УДК 669.14.018

О. А. Кузін, С. А. Беспалов
НУ “Львівська політехніка”, кафедра фізики металів та матеріалознавства

ОПТИМІЗАЦІЯ МІКРОСТРУКТУРИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ОПОРУ КОНТАКТНОМУ РУЙНУВАННЮ ПОКРАЩАНИХ СТАЛЕЙ

© Кузін О. А., Беспалов С. А., 2000

Показано зниження інтенсивності зношування сталей 40Х і 40ХН при зменшенні розмірів субзерен, густини зернограничних карбідів після гартування від високих температур. Розвиток різнозернистості, збільшення розмірів субзерен та виділення на границях карбідів після гартування і високого відпуску, а також окрихчуючої обробки сприяє зниженню зносостійкості покращуваних сталей.

Decrease of wear severity of 40X and 40XH steels with decrease of subgrains size, density of grain-boundary carbides after hardening from high temperatures are showed. Development of variation in grain size, increase of subgrain size and precipitate carbides on boundary after hardening and high-temperature tempering and embrittlement is the cause of decrease of wear resistance of improvable steels.

Гартування з високим відпуском підвищує пластичність, в’язкість, опір розвитку тріщинам, знижує поріг холодноламкості сталей. Цей вид термічної обробки використовують при виготовленні деталей, які працюють в умовах контактної взаємодії, зокрема шестерень, валів, штампів. Режими термічної обробки, які застосовуються для покращання деталей, в більшості випадків розроблялись без врахування цієї взаємодії. Тому, для вибору оптимальних режимів термічної обробки необхідне встановлення зв’язку між кількісними характеристиками мікроструктури, структурно-енергетичним станом внутрішніх поверхонь розділу та зносостійкістю сталей.

Проводили дослідження сталей 40Х, 40ХН промислового виплавлення. З відпалених прутків вирізали заготовки, які гартували в маслі після нагрівання в соляній ванні до температур 860–1050 °С. Відпуск проводили при 600 °С з витримкою протягом двох годин та охолодженням у воді. Для зміни структурно-енергетичного стану внутрішніх поверхонь розділу частину зразків повторно відпускали при 520 °С протягом двох годин з подальшим охолодженням в печі. З метою отримання структури з різними кількісними параметрами час витримки в аустенітній області при гартуванні становив 30 і 80 хв. Визначали твердість, механічні властивості і зносостійкість сталей. Випробування на зношування проводили за схемою “диск – колодка” в режимі сухого тертя – ковзання. Параметри навантаження були наближені до експлуатаційних, що виникають в деталях коробок передач, виготовлених із покращених сталей. При цьому швидкість ковзання зразків становила 0,5 м/с, навантаження – 200 Н, час зношування – 10 год. Контртіло мало твердість HRC 42–44.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Структуру сталей вивчали на оптичному і електронному мікроскопах після іонно-плазмового травлення [1]. Проводили оцінку величини зерна, різнозернистості, сумарної площі поверхонь розділу і карбідних часточок.

