

Тобто оптимальне зміцнення титануванням з наступним азотуванням можна досягти при правильному виборі відповідної пари тертя.

1. Яхнина В.Д., Андреева Л.И. *Некоторые особенности технологии титаноазотирования хромистых сталей, применяемых для изготовления прессформ. Рукопись деп. в ОНИИТЭХим. Черновцы, 1974. № 359/74. Научн. произв. объедин. «Пластик», М., 1974.*
2. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Тарлат Е.С. *Азотирование мало- и среднеуглеродистых сталей, поверхностно-легированных нитридо-образующими элементами // Физ.-хим. механика материалов. 1977. 13. № 5. С.57-60.*
3. Безручко В.П., Коротя А.С. *Износостойкость и хрупкость боридных, карбидных и нитридных покрытий // Технология и организация производства. 1978. № 1. С.49-51.*
4. Ковальчук Г.Н., Шаповалов В.П., Горбунов Н.С. *Применение титаноазотированных покрытий для повышения стойкости твердосплавного инструмента. В кн.: Защитные покрытия на металлах. К., 1976. Вып.10. С.107-108.*
5. Похмурский В.И., Голубец В.М., Козуб В.В. и др. *Сопротивление изнашиванию стали и чугуна диффузионно насыщенных хромом, ванадием, титаном и азотом // Проблемы трения и изнашивания. К., 1977. № 11. С.86-89.*
6. Похмурский В.И., Лизун О.Я. *Влияние состава реакционной смеси на формирование покрытий при титанировании железоуглеродистых сплавов. В кн.: Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Минск, 1981. С.299-300.*
7. Лизун О.Я. *Влияние активаторов на строение и свойства титановых покрытий. В кн.: Защитные покрытия на металлах. К., 1980. Вып.14. С.35-39.*
8. Ляхович Л.С., Протасевич В.Ф. *Исследование активаторов для титанирования // Прогрессивные методы термической и химико-термической обработки деталей машин и инструмента: Тез. докл. IV республиканской науч.-техн. конф. Минск, 1977. С.48-49*

УДК 621:891

## ВПЛИВ МІКРОСТРУКТУРИ НА ЗНОШУВАННЯ СТАЛІ 40Х ПІСЛЯ ПОЛІПШЕННЯ

© Кузін О.А., Беспалов С.А., 1999

ДУ «Львівська політехніка», кафедра «Фізика металів і матеріалознавства»

Наведені результати досліджень зношувальної стійкості сталі 40Х після гартування від температур 860...1050 °С і високого відпуску. Показано, що вирішальний вплив на зношування має будова карбідної фази. Ріст зерна при збереженні однорідного розподілу зерен за розмірами менше впливає на інтенсивність зношування сталі, ніж розвиток різнозернистості.

Контактна взаємодія деталей супроводжується пластичною деформацією і руйнуванням поверхневих шарів. На відокремлення частинок під дією сил тертя, крім хімічного складу сталей, суттєво впливає структура зон спряження [1]. Тому раціональний вибір матеріалу пар тертя містить також оптимізацію його оброблення для створення структури із заданою стійкістю до зношування.

Поліпшені стаці широко використовуються для виготовлення зубчастих коліс і шестерень, що працюють в умовах зношування. Властивості, які визначають їх робоздатність, залежать від ступеня легування  $\alpha$ -твердого розчину, типу карбідної фази і кількісних характеристик мікроструктури. Зерна різних розмірів, які виникають при технологічних обробленнях заготовок, утворюють границі і стики з підвищеною густиною дефектів, які є концентраторами напружень. Хоча такі структури на практиці зустрічаються часто, їх вплив на властивості вивчений недостатньо. Так, стандарти визначають різнозернисту структуру як таку, яка містить не менше ніж 10 % зерен інших номерів, але не пов'язують її з властивостями і, зокрема, із зносостійкістю. У зв'язку з цим в роботі вивчали зношувальну стійкість сталі 40X з різними розмірами зерна.

Прокат сталі промислової виплавки відпалювали і з нього виготовляли зразки діаметром 50 мм і товщиною 10 мм. Зразки гартували від температур 860, 900, 950, 1050 °C в маслі (після нагрівання в соляній ванні) і відпускали при 600 °C з охолодженням у воді. Час витримки в однорідній аустенітній області при гартуванні становив 30 і 80 хв. Після термічного оброблення визначали твердість, механічні властивості і зношувальну стійкість. Випробування на зношування проводили за схемою "диск-колодка" в режимі сухого тертя ковзання. Параметри навантаження вибирались так, щоб максимально наблизити умови дослідження до реальних умов експлуатації деталей коробок передач, які виготовляються із сталі 40X. Швидкість ковзання зразків по контртілу становила 0,5 м/с, навантаження на зразки – 200 Н, а твердість контртіла – 3530 МПа (42...44 HRC). Кожен зразок зношувався протягом 10 год, що дозволило відмітити момент припрацювання і рівномірного зношування.

