УДК 621.822.002.3

Вплив неметалевих включень на формування мікронесуцільностей при гарячій деформації підшипникової сталі

О. М. Мороз
О. А. Глотка, кандидат технічних наук

Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя

Розглянуто утворення мікропор біля неметалевих включень при руйнуванні підшипникової сталі. Показані залежності утворення пор від температури гарячої прокатки матеріалу. Встановлено залежності між кількостями пор та температурами деформації. Надані рекомендації по температурним інтервалам деформації.

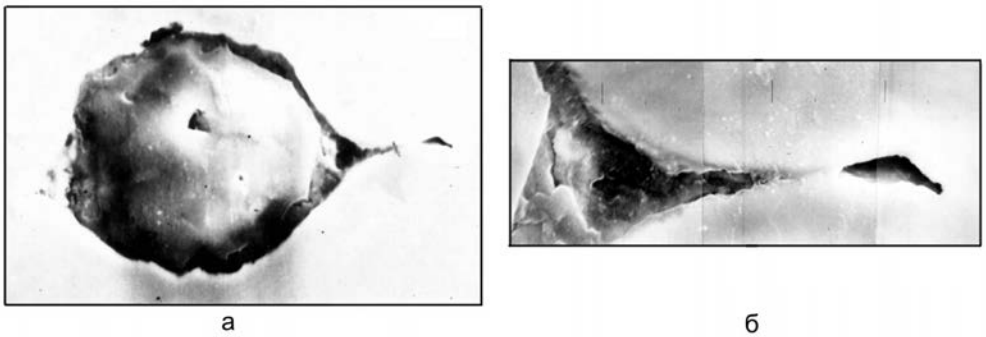
В процесі роботи підшипники перебувають під впливом високих знакозмінних напружень. Кожна ділянка робочої поверхні (кульки або ролика) а також доріжки кілець перебувають під багатократними навантаженнями, що розподіляються в межах дуже невеликої опорної поверхні. В результаті на кожній ділянці виникає місцеве контактне знакозмінне напруження приблизно 3 – 5 МН/м^2. У зв'язку з цим присутність неметалевих включень в підшипникових сталях суворо регламентується, оскільки вказані умови навантаження можуть привести до утворення пор, тріщин, викришування і руйнування деталі [1].

При розгляді впливу неметалевих включень на зародження втомних мікротріщин доцільно враховувати наявність микронесуцільностей у вигляді мікропор, порушення суцільності матеріалу на межі "включення-метал", тощо. Пори і несуцільності утворюються, як правило, в процесі гарячої обробки, внаслідок різної пластичності металу і включень, коефіцієнтів теплового розширення, а також можливих оплавлень легкоплавких складових, наприклад, сульфідних евтектик [2]. Мікропори у вигляді розривів металу часто мають гостру вершину, яка може слугувати джерелом зародження втомної мікротріщини. Кількісна оцінка несуцільностей залежно від температури гарячої деформації важлива для вибору оптимальної термомеханічної обробки прокату. При цьому також важлива порівняльна оцінка цих фактров щодо включень різного розміру і природи. Виходячи з цього досліджено вплив умов гарячої деформації і неметалевих включень на утворення мікропор у сталі ШХ15.

З центральної частини прокату сталі ШХ15СГ (квадратного перерізу розміром 140 мм), виплавленою згідно ГОСТ 801-78, вирізали поздовжні зразки, які піддавали гарячій деформації в інтервалі температур 800 – 200 °С. Режим обробки передбачав нагрів зразків до 1150 °С (окрім температури 1200 °С), витримку 30 хв з подальшим охолодженням до температури прокатування за 4 – 6 проходів на заданій температурі з сумарною деформацією 60 %. Для уникнення падіння температури зразки після кожного

проходу підігрівали до температури прокатування. Охолодження зразків, що пройшли остаточну деформацію, здійснювали на повітрі.