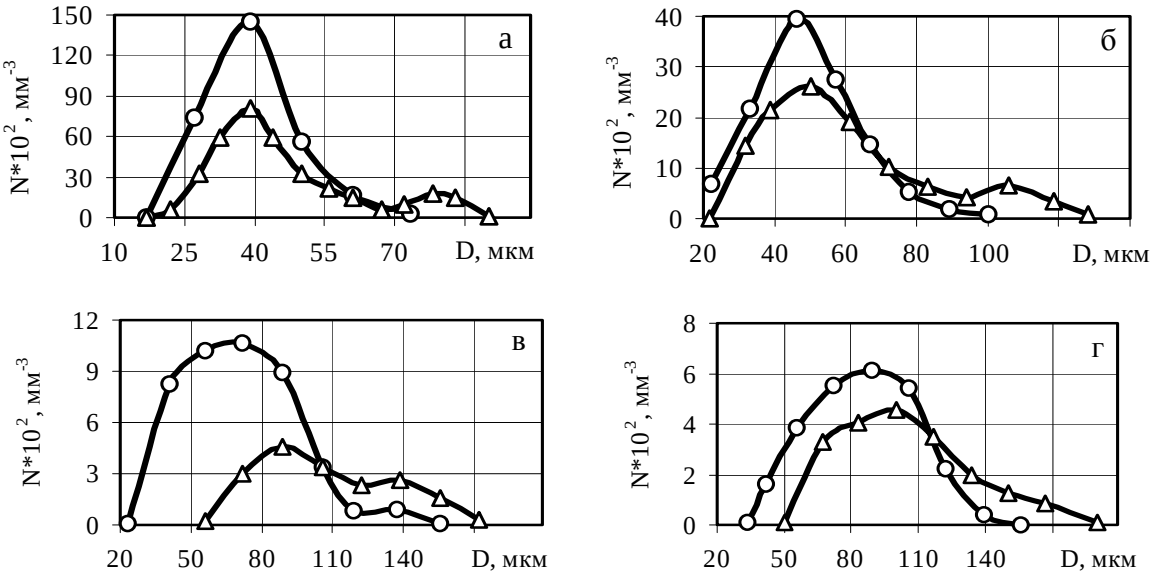

Рис. 1. Розподіл зерен за розмірами в сталі 40Х загартованій від температур 860 °С (а); 900 °С (б); 950 °С (в); 1050 °С (г):

Після гартування від температури 860 °С при витримці 30 хв в сталі 40Х отримується однорідне зерно розміром 38–43 мкм (рис. 1). При збільшенні часу витримки до 80 хв у структурі з'являються зерна розміром більше 80 мкм. Підвищення температури гартування до 900 °С супроводжується появою зерен розміром 45–55 мкм, розподіл яких при витримці під гартування 30 хв є рівномірний. Збільшення часу витримки сприяє появі в структурі груп зерен розміром 100–110 мкм. При гартуванні від 950 °С і витримці 30 хв в структурі виявляються зерна розміром 70–80 і 130–150 мкм. Витримка протягом 80 хв призводить до появи груп зерен розміром 80–100 і 130–150 мкм. Гартування від 1050 °С сприяє росту зерен після витримки 30 хв. При зростанні часу витримки частка зерен розміром 150–170 мкм збільшується.

У сталі 40ХН після гартування від 860 °С і витримки 30 хв отримується різнозерниста структура з групами зерен розміром 38–42 і 69–71 мкм (рис. 2). При витримці 80 хв збільшується розмір великих зерен. При температурі гартування 900 °С і витримці 30 хв у сталі отримується однорідна структура з зерном розміром 78–84 мкм. Збільшення часу витримки під гартування приводить до появи групи зерен розміром 146–152 мкм. При підвищенні температури гартування до 950 °С і витримці 30 хв у структурі чітко виявляються дві групи зерен розміром 92–100 і 176–182 мкм. При витримці 80 хв зростає частка великих зерен. Після гартування від 1050 °С і витримки 30 хв отримано різнозернисту структуру із зернами розміром 104–110 та 192–200 мкм. Частка зерен більшого розміру зростає при витримці 80 хв.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

