

**Каплун П.В.,
Гончар В.А.,
Паршенко А.В.**

Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, Україна
E-mail: rogervova@gmail.com

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ГАРТУВАННЯ НА КОНТАКТНУ ВИТРИВАЛІСТЬ СТАЛІ X12 ПРИ ТЕРТІ КОЧЕННЯ

УДК 621.891

DOI:10.31891/2079-1372-2018-90-4-80-84

Наведені результати експериментальних досліджень впливу температури гартування сталі X12 на її твердість, вміст залишкового аустеніту в структурі матеріалу та контактну витривалість при терті кочення в мастилi I-20. Показано, що з підвищенням температури гартування сталі збільшується кількість залишкового аустеніту в структурі матеріалу та зменшується його твердість. Встановлена нелінійна залежність між вмістом залишкового аустеніту в сталі та її контактною витривалістю при терті кочення. Показано, що в процесі кочення частина залишкового аустеніту перетворюється в мартенсит під дією пластичної деформації. В результаті чого відбувається підвищення твердості поверхні. Визначено оптимальне значення вмісту залишкового аустеніту 30 % в структурі сталі X12, при якому досягається її максимальна контактна витривалість.

Ключові слова: контактна витривалість, гартування, залишковий аустеніт, твердість.

Вступ

В техніці велика кількість деталей машин і вузлів (підшипники кочення, колеса поїздів та кранів, зубчасті колеса, подавальні вальці, накатні ролики тощо) працюють при терті кочення. Підвищення їх довговічності є актуальною проблемою. Вихід з ладу більшості конструкційних елементів при цьому відбувається від викришення поверхні від втоми матеріалу. Дослідженням процесів контактної втоми при терті кочення присвячено багато праць [1-11], в більшості яких розглядається робота однорідних матеріалів [1-5], що мають певні обмежені можливості з підвищення контактної витривалості при коченні.

В основі явищ контактної втоми лежать ті ж процеси, що і при всякому іншому виді втоми [5, 7]. Разом з тим, в явищах втоми при змінному контактному навантаженні беруть участь і процеси, що не зустрічаються в інших видах втоми. До цих специфічних процесів втоми слід віднести явища тертя, зношування, окислення при терті, теплові процеси. Ці додаткові специфічні процеси можуть суттєво вплинути на процес контактної втоми. Втомне викришування і відшаровування робочих поверхонь кілець і тіл кочення обумовлюється результатом розвитку мікротріщин, що утворюються через повторні мікропластичні зсуви перенапруженого матеріалу. Втомні пошкодження локалізуються в місцях концентрації напружень на поверхні і в підповерхневих шарах. В більшості випадків руйнування починається з поверхні [8, 9]. Утворення підповерхневих тріщин, що зв'язані з контактною втомою металу при дії контактних напружень, спостерігається в матеріалів з неоднорідною структурою (азотованих, цементованих і з поверхневим гартуванням) і пояснюється додатковим впливом залишкових напружень [10, 11].

Велика кількість досліджень [12-16] визначають, що одним з основних факторів, який має найбільший вплив на контактну витривалість, є твердість поверхні матеріалу на площадці контакту. Встановлена прямопропорційна залежність між межею втомного викришення і твердістю однорідних матеріалів при різній термічній обробці [13, 14]. Таку ж залежність контактної витривалості від твердості отримано [12] для зубчастих коліс після цементації та нітроцементації. Автором [13] запропоновані емпіричні залежності межі втомного викришення від твердості матеріалу по Брінелю, а роботах [5, 16] запропоновано контактну витривалість оцінювати величиною приведенного поверхневого напруження.

Твердість металів залежить від структури матеріалу, яку можна змінювати з допомогою термічної обробки. Наявність в структурі сталей після термічної обробки залишкового аустеніту приводить до зниження їх твердості і впливає на експлуатаційні характеристики деталей машин. Вплив кількісного вмісту залишкового аустеніту на довговічність сталей в різних умовах експлуатації різна. В зв'язку з цим має науковий і практичний інтерес дослідження впливу вмісту залишкового аустеніту при різних видах термічної обробки на конструкційних елементах.