Неметалеві включення і микронесуцільності (мікропори) оцінювали на полірованій та спеціально підготовленій поверхні зразків. Для виявлення всіх наявних об'єктів аналізу використали хімічне травлення реактивом 10 % HNO_3 в спирті з подальшим іонним поліруванням (рис. 1).



а б

Рис. 1. Неметалеве включення (а) та мікропора (б) біля нього. Хімічне травлення і іонне полірування. а – х 1000, б – х 8000.

Вміст включень і мікропор кожного варіанту обробки визначали методом П (ГОСТ 1778-80) при збільшенні 280 крат на 825 полях зору. Кількісному підрахунку підлягали включення (оксидні і оксисульфідні), починаючи від 5 мкм, а несуцільності біля них від 0,5 мкм. Для кожного включення вимірювали його середній діаметр і визначали наявність мікропор.

Для кожної розмірної групи включень визначали їх загальну кількість (N_0) та кількість включень з порами в матриці (N_n). В якості критерію впливу типу і розміру включень на утворення і розвиток мікропор слугував параметр (N_n/N_0) – частка включень з порами. Відносна похибка у визначенні цих параметрів в умовах цього експерименту не перевищувала 10 %.

На рис. 2 наведені зображення, що ілюструють розвиток мікронесуцільностей у неметалевих включеннях. Вони показують наступні особливості цього процесу. При низьких температурах прокатки (800 – 850 °С) не завжди свою позитивну дію чинить сульфідна оболонка кисневих включень. Як показано на рис. 2 у ряді випадків відбувається її зміття, що сприяє утворенню мікропор. При високих температурах прокатки 1100 – 1200 °С в оксисульфідних включеннях, місцях розділу фаз оксид – сульфід, виявлені оплавлення сульфідної складової, що супроводжується утворенням мікропор.

Певна особливість утворення мікропор спостерігається для нітриду титану (рис. 2). В місцях руйнування їх цілісності не відбувається замикання матриці між частками, що призводить до утворення досить великих мікронесуцільностей.

Результати визначення N_n/N_0 представлені на рис. 3, показують, що існує температурна область (900 – 1000 °С) мінімального розвитку мікропор у включеннях усіх типів. Підвищення і особливе зниження температури деформації призводить у більшості випадків до зростання показника N_n/N_0. При цьому в однакових умовах деформації включення різної природи проявляють різну схильність до утворення мікропор, що особливо наочно видно на великих включеннях, розміром більше 10 мкм (рис. 3).