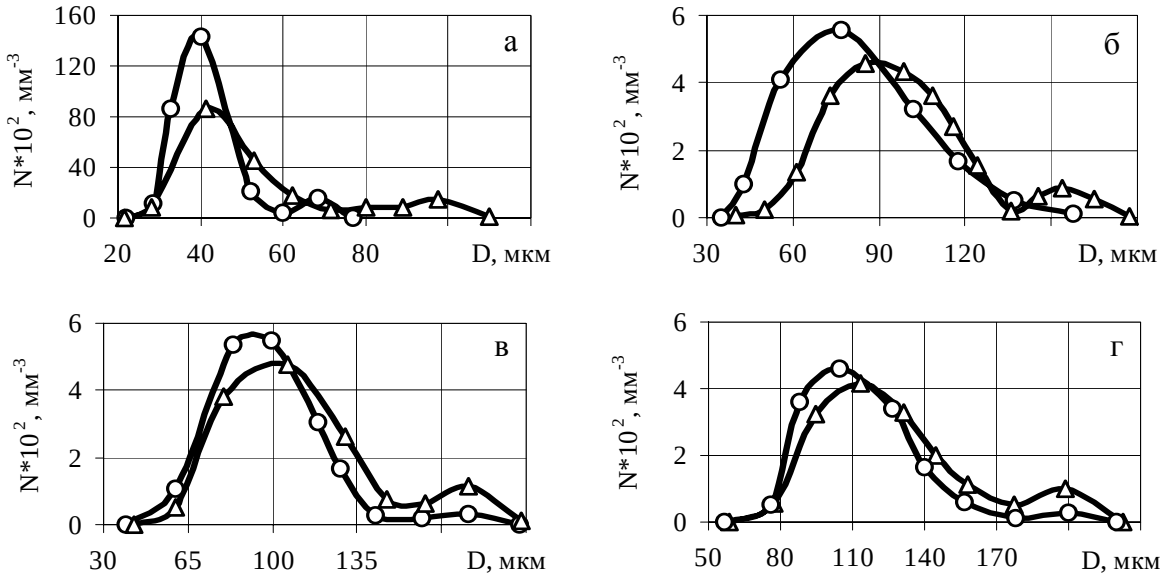

Рис. 2. Розподіл зерен за розмірами в сталі 40ХН загартованої від температур 860 °С (а); 900 °С (б); 950 °С (в); 1050 °С (г):

витримка під гартування 30 хв. витримка під гартування 80 хв.

Випробування показали підвищення інтенсивності зношування досліджених сталей при збільшенні часу витримки під гартування. У сталі 40Х зносостійкість знижується найбільше після гартування від температури 950 °С (рис. 3, а), при якій розвивається різнозернистість і частка зерен великого розміру (130–140 мкм) становить 38–42 % від загальної їх кількості. Ріст зерна при гартуванні від 1050 °С, що не супроводжується розвитком різнозернистості, менше впливає на зносостійкість сталі.

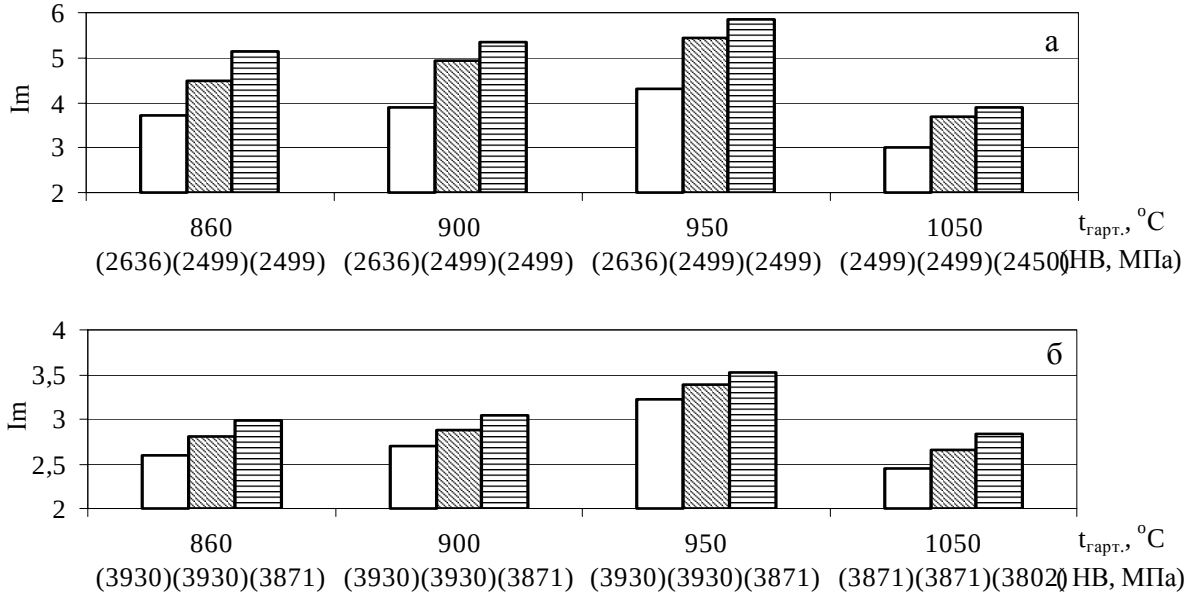

Рис. 3. Вплив температури гартування на інтенсивність зношування сталей 40Х (а) і 40ХН (б):

витримка під гартування 30 хв., в'язкий стан витримка під гартування 80 хв., в'язкий стан

витримка під гартування 80 хв., окрихчений стан

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

У сталі 40ХН інтенсивне зношування спостерігається після гартування від 950 °С, а вплив часу витримки, пов'язаний із утворенням однорідніщого зерна при нагріванні (рис. 3, б).

Вторинний відпуск з повільним охолодженням підвищує інтенсивність зношування досліджуваних сталей. У сталі 40ХН зміна зносостійкості відбувається в меншому ступені, ніж сталі 40Х.