Структуру сталі вивчали на оптичному і електронному мікроскопах після іонно-плазмового травлення шліфів, що дозволило виявити границі і стики зерен з високою роздільною здатністю. Проводили оцінку величини зерна, різнозернистості, сумарної площі поверхонь розділу і розмірів карбідних часточок [2].

Металографічні дослідження показали, що після гартування від 860 °C і витримки 30 хв у сталі отримується однорідне зерно із розміром 38...43 мкм (рис.1,а).

Розподіл зерен за розмірами є однорідний (рис.2). Збільшення часу витримки при гартуванні до 80 хв сприяє появі в сталі зерен розміром понад 80 мкм (рис.3), причому частка зерен розміром 80 мкм становить понад 2 %.

Гартування від температури 900 °C привело до отримання зерен розміром 55...66 мкм (рис.2). Розподіл зерен при витримці під гартування 30 хв є однорідний. Збільшення часу витримки до 80 хв сприяло появі в структурі зерен розміром 95...100 мкм. При підвищенні температури гартування до 950 °C з витримкою 30 хв у структурі виявляються групи зерен розміром 70...80 мкм і 120...130 мкм (рис.1,б). Крім

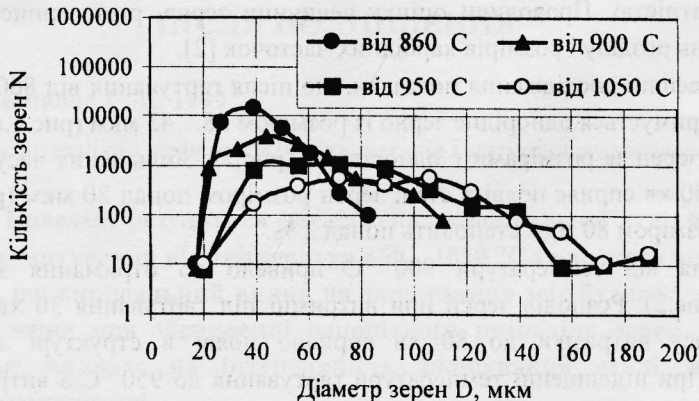
того, з'являються окремі зерна розміром понад 160 мкм. При збільшенні часу витримки до 80 хв збільшується частка зерен великих розмірів (рис.3).



**Рис.1.** Мікроструктура поліпшеної сталі 40X:  
а – гартування від 860 °С; б – від 950 °С. ×100.

Гартування від температури 1050 °С при витримці 30 хв сприяло розвитку різнозернистості. В сталі з'явились групи зерен розміром 70...80 мкм, 100...110 мкм і 170...180 мкм. Після витримки протягом 80 хв зросла частка зерен 170...180 мкм (рис.3).

Зміна структури сталі залежно від умов гартування суттєво вплинула на її зношувальну стійкість. Результати досліджень зношування зразків, загартованих від різних температур відносно зразків, загартованих після витримки протягом 30 хв від температури 860 °С наведені в таблиці. Із підвищенням температури гартування до 950 °С зношувальна стійкість сталі падає, особливо після витримки під гартування протягом 80 хв.



**Рис.2.** Розподіл зерен за розмірами в сталі 40X після гартування з витримкою 30 хв.

Найбільше зростання зношування спостерігається в сталі, загартованої від температури 950 °С після витримки під гартування протягом 80 хв, при якій в структурі зростає частка зерен великих розмірів.

Після гартування від температури 1050 °С зношувальна стійкість сталі суттєво підвищується, хоча середній розмір зерна є більший, ніж після гартування від температури 950 °С.