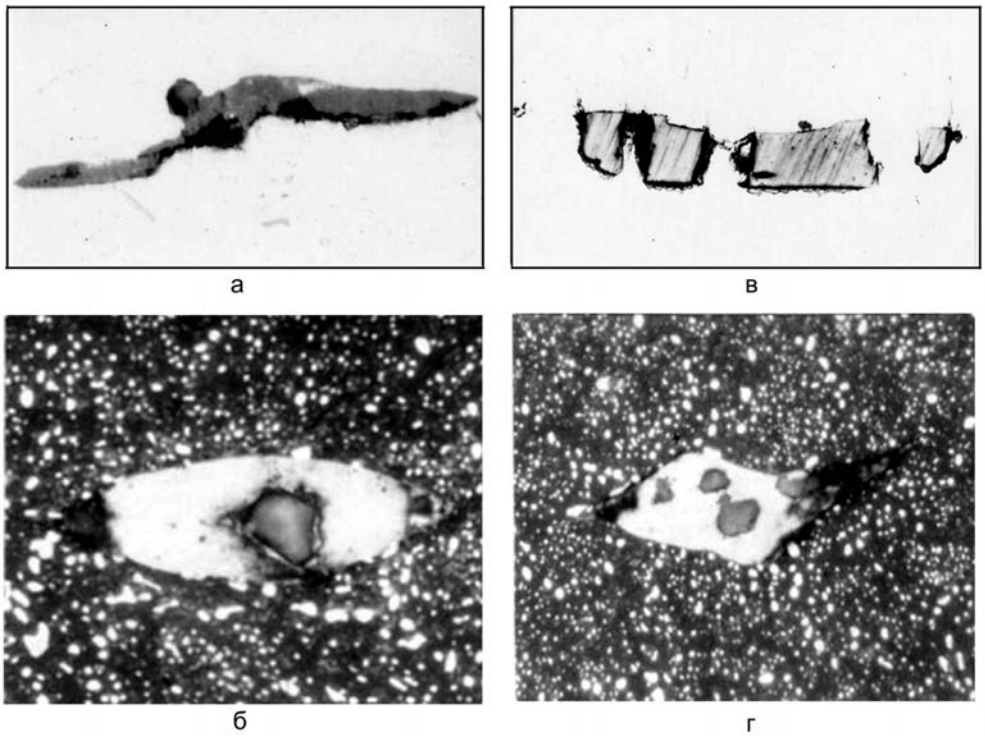


Рис. 2. Мікропори біля неметалевих включень після різних температур прокатки. а – оксисульфід, температура прокатки 800 °С, б – оксисульфід, температура прокатки 1200 °С, в – нітрид, температура прокатки 1200 °С, г – оксисульфід, температура прокатки 1200 °С. а – х 1000, б – г – х 800.

При всіх температурах деформації найбільша доля включень з порами характерна для кисневих включень (оксидних і глобулярних); найменша – для сульфідних. При низьких температурах деформації (800 – 850 °С) по мірі зменшення N_n/N_0 включення розташовуються таким чином: кисневі, нітридні, оксисульфидні, сульфідні. Наприклад, значення N_n/N_0 для 800 °С складає 0,5, 0,4, 0,22 і 0,05.

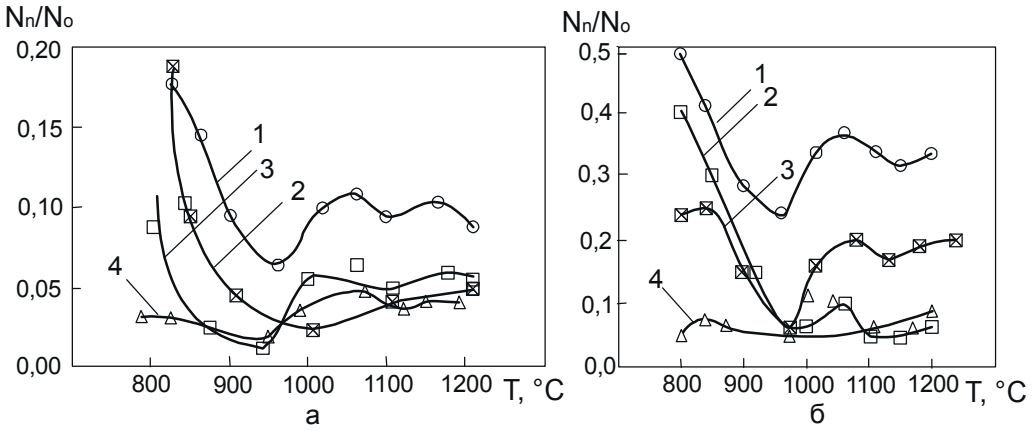


Рис. 3. Вплив температури прокатки на утворення мікропор біля неметалевих включень. а – включення всіх розмірів, б – включення розміром більше 10 мкм. 1 – оксиди, 2 – нітриди, 3 – оксисульфіди, 4 – сульфіди.

При високих температурах прокатки (1150 – 1200 °С) після кисневих включень найбільше N_n/N_0 характерно для оксисульфідних; найменше значення цього параметра спостерігається для нітридних і сульфідних включень. При температурі деформації 950 °С усі включення, окрім кисневих, мають однаково низькі значення N_n/N_0.

Описані закономірності підтверджені вимірами щільності металу. Як видно з рис. 4, підвищення температури прокатки від 800 °С до 950 °С зумовлює збільшення щільності і відповідно зниження частки включень усіх типів з порами. З подальшим зростанням температури прокатування (1000 – 1100 °С) щільність падає; при цьому частка включень з порами зростає. Ці експериментальні дані обробляли методами математичної статистики: виявлено кореляційний зв'язок параметра Nn/N_0 зі щільністю металу, який описується рівнянням y = -2727x + 218,8 (рис. 5). Коефіцієнт кореляції досить високий і дорівнює 0,84.