Необхідно зазначити, що структура, отримана при різних температурно-часових режимах обробки досліджених сталей, більше впливає на інтенсивність зношування, ніж на їх твердість. Так, після гартування від 1050 °С твердість зменшується, а зносостійкість зростає як у сталі 40Х, так і у сталі 40ХН.

Контактна взаємодія зразка і контртіла при випробуваннях на зношування супроводжується процесами деформування, утворення і руйнування фрикційних зв'язків на локальних ділянках поверхні – плямах контакту. Розрахунок розмірів показав, що їх фактичний діаметр становить 41–42 мкм [2, 3]. Існує велика ймовірність попадання в пляму контакту перерізів кількох зерен, субзерен, границь і потрійних зеренних стиків. Тому, властивості цих елементів структури, їх поведінка при навантаженні визначають опір контактному руйнуванню досліджуваних сталей.

Ріст зерна і особливо розвиток різнозернистості супроводжуються підвищенням інтенсивності зношування сталей після гартування від температур 900 і 950 °С. Але після гартування від 1050 °С, незважаючи на збільшення розміру зерен, зносостійкість підвищується. Для виявлення причин такої зміни зносостійкості аналізували будову субзеренної структури і карбідної фази залежно від температури гартування після іонно-плазмового травлення зразків. Дослідження сталі 40Х показали, що після гартування від температури 860 °С і витримки 30 хв у структурі виявляються кулеподібні субзерна розміром 1–2 мкм, а також еліпсоподібні шириною 1–2 мкм і довжиною 5–6 мкм (рис. 4).

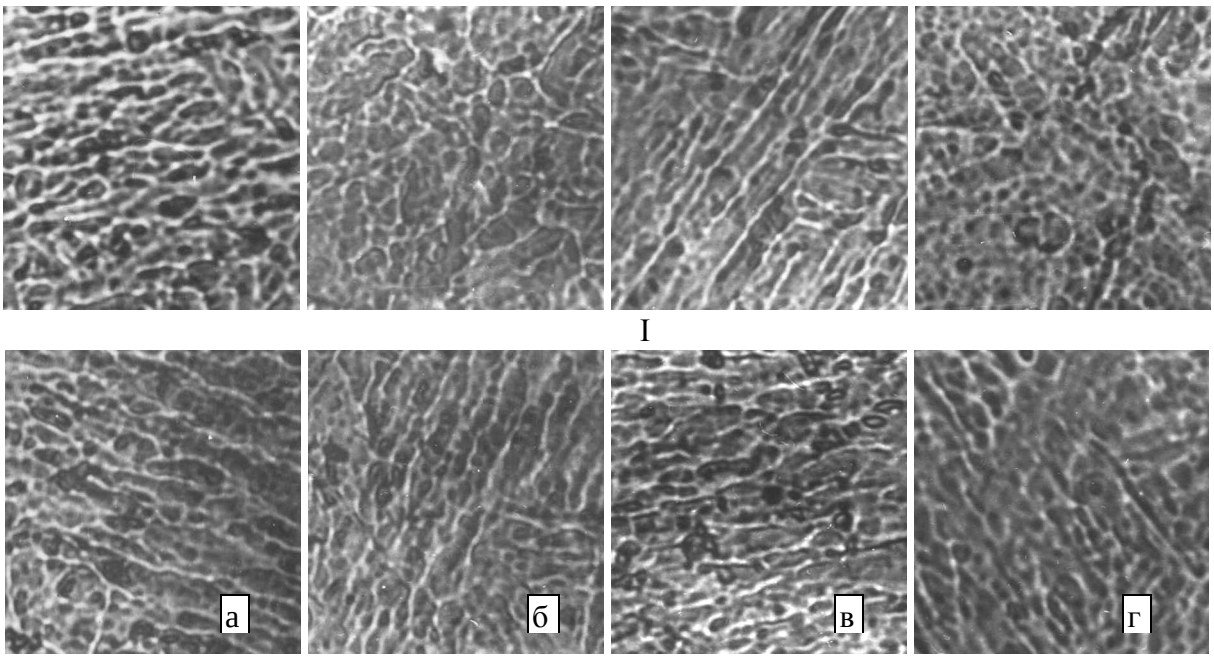

Рис. 4. Мікроструктура сталі 40Х загартованої від температур
860 °С (а); 900 °С (б); 950 °С (в); 1050 °С (г):
I – витримка під гартування 30 хв; II – витримка під гартування 80 хв ×1500