Метою дослідження є визначення впливу гартування від різних температур сталі X12 на її довговічність при терті кочення.

Методика експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження довговічності при циклічному контактному навантаженні сталей проводилися на універсальній установці [17], що дозволяє проводити випробування зразків при терті кочення з точковим і лінійним контактами. Дослідження проводилися плоскій поверхні зразків діаметром 40 мм із сталі X12. Зразки мали різну термічну обробку і гартувалися від температур в інтервалі від 900 до 1120°C і мали вміст залишкового аустеніту від 20 до 90 % та, відповідно, твердість основи, що змінювалася в інтервалі від 7960 до 5280 МПа. Методами металографії визначалися структура та твердість матеріалу з використанням мікроскопів МІМ-9 і ПМТ-3. Вимірювання вмісту залишкового аустеніту в досліджуваних зразках проводилися за допомогою аустинометра МАК-2М. Тілами кочення були кульки діаметром 7,14 мм при точковому контакті, які мали твердість HRC 63 і рухалися по колу діаметром 30 мм. Випробування проводилися при максимальному тиску на площадці контакту 2140 МПа в середовищі мастила I-20 до появи пітингу на доріжках кочення.

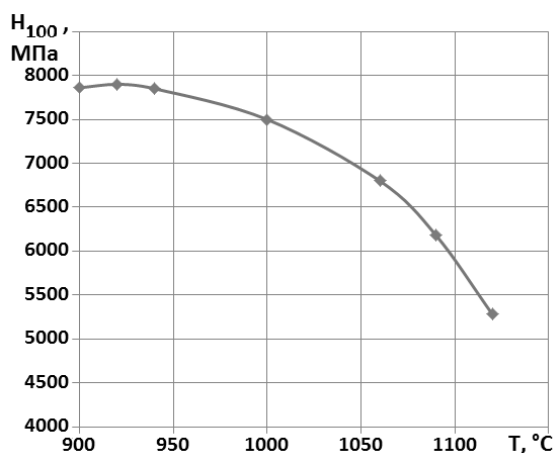
Результати досліджень

В табл. 1 і на рис. 1 наведені результати досліджень твердості та вмісту залишкового аустеніту в сталі після гартування від різних температур з яких видно, що в результаті термічної обробки сталі X12 в структурі матеріалу утворюється значна кількість залишкового аустеніту, яка зростає з підвищенням температури гартування і досягає 90 % при температурі 1120°C. Це приводить, відповідно, до зменшення мікротвердості матеріалу від $H_{100} = 8520$ до 5280 МПа.

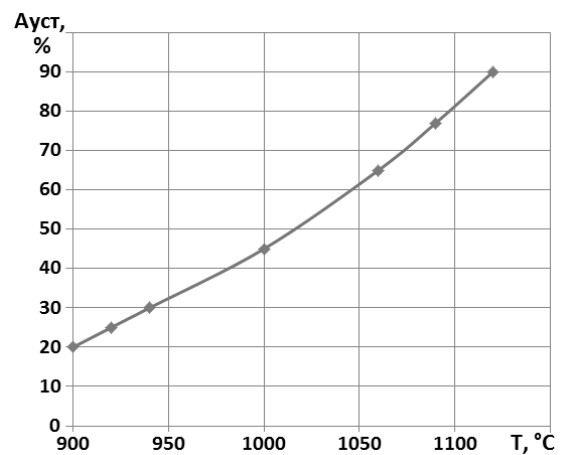
Таблиця 1

Кількість аустеніту та мікротвердість зразків після гартування

| № п/п | Температура гартування, °C | Кількість залишкового аустеніту до випробування, % | Мікротвердість зразка до випробування H_{100} , МПа |
|-------|----------------------------|--|---|
| 1 | 900 | 20 | 7960 |
| 2 | 920 | 25 | 8050 |
| 3 | 940 | 30 | 7980 |
| 4 | 1000 | 46 | 7600 |
| 5 | 1060 | 65 | 6870 |
| 6 | 1090 | 77 | 6280 |
| 7 | 1120 | 90 | 5380 |



а



б

Рис. 1 – Вплив температури гартування сталі X12 на мікротвердість поверхні (а) та вміст залишкового аустеніту (б) в структурі матеріалу

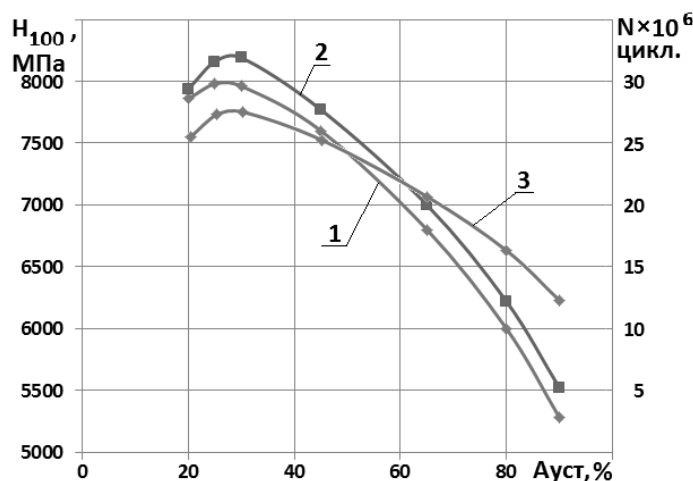
В табл. 2 та на рис. 2 наведені результати випробувань на довговічність при терті кочення зразків гатованої сталі X12 з різним вмістом залишкового аустеніту. З таблиці видно, що при гартуванні

максимальну довговічність $25,53 \cdot 10^6$ циклів мали зразки з вмістом в структурі сталі 30 % залишкового аустеніту, при якому була максимальна твердість матеріалу. При збільшенні залишкового аустеніту відбувається значне зменшення довговічності зразків і при вмісті залишкового аустеніту 90 % вона складала всього $10,28 \cdot 10^6$ циклів навантаження, що в 2,5 рази менше в порівнянні з максимальним значенням. Встановлена нелінійна залежність між вмістом залишкового аустеніту в сталі та її контактною витривалістю при терті кочення. В процесі циклічного навантаження при коченні відбувається деформування поверхневих шарів матеріалу, що приводить до розпаду залишкового аустеніту і перетворення його в мартенсит. Це викликає підвищення твердості деформованих шарів матеріалу і тим більше, чим більше було мартенситного перетворення. Вплив мартенситного перетворення на підвищення твердості та довговічності при терті кочення можна оцінювати з допомогою коефіцієнта повноти мартенситного перетворення K_m (відношення кількості остаточного аустеніту, що розпався, до його початкового значення), які зростають з його підвищенням. Для сталі X12 після гартування $K_m = 0,28 - 0,3$. В процесі мартенситного перетворення відбувається часткове поглинання енергії деформування, що разом з підвищенням твердості деформованого шару сприяє підвищенню довговічності сталі.

Таблиця 2

**Результати випробувань на довговічність зразків
із сталі X12 після гартування та нітрогартування
з різним вмістом залишкового аустеніту**

| № п/п | Кількість залишкового аустеніту до випробування, об. % | Мікротвердість до випробування H_{100} , МПа | | Мікротвердість доріжки кочення після випробувань H_{100} , МПа | Кількість залишкового аустеніту, що розпався, об. % | Довговічність зразка, $N \cdot 10^6$ циклів |
|------------|--|--|--------|--|---|---|
| | | поверхні | основи | | | |
| гартування | | | | | | |
| 1 | 20 | 7960 | 7960 | 7940 | 6 | 25,71 |
| 2 | 25 | 8050 | 8050 | 8160 | 8 | 27,82 |
| 3 | 30 | 7880 | 7980 | 8190 | 9 | 27,93 |
| 4 | 45 | 7600 | 7600 | 7770 | 15 | 25,65 |
| 5 | 65 | 6870 | 6870 | 7000 | 20 | 21,66 |
| 6 | 80 | 6280 | 6280 | 6320 | 24 | 16,83 |
| 7 | 90 | 5380 | 5380 | 5520 | 28 | 12,67 |



**Рис. 2 – Залежність довговічності зразків із сталі X12
після гартування з різним вмістом залишкового аустеніту:**
1 – мікротвердість до випробувань;
2 – мікротвердість після випробувань;
3 – довговічність

Дослідження показали, що на довговічність зразків із сталі Х12 з структурою залишкового аустеніту при терті кочення впливають не тільки зміна мікротвердості поверхні зразка та кількість залишкового аустеніту, що розпався, але й здатність матеріалу до релаксації мікронапружень та розсіювання енергії.

Висновки

При гартуванні сталі Х12 від різних температур в її структурі утворюється різна кількість залишкового аустеніту (від 20 до 90 %), яка має великий вплив на її довговічність при терті кочення. В процесі циклічного навантаження при коченні відбувається деформування поверхневих шарів матеріалу, що приводить до розпаду залишкового аустеніту і перетворення його в мартенсит. При цьому поглинається частка енергії, що виділяється на площадці контакту при деформуванні сталі. Мартенситне перетворення залишкового аустеніту сприяє підвищенню твердості поверхні та контактної витривалості матеріалу.

Література

1. Ковальский Б. С. Расчет деталей на местное сжатие. ХВКИУ, Харьков. – 1967. – 222 с.
2. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / [пер. с англ. В.Э. Наумова, А.А. Спектора]. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
3. Пинегин С. В. Работоспособность деталей подшипников. М., Машгиз, 1949.–168 с.
4. Перель, Л.Я. Подшипники качения: Расчет, проектирование и обслуживание опор : справочник / М. : Машиностроение, 1983.– 543 с.
5. Трубин Г.К. Контактная усталость материалов для зубчатых колес. М, Машгиз, 1962, – 403 с.
6. Зинченко В.М. Инженерия поверхности зубчатых колес методами химико-термической обработки. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001.–303 с.
7. Сосновский Л. А. Махутов Н. А., Трощенко В. Т. /О развитии представлений об усталости металлов при объемном нагружении и трении // Тр. VI-го Международного симпозиума по трибофатике (ISTF 2010), 25 октября - 1 ноября 2010 г., Минск (Беларусь) / -Минск: БГУ, 2010. -Т. 1. –С. 77-84.
8. Грозин Б.Д., Костецкий Б.И. Износ в зубчатых передачах// «Вестник машиностроения» № 12, 1947, – 236 с.
9. Осипян А.В. Экспериментальное исследование питтинговых разрушений в зубчатых передачах. «Труды НАТИ», вып. 43, Машгиз, 1945, –215 с.
10. Пинегин С.В. Контактная прочность и сопротивление качению. М., «Машиностроение», 1969,– 245 с.
11. Каплун П. В., Ляшенко Б. А. Визначення залишкових напружень в азотованих шарах після іонного азотування за показниками мікротвердості // Проблеми міцності. 2016. № 6. С. 56-63.
12. Тескер Е.И. Контактная прочность цементованных и нитроцементованных зубчатых колес.//МиТОМ.1988.№2.С.46—50.
13. Бакэнгем Е. Руководство по проектированию зубчатых передач, части 2 и 3. Машгиз, 1948.
14. Мороз Л.С., Шураков С.С. Проблема прочности цементованной стали Л. :Минтрансмаш, 1947, .228с.
15. Залко А.И. Сопротивление усталости высоконагруженных зубчатых колес из различных сталей//Вестник машиностроения. 1988. №8. С.57—59.
16. Саверин М.М. Контактная прочность металлов. (ЦНИИТМАШ, кн.2), Машгиз, 1946.
17. Каплун П.В., Гончар В.А., Паршенко А.В., Спосіб випробувань на контактну витривалість при коченні з проковзуванням, Патент №106181 UA. МПК (2006.01):G01L 1/00 (Опубліковано 25.04.2016, бюл. №8).

Надійшла в редакцію 09.01.2019

Kaplun P.V., Gonchar V.A., Parshenko A.V. **The influence of termination of the getting on contact extent steel x12 at termination.**

The results of experimental studies of the influence of the tempering temperature of X12 steel on its hardness, the content of residual austenite in the structure of the material, and the contact durability of the rolling gravity in the lubricant and-20. It is shown that as the temperature of the quenching of steel increases, the amount of residual austenite increases in the structure of the material, which increases with a tempering temperature and reaches 90% at a temperature of 1120 ° C. This leads, accordingly, to a decrease in the microhardness of the material from $H_{100} = 8520$ to 5280 MPa. Installed non-linear dependence between the content of residual austenite in the steel and its contact endurance when rolling friction. It is shown that in the process of rolling a portion of the residual austenite is transformed into martensite under the action of plastic deformation. Resulting in increase of surface hardness and durability of steel. The influence of the martensitic transformation to increase the hardness and durability in the rolling friction can be estimated using the ratio of the completeness of the martensitic transformation K_m , which for X12 steel after quenching is in the range of 0.28 – 0.3 mm. In the process of martensitic transformation there is a partial absorption of deformation energy, which, together with the increase of the hardness of the deformed layer, helps to increase the durability of steel. The optimal value of retained austenite content of 30% in the structure of X12 steel at which the maximum contact her endurance.

Key words. contact endurance, hardening, residual austenite, hardness.

References

1. Koval'skij B. S. Raschet detalej na mestnoe szhatie. HVKIU, Har'kov, 1967, 222 s.
2. Dzhonson K. Mehanika kontaktnogo vzaimodejstvija/ [per. s angl. V.Je. Naumova, A.A. Spektora]. M. Mir, 1989. 510 s.
3. Pinegin S. V. Rabotosposobnost' detalej podshipnikov. M., Mashgiz, 1949.–168 s.
4. Perel', L.Ja. Podshipniki kachenija: Raschet, proektirovanie i obsluzhivanie opor [Tekst] spravochnik. M. Mashinostroenie, 1983. 543 s.
5. Trubin G.K. Kontaktnaja ustalost' materialov dlja zubchatih kales. M, Mashgiz, 1962, 403 s.
6. Zinchenko V.M. Inzhenerija poverhnosti zubchatih koles metodami himiko-termicheskoj obrabotki. M.: Izd-vo MGTU im. N.Je.Baumana, 2001. 303 s.
7. Sosnovskij L. A. Mahutov N. A., Troshhenko V. T. /O razvitii predstavlenij ob ustalosti metallov pri ob'emnom nagruzenii i trenii. Tr. VI-go Mezhdunarodnogo simpoziuma po tribofatike (ISTF 2010), 25 oktjabrja 1 nojabrja 2010 g., Minsk (Belarus'). Minsk: BGU, 2010. T. 1. S. 77-84.
8. Grozin B.D., Kosteckij B.I. Iznos v zubchatyh peredachah/ / «Vestnik mashinostroenija» № 12, 1947, 236 s.
9. Osipjan A.V. Jeksperimental'noe issledovanie pittingovyh razrushenij v zubchatyh peredachah. «Trudy NATI», vyp. 43, Mashgiz, 1945, 215 s.
10. Pinegin S.V. Kontaktnaja prochnost' i soprotivlenie kacheniju. M., «Mashinostroenie», 1969, 245 s.
11. Kaplun P. V., Ljashenko B. A. Vznachennja zalishkovih napruzhen' v azotovanih sharah pislja ionnogo azotuvannja za pokaznikami mikrotverdosti. Problemi micnosti. 2016. № 6. C. 56-63.
12. Tesker E.I. Kontaktnaja prochnost' cementovannyh i nitrocementovannyh zubchatih koles. MiTOM.1988.№2.S.46–50.
13. Bakjengem E. Rukovodstvo po proektirovaniju zubchatih peredach, chasti 2 i 3. Mashgiz, 1948.
14. Moroz L.S., Shurakov S.S. Problema prochnosti cementovannoj stali L. Mintransmash, 1947, .228s.
15. Zalko A.I. Soprotivlenie ustalosti vysokonagruzhennyh zubchatyh koles iz razlichnyh stalej. Vestnik mashinostroenija. 1988. №8. S.57–59.
16. Saverin M.M. Kontaktnaja prochnost' metallov. (CNIITMASH, kn.2), Mashgiz, 1946.
17. Kaplun P.V., Gonchar V.A., Parshenko A.V., Sposib viprobuvan' na kontaktnu vitrivalist' pri kochenni z prokovzuvannjam, Patent №106181 UA. MPK (2006.01):G01L 1/00 (Opublikovano 25.04.2016, bjul. №8).