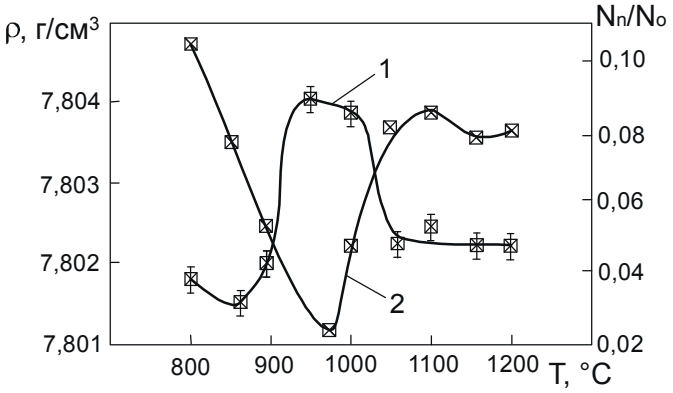


Рис. 4. Вплив температури прокатки на щільність сталі (1) і утворення мікропор (2) біля неметалевих включень.

Для пояснення описаного характеру утворення мікронесуцільностей у неметалевих включеннях можуть бути залучені наступні уявлення.

При низьких температурах прокату (800 – 850 °С) матриця не встигає рекристалізуватись, наклепується, зміцнюється, що постає з діаграм рекристалізації аустеніту сталі ШХ15СГ [3]. Внаслідок виникнення локальних піків напруги у неметалевих включеннях, цей процес призводить до зародження мікроруйнувань металу, і, як наслідок, до утворення мікронесуцільностей. Із зростанням температури прокатки впродовж міждеформаційних пауз встигають початись процеси знеміцнення матриці – відпочинок, рекристалізація; міра розвитку цих процесів підвищується з температурою; відповідно знижується наклепування і небезпека виникнення мікроруйнування.

В аустенітній області при температурі 900 – 1000 °С в результаті розвитку процесу рекристалізації, полегшення поперечного ковзання і переповзання дислокацій пластичність сталі підвищується,

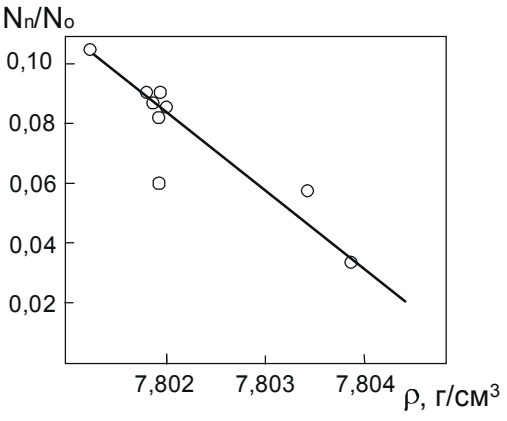


Рис. 5. Кореляційна залежність щільності металу і кількості неметалевих включень з порами.

зростає і значення критичного ступеня деформації. При певних температурах вже в процесі деформації відбувається динамічна полігонізація або рекристалізація, яка дає тонко-дисперсну, дрібнозернисту, найбільш сприятливу з точки зору опору передчасному руйнуванню мікро-структуру аустеніту [4].

Можна вважати, що така структура відповідає мінімуму значень на графіках N_n/N_0 на рис. 3. При подальшому підвищенні температури деформації до 1000 – 1100 °С росте зерно аустеніту, що знижує опір руйнуванню матриці, а також може відбуватися оплавлення евтектик на межах матриця – сульфід, оксид і карбід [2]. Тому для оксисульфідів в більшій мірі характерно підвищення параметра N_n/N_0 із зростанням температури до 1100 – 1200 °С.