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Після гартування від 900 °С частка витягнутих субзерен зростає. Гартування від 950 °С призводить до появи тільки витягнутих субзерен шириною 2–3 мкм і довжиною 8–10 мкм. Після гартування від 1050 °С у сталі виявляються дрібні однорідні кулеподібні субзерна розміром 2–3 мкм. Збільшення часу витримки при гартуванні до 80 хв сприяє росту субзерен. Після гартування від 860 °С ширина витягнутих субзерен збільшується до 3–4 мкм, а кулеподібних – до 4–6 мкм. При гартуванні від 950 °С витягнуті субзерна мають ширину 3–4 мкм і довжину 10–12 мкм. Після гартування від 1050 °С розмір кулеподібних субзерен становить 3–5 мкм.

У сталі 40ХН підвищення температури гартування призводить до змін субзеренної структури, аналогічних для сталі 40Х. Після гартування від 860 °С зустрічаються витягнуті і кулеподібні субзерна. При гартуванні від 950 °С переважно витягнуті – шириною 2–3 мкм і довжиною 10–12 мкм (рис. 5). Після гартування від 1050 °С витягнуті субзерна розбиваються на кулеподібні розміром 2–4 мкм. Із збільшенням часу витримки розмір субзерен зростає.

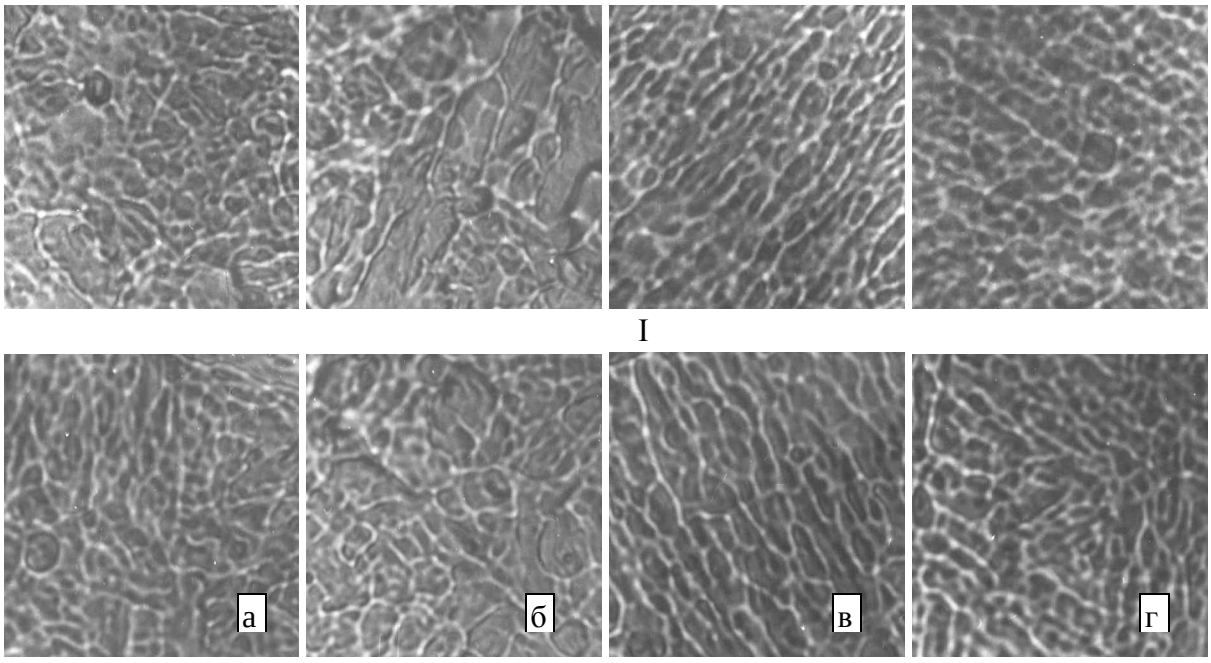

Рис. 5. Мікроструктура сталі 40ХН загартованої від температур
860 °С (а), 900 °С (б), 950 °С (в), 1050 °С (г):
I – витримка під гартування 30 хв; II – витримка під гартування 80 хв ×1500

