунду. У результаті при охолодженні термічні часові напруження, що виникають за рахунок градієнта температур за об'ємом виробу, можуть перевищувати значення межі текучості

(при даній температурі), викликати пластичну деформацію, і після вирівнювання температурного поля в зовнішніх шарах виробу будуть мати місце стискаючі (негативні), а у внутрішніх шарах – розтягувальні (позитивні) залишкові термічні напруження.

До пластичної деформації матеріалу приводять фазові структурні напруження, які виникають у ході мартенситного перетворення, що супроводжується збільшенням об'єму. Залишкові фазові напруження в зовнішніх шарах – позитивні, у внутрішніх – негативні, і таким чином, мають знаки, протилежні знакам залишкових термічних напружень.

Фазові напруження складаються з термічними й залежно від співвідношення їх величин можуть утворюватися різні епюри розподілу напружень по перетину. Залишкові напруження, що виникають у процесі гартування, повністю не усуваються навіть після високого відпуску, тому перед сучасними способами термообробки, включаючи комбіновані, стоїть задача по здійсненню ефективного управління напруженнями у виробках.

Були проведені дослідження впливу водоповітряного потоку на напруження в сталі 40ХН при гартуванні й рівня залишкових напруг у стандартно загартованих виробках після відпуску з водоповітряною обробкою. Дослідження проводилися на експериментальній установці, що генерує повітряні й водоповітряні потоки [2].

Нагрітий до температури гартування, що для сталі 40ХН становить 860 °С, зразок містився в установку. Швидкість охолодження регулювалася зміною витрати охолоджувальної рідини, у якості якої використовувався водоповітряний потік.

У ході оцінки впливу водоповітряного потоку на сталь у процесі гартівного охолодження були проведені дослідження її впливу на рівень напружень і деформацій при гартуванні. Порівняння величин напружень при стандартній й експериментальній обробках здійснювалося за допомогою зразків зі сталі 40ХН довжиною 130 мм і радіусом 50 мм (рис. 2).

Відстань між точками зразків під дією гартівних напружень складала 0,9 мм при стандартному гартуванні в мастилі й 0,4 мм при гартуванні у водоповітряному потоці.

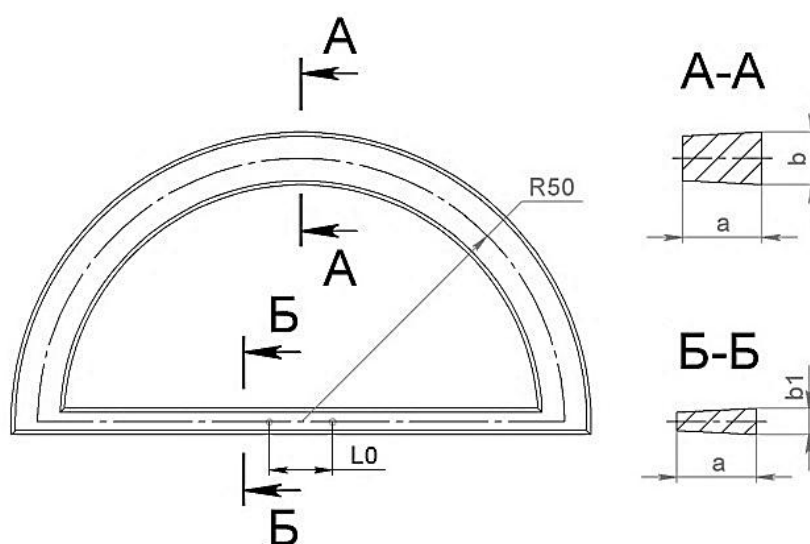


Рис. 2. Параметри усадочної скоби

Середнє значення найбільших тангенціальних залишкових напружень в усадочних скобах, загартованих у мастилі, складало – 86,5 МПа. Середнє значення максимальних тангенціальних залишкових напружень у зразках, загартованих в установці під впливом водоповітряного потоку, складало 22,6 МПа, що свідчить про перевагу в них фазових залишкових

напружень. Це може бути пояснене більш повним перетворенням аустеніт-мартенсит при гартуванні в водоповітряному потоці, про що говорить підвищення твердості з 51 одиниць HRC після гартування в мастилі до 54 одиниць HRC після гартування в установці.

Низьке значення фазових залишкових напружень є результатом значної дисперсності продуктів мартенситного перетворення в порівнянні зі стандартним гартуванням і відповідно менших напружень і деформацій, викликаних структурними перетвореннями, а також релаксацією залишкових напружень під дією водоповітряного потоку. Максимальні сумарні значення напружень виникають у місцях концентраторів залишкових напружень, що сприяє, поряд із загальним зменшенням рівня залишкових напружень, також і зниженню їх числа.

Надалі були проведені дослідження впливу водоповітряних потоків у процесі охолодження після відпуску стандартно загартованих у мастилі зразків зі сталі 40XH на рівень залишкових напружень. Дані, отримані за допомогою усадочних скоб, показують, що залишкові напруження після відпуску з водоповітряною обробкою в середньому на 30 % менші, чим залишкові напруження в зразках, що не зазнали водоповітряного впливу. Нагрівання при відпуску зменшує опір руху дислокацій і полегшує їх переміщення під впливом водоповітряного потоку, а значить, і релаксацію залишкових напружень, а крім того, відбувається згладжування нерівномірності розподілу залишкових напружень, що приводить до викривлення. У результаті, розподіл залишкових напружень стає більш плавним, тому релаксація рівномірно розподілених залишкових напружень із часом не буде приводити до нерівномірних деформацій, а зміна розмірів виробу буде зведена до мінімуму при збереженні його форми.

## ВИСНОВКИ

За результатами досліджень можна зробити висновок про те, що вплив регульованого водного або водоповітряного потоку, створеного спреєрною установкою, дозволяє знизити рівень напружень у металевих виробках і зменшити деформації. При цьому охолоджувальна здатність установки може варіюватися від швидкості, що перевищує швидкість охолодження в мастилі, до швидкості охолодження повітряним потоком.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Липунов Ю. І. (ВАТ «ВНИИМТ») Регулируемое охлаждение – как один из способов повышения прочностных характеристик стального проката и изделий из него [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.vniimt.ru/pdf/pub/80\\_VNIIMT\\_Controlled\\_cooling-as\\_one\\_way\\_to\\_improvethstrength\\_properties\\_of\\_rolled\\_steel\\_and\\_articles\\_thereof.pdf](http://www.vniimt.ru/pdf/pub/80_VNIIMT_Controlled_cooling-as_one_way_to_improvethstrength_properties_of_rolled_steel_and_articles_thereof.pdf).
2. Дьяченко Ю. Г. Оборудование для исследования процессов охлаждения массивных стальных изделий / Ю. Г. Дьяченко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2016. – № 1 (37). – С. 34–37.
3. Большаков В. И. Оборудование термических цехов, технологии термической и комбинированной обработки металлопродукции / В. И. Большаков, И. Е. Долженков, А. В. Зайцев. – Днепропетровск : «РИА Днепр-VAL», 2010. – 619 с.
4. Иванов Д. А. Влияние пульсирующего газового потока на напряженное состояние термообработанных деталей / Д. А. Иванов // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 2. – С. 64–67.