Висновки Таким чином найбільшою мірою розвиток мікропор відбувається біля оксидних включень, меншою – біля нітридних, потім оксисульфідних і сульфідних. Встановлена кількісна залежність частки включень з порами від температури деформації. Вона найбільша для низьких температур, зменшується зі зростанням температури, стає мінімальною при 950 °С і підвищується при подальшому збільшенні температури прокатки для оксидних і, особливо, оксисульфидных включень. Використання діючих режимів нагріву під прокатку 1150 – 1200 °С не завжди оптимально з точки зору розвитку мікропор на усіх типах включень, тому необхідно враховувати природу, розмір і кількість включень, характерних для цього складу сталі і способу виплавки.

Література

1. Зрелов В.А., Макарчук В.В., Проданов М.Е. Анализ условий работы подшипников в составе опор роторов авиационных ГТД и ЭУ // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. ак. С.П. Королёва. – 2012. – 2 – 3. – С. 326 – 332.
2. Губенко С.И. Особенности разрушения подшипниковой стали вблизи эвтектик неметаллических включений // Сталь. – 1984. – 1. – С. 75 – 76.
3. Спектор Я.И. Влияние новых способов обработки (гомогенизации, ТМО, гидроэкструзии) на структуру и свойства подшипниковых сталей // Повышение качества и улучшение сортамента подшипниковых сталей в странах-членах СЭВ. – М.: Металлургия, 1979. – С. 35 – 45.
4. Берштейн М.Л., Займовский В.А., Капуткин Л.М. Термомеханическая обработка стали. – М.: Металлургия, 1983. – 478 с.

Одержано 02.12.14

А. Н. Мороз, А. А. Глотка

Влияние неметаллических включений на формирование несплошностей при горячей деформации подшипниковой стали

Резюме

Рассмотрено образование микропор возле неметаллических включений при усталостном разрушении подшипниковой стали. Показаны зависимости образования пор

от температуры горячей прокатки материала. Установлены зависимости между количеством пор и температурой деформации. Даны рекомендации по температурным интервалам деформации.

O. M. Moroz, O. A. Glotka

Influence of nonmetallics on formation of pores during hot rolling of bearing steel

Summary

Formation of pores is considered near a nonmetallics at failure of bearing steel. Dependences of formation of pores on the temperature of the hot rolling of material are shown. Dependences are established between the amount of pores and temperature of deformation. Recommendations on the temperature intervals of deformation are given.

УДК 620.178.152

Нові методи визначення твердості металів

О. О. Котречко, кандидат технічних наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

Розглянуто нові способи визначення твердості металів та сплавів, які мають ізотропні та анізотропні властивості. Для ізотропних металів запропоновано конструкція індентора, яка забезпечує перехід від пружних деформацій до пластичних при менших значеннях величини наклепування. Конструкція індентора для анізотропних металів дозволяє визначати твердість з урахуванням напрямку текстури.

Існуючі основні стандартні методи визначення твердості металів та їх сплавів [1 – 3] не враховують особливості їх будови, яка суттєво впливає на процеси деформації при втисненні індентора у зразок. Тому методи визначення їх твердості необхідно поділяти на два окремі види: для ізотропних і анізотропних.

Визначення твердості ізотропних металів. Встановлено, що втиснення індентора в метал супроводжується його наклепуванням, внаслідок чого опір проникненню індентора в зразок постійно зростає [4]. При цьому в залежності від геометрії робочої частини індентора із збільшенням як глибини так і площі деформації, величина наклепу постійно зростає, а отримані значення твердості металу значно перевищують дійсні. В зв'язку з цим розроблена конструкція (1) індентора [5], яка представляє собою тригранну піраміду з кутом при вершині $\alpha=90^{o}$. Перевага запропонованого індентора (рис. 1) полягає в тому, що він має більш гостру вершину порівняно з відомими, внаслідок чого в процесі випробувань перехід від пружних деформацій до пластичних відбувається при значно менших значеннях величин наклепування при однаковій глибині втиснення його у метал.