Розрахунок методом січних показав, що площа міжсубзеренних границь має мінімальне значення після гартування від 950 °С і максимальне – після гартування від 1050 °С (рис. 6). При збільшенні часу витримки під гартування площа міжсубзеренних границь дещо зменшується, а окрихчуюча обробка суттєво на неї не впливає.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

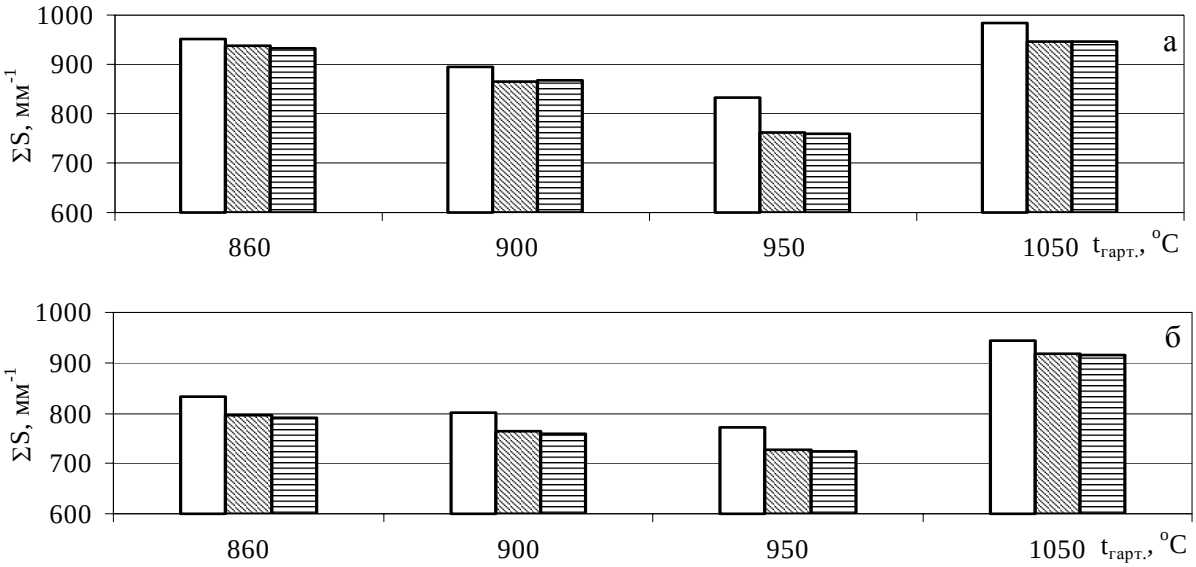

Рис. 6. Вплив температури гартування на площу міжсубзеренних границь покращаних сталей 40Х (а) і 40ХН (б) після покращання:

□ витримка під гартування 30 хв., в'язкий стан ▨ витримка під гартування 80 хв., в'язкий стан

⊟ витримка під гартування 80 хв., окрихчений стан

Аналіз карбідів показав зростання їх густини на міжсубзеренних границях сталей при підвищенні температури гартування до 950 °С (рис. 7). У сталі 40Х кількість карбідів на границях зростає у 2–2,2 раза, а в сталі 40НХ в 1,5–1,7 раза. Після гартування від 1050 °С густина карбідів на границях субзерен зменшується у сталі 40Х у 2,8–3,2 раза, а у сталі 40ХН в 1,8–2,2 раза. Вторинний відпуск з повільним охолодженням підвищує густину карбідів на границях субзерен після усіх температур гартування.