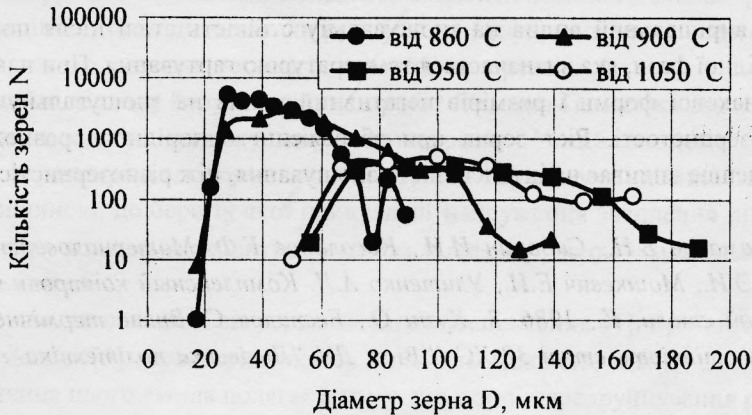


Рис.3. Розподіл зерен за розмірами в сталі 40X після гартування з витримкою 80 хв.

### Відносне зношування поліпшеної сталі 40X залежно від умов гартування

Температура гартування t, °С	Час витримки при температурі гартування t, хв	Твердість НВ, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )	Відносне зношування I <sub>т</sub> /I <sub>нб</sub> , %
860	30	2636 (269)	100
	80	2499 (255)	121
900	30	2636 (269)	105
	80	2499 (255)	133
950	30	2636 (269)	116
	80	2499 (255)	146
1050	30	2499 (255)	80
	80	2450 (250)	98

Кількісний аналіз мікроструктури показав, що при гартуванні сталі від 1050 °С різнозернистість є менша, ніж після гартування від 950 °С, що зменшує густину потрійних стиків зерен. Крім того, із підвищенням температури гартування в структурі виявляються переважно дисперсні пластинчасті карбіди з відношенням довжини до товщини карбідних часточок більше ніж 3 ( $l/d > 3$ ). Зернисті карбіди присутні в сталі, загартованої від температури 860, 900 і 950 °С.

Інтенсивність зношування після поліпшення визначається розмірними характеристиками зерен і карбідів. Підвищення температури гартування, яке супроводжується ростом зерна, негативно впливає на зношувальну стійкість. Особливо при збільшенні кількості потрійних стиків зерен у результаті розвитку різнозернистості. Так, поява в

структурі зерен, що відрізняються більше ніж на три бали еталонної шкали приводить до зростання інтенсивності відносного зношування у 1,5 рази. Усунення різнозернистості супроводжується зростанням зношувальної стійкості при всіх температурах гартування.

Площа міжфазних границь (карбід-матриця) суттєво впливає на зношувальну стійкість сталі [3]. Підвищення стійкості відбувається при збільшенні площі міжфазних границь за рахунок наявності в структурі пластинчастих карбідів і відсутності зернистих.

Отже, вирішальний вплив на зношувальну стійкість сталі після поліпшення має будова карбідної фази, яка визначається температурою гартування. При наявності в сталі карбідів однакової форми і розмірів негативний вплив на зношувальну стійкість має поява різнозернистості. Ріст зерна при збереженні однорідного розподілу зерен за розмірами менше впливає на інтенсивність зношування, ніж різнозернистість.

1. Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф. *Материаловедение*. М., 1986.
2. Цивирко Э.И., Мошкевич Е.И., Улитенко А.Л. *Комплексный контроль качества конструкционной стали*. К., 1986.
3. Кузін О., Беспалов С. Вплив термічної обробки на зношувальну стійкість сталі 38 ХС // *Вісн. ДУ "Львівська політехніка"*. 1998. № 321. С.49-51.

УДК 539.375

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРИЩИНОТРИВКОСТІ МАТЕРІАЛУ В РАМКАХ ДЕФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ

© Лебідь Н.М., 1999

ДУ «Львівська політехніка», кафедра «Теоретична механіка»

Запропоновано теоретико-експериментальний підхід щодо визначення критичного розкриття тріщини  $\delta_k$  як фундаментальної характеристики оцінки тріщиноотривкості в'язких матеріалів.

У роботі викладена методика вимірювання деформаційного критерію  $\delta_k$ . На прикладі осьового розтягу циліндричних зразків з кільцевими тріщинами, виготовлених із алюмінієвого сплаву Д16Т, проведено апробацію цього підходу, де встановлено значення  $\delta_k=0,092$  мм, що є фактичною розрахунковою характеристикою для цього сплаву і  $\delta_c=0,03$  мм при появі першої мікротріщини для зони розпушення.

Як відомо, конструкційні матеріали характеризуються силовими та деформаційними характеристиками міцності, які в рамках класичної механіки [1] визначають із діаграм розтягу, або, як їх ще називають, діаграмами руйнування.