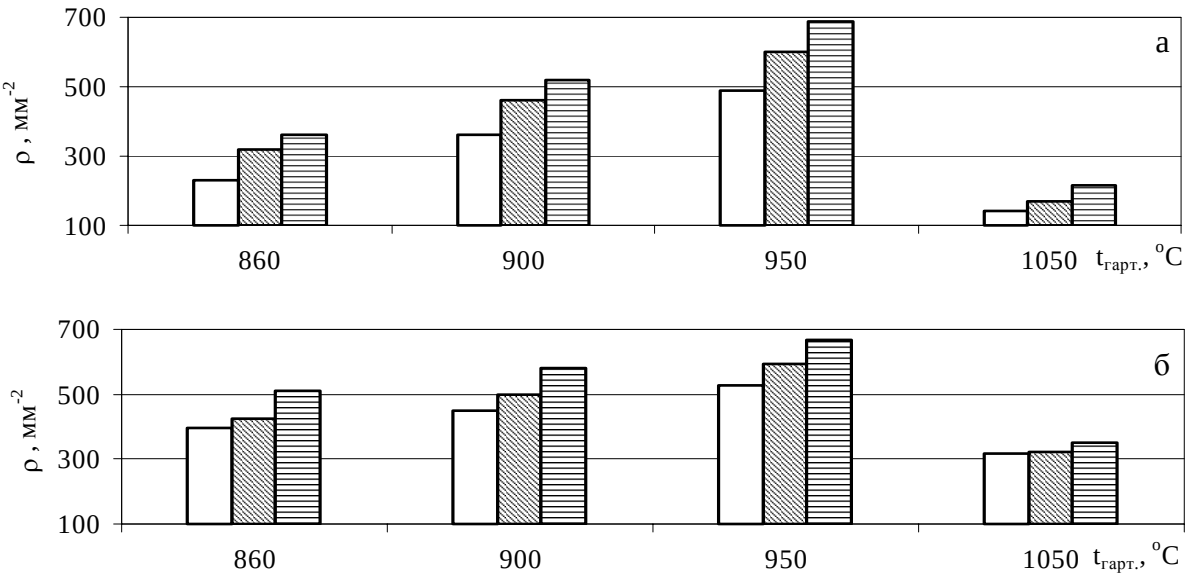

Рис. 7. Густина карбідних виділень на міжсубзеренних границях у сталях 40Х (а) і 40ХН (б) після покращання:

□ витримка під гартування 30 хв., в'язкий стан ▨ витримка під гартування 80 хв., в'язкий стан

⊟ витримка під гартування 80 хв., окрихчений стан

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Суттєвий вплив температурно-часових факторів термічної обробки на інтенсивність зношування пов'язаний із формуванням мікроструктури з різними кількісними характеристиками.

Висока інтенсивність зношування після гартування від температур 900 і 950 °С зумовлена зменшенням площі міжсубзеренних границь у сталях, зростанням на них густини карбідів, локалізацією процесів деформації і руйнування. Ріст зносостійкості після гартування від 1050 °С зумовлений збільшенням площі міжсубзеренних границь, однорідним розподілом карбідів у структурі сталей.

На основі проведених досліджень, можна зробити такі висновки:

1. Підвищення температури нагрівання до 950 °С і часу витримки при гартуванні зменшує зносостійкість покращених сталей, що пов'язано із розвитком різнозернистості, зменшенням площі міжсубзеренних границь, збільшенням на них густини карбідів.

2. Подрібнення субзерен, підвищення однорідності розподілу карбідів приводить до зростання зносостійкості покращених сталей після гартування від 1050 °С.

3. Окрихчуюча обробка підвищує інтенсивність зношування сталей незалежно від температури гартування за рахунок зростання густини зернограничних карбідів.

1. Кузін О., Мещерякова Т., Беспалов С. Використання іонно-плазмового травлення для аналізу структурно-енергетичного стану внутрішніх поверхонь розділу // Вісн. ДУ "Львівська політехінка". 1999. № 359. С. 73–76. 2. Свириденок А.И., Чижик С.А., Петроковец М.И. Механика дискретного фрикционного контакта. Минск, 1990. 3. Айндбиндер С.Б., Тюнина Э.Л., Введение в теорию трения полимеров. Рига, 1978.

УДК 669.14.018

Т. М. Мещерякова, І. П. Лаушник, С.А.Беспалов, М.О.Кузін
НУ "Львівська політехінка", кафедра фізики металів та матеріалознавства

ВПЛИВ МІКРОСТРУКТУРИ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ КОЛІСНОЇ СТАЛІ ПІСЛЯ ПЛАЗМОВОГО ЗМІЦНЕННЯ

© Мещерякова Т. М., Лаушник І. П., Беспалов С. А., Кузін М. О., 2000

Вивчено кількісні параметри мікроструктури, твердість і мікротвердість колісної сталі після плазмового зміцнення. Показано вплив величини зерна, різнозернистості на зносостійкість зон термічного впливу поверхні кочення з різним структурним станом.

The quantitative structure parameters, hardness and microhardness of a van steel after surface hardening by plasma are studied. Grain size, variation in grain size influence on wear resistance of thermal effect zones of rolling surface with different structure state.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua