

Інна ГРИГОРЕНКО

АНАЛІЗ ДЕФЕКТІВ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ, ЩО ВИНΙΚАЮТЬ ПІД ЧАС ЛИТТЯ

На відміну від вітчизняних, світові вчені вже давно працюють над проблемами щодо виробництва та оцінювання ювелірних виробів. Про це свідчать праці таких науковців як *David Federman, Christopher W. Corti,*

© Інна Григоренко, 2009

Mark B. Mann та інших [1–4].

У роботах *D. Federman* досліджено проблеми безпечності сплавів білого золота на основі нікелю та їхній негативний вплив на організм людини.

Дослідження *Ch. W. Corti* спрямовані на формування якості ювелірних виробів з точки зору технологічного процесу. Завдяки його роботам у США досягнуто успіхів у розробці стандартів щодо гарантій якості виробів при використанні білих золотовмісних сплавів. Разом із *P. Raw* обгрунтовано причини утворення пор і тріщин у золотовмісних сплавах під час лиття [4].

Роботи *M. B. Mann* присвячено дослідженням платини та металів платинової групи, зокрема проблемам обробки та використання, розкрито технологічні та економічні особливості виробництва ювелірних виробів із паладію.

Сьогодні безпека ювелірних виробів є головною вимогою світової спільноти, вона гарантується стандартами ASTM та ISO.

Формування якості ювелірних виробів відбувається переважно в процесі складання лігатури, плавлення сплаву, відливання форми.

На більшості ювелірних підприємств України лиття форми за виплавлюваними моделями застосовується з імпортних лігатур. Під час такої операції реєструється 10–20 % браку. Аналіз і характеристика дефектів цього технологічного етапу та розробка заходів і методів їх усунення є актуальною проблемою поліпшення якості ювелірних виробів.

Мета роботи – діагностика різних видів пористості та тріщин у ювелірних виробах під час лиття, аналіз причин і розробка заходів щодо їх запобігання.

Значну частку дефектів лиття займають різні типи пористості, які виникають внаслідок усадки та газових утворень. Форма пористості досить різноманітна: від дрібних сферичних порожнин при газовій пористості до деревоподібних дендритів – при усадочній.

Найбільша кількість дефектів, які не піддаються виправленню, утворюються під час лиття. Загалом проаналізовано понад ста дефектів лиття.

Мікропори, викликані газовою пористістю, мають майже правильну форму й розташовуються в окремих шарах безпосередньо під відполірованою поверхнею виробу, руйнуючи її. Подібне розташування вказує, що причиною появи такого дефекту є реакція на формомасу в процесі відливки. На міцність виробу мікропори зазвичай впливають мало, проте усунути дефект в більшості випадків тривалим і посиленням шліфуванням або поліруванням не вдається. Окрім того, кількість їх може зростати відкриванням підповерхневих мікропор, що проявляються під час обробки. Цей дефект можна діагностувати за зовнішнім виглядом і за аналізом мікрорізу (рис. 1).

Газова пористість, що викликана домішками, зовні має вигляд

множинних дрібних пор та дірочок на поверхні виробу й нагадує сито. Пори, які розташовані біля самої поверхні, поділяються на два види: дрібні, майже сферичні газові бульбашки та крупніші – неправильної форми. Неозброєному оку вони здаються розмитими цятками. При багатократному збільшенні розпізнається неправильна форма пор і крихітні включення CuO (рис. 2).

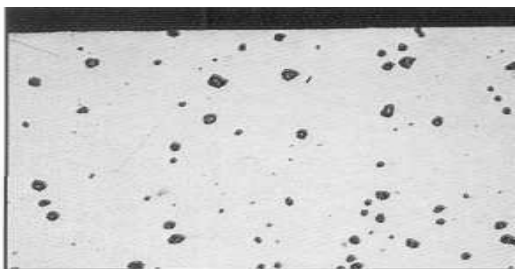


Рис. 1. Мікроріз деталі виробу з газовою пористістю (50-кратне збільшення)



Рис. 2. Мікроріз деталі виробу з газовою пористістю, викликаною домішками (100-кратне збільшення)

Злами, викликані усадковою пористістю, визначити за зовнішнім виглядом досить важко, оскільки жодної деформації металу не виявлено. Єдиною, візуально помітною ознакою, є зміна кольору сплаву внаслідок окиснення. Такі дефекти утворюються на виробках із певною морфологією, для яких характерне з'єднання масивних деталей тонкими перешийками. Тріщини виникають у місцях утворення дендритних пор із губчатою структурою та порожнинами між гілками, тобто саме у найтонших частинах виробу. Подібна пориста структура різко знижує міцність і без того критичної частини, яка ламається при найменшому натисканні. Усадкова пористість, викликана неправильним розташуванням литників на поверхні виробу, проявляється у вигляді дрібних раковин із яскраво вираженою дендритною структурою. Неозброєному оку пори здаються темними плямами. Цей дефект неможливо усунути поліруванням (рис. 3).

Як наслідок впливу низької температури розплаву та (або) опоки на поверхні виробу утворюється дефект у вигляді різко помітної деформації, що зовні нагадує тріщини з гладкими краями. Місця в оточенні цих слідів дещо зморщені (рис. 4).



Рис. 3. Мікроріз деталі виробу

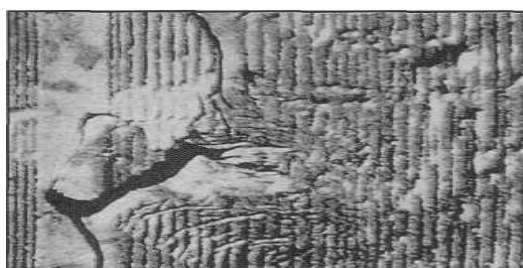


Рис. 4. Поверхня виробу

із усадковою пористістю
деревоподібної структури

при холодному спаї

На мікрорізні видно, що в дефектних місцях потік металу розірваний або зустрілися два потоки металу, які не повністю злилися. Це так звані холодні спаї. Поверхню виробу з наявним дефектом виправити неможливо ні поліруванням, ні шліфуванням. При натисканні холодні спаї перетворюються на тріщини.

На крупних, важких, плоских ювелірних виробах зустрічаються облої та шорсткувата (зерниста або піщана) поверхня (рис. 5). Обидва дефекти характерні тільки для поверхні й не впливають на механічні властивості та мікроструктуру. Головний недолік – збільшення відходів і витрат на кінцеву обробку виробу.

Порушення режиму замісу, або неякісна формомаса, викликає шорсткувату поверхню та "водяні потоки" на гладкій поверхні виробу. Вертикально на "ялинці" утворюються рельєфні сліди, що руйнують тонку структуру поверхні (рис. 6). Помірно виражений дефект можливо усунути поліруванням або м'яким шліфуванням. Різко виражений дефект виправленню не підлягає.



Рис. 5. Шорсткувата (зерниста, або піщана) поверхня виробу

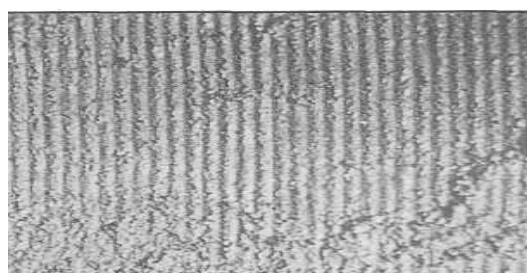


Рис. 6. Шорсткувата поверхня виробу та "водяні потоки"

Причиною появи на поверхні виробу глибоких складок у вигляді рубців є порушення температурного режиму або перегрів опоки. Нерідко дефекти проявляються тільки на окремих зразках, які розташовані на одній стороні опоки. На механічні властивості та мікроструктуру ці відхилення не впливають, проте поверхня виробу потребує додаткового відшліфовування та відполірування.

Часто на поверхні виробів із крупним перерізом деталей утворюється деревоподібна поверхня із характерною шорсткуватою структурою. Такий дефект виникає внаслідок усадки та реакції металу з формомасою і найчастіше – на центральному літнику. На механічні властивості виробу дефект, як правило, суттєво не впливає. На мікрорізні видно локально розміщену дендритну поверхню, яка вказує на присутність газової та усадочної пористості. Дендрит можна розглядати і неозброєним оком. Видалення залишків формомаси з "ялинки" пісокоструминною обробкою приховує дефект, однак груба

поверхня з порами залишається.

Порушення процесу лиття сприяє потраплянню до сплаву сторонніх металевих і неметалевих включень, які значно впливають на якість готових виробів. Так, на поверхні виробів можна спостерігати окремі поверхневі пори та включення, викликані формомасою. Зазвичай дефект проявляється під час полірування: порожнисті раковини або заповнені неметалевими матеріалами довільно розташовані по всій поверхні. На механічні властивості цей дефект не впливає, однак сильно уражає мікроструктуру виробів (рис. 7). Залежно від характеру розташування пор іноді вдається усунути дефект шліфуванням і поліруванням, проте частіше пори тільки розростаються.

Додавання до сплаву оксиду цинку викликає появу поверхневого дефекту у вигляді V-подібного розтріскування ("вороняча лапка"), при якому майже вся поверхня вкрита порами, що проявляються під час шліфування та полірування. При використанні низькопробних сплавів поверхня виробів біля пор тьмяніє. При хімічній обробці травленням, електролітичному очищенні та при взаємодії людського поту або іншого агресивного середовища оксиди витравляються, викликаючи локальне потьмяніння та корозію (рис. 8).

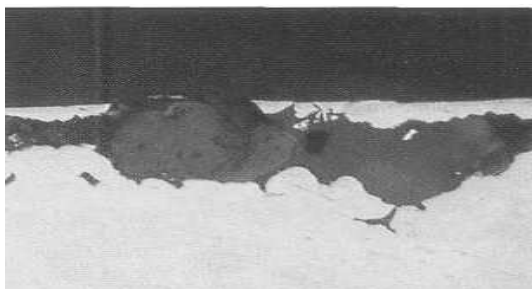


Рис. 7. Мікроріз поверхні виробу із раковинами, викликаними формомасою



Рис. 8. Поверхнева пористість, викликана домішками оксиду цинку

Нерідко цей тип дефекту плутають із усадковою пористістю. Щоб їх відрізнити необхідна детальна інформація про умови відливки виробу та аналіз мікрорізу дефектної області. Як правило, оксид цинку утворює включення у формі плівок або мембран, які на мікрорізі мають вигляд ниткоподібних слідів. Для їх виявлення необхідна гарна металографічна підготовка мікрошліфу. Якщо до структури металу попадає значна кількість оксидів, виникає підвищена крихкість, і виріб може зламатися при найменшому натисканні.

Шлакові включення, які часто видно на поверхні виробу, викликають нерівну структуру, що нагадує цвітну капусту (рис. 9).

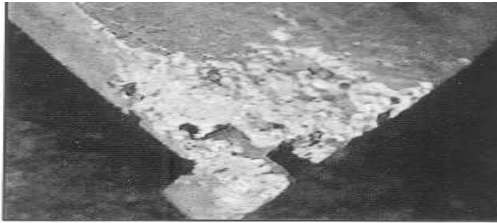


Рис. 9. Структура поверхні виробу, пошкоджена шлаковими включеннями

Дефект виникає в результаті присутності флюсів і шлаків, які потрапили в опоку разом із розплавом. Останні збираються на поверхні та видаляються разом із формомасою під час очистки відливки. На механічні властивості та мікроструктуру дефект не впливає. Проте надати поверхні блиск поліру-

ванням уже не вдається – включення мають тенденцію виламуватися, що призводить до подряпин.

Описана вище пористість часто поєднується з газовою, внаслідок чого на поверхні дефектних виробів утворюються пори неправильної форми та неглибокі матові вм'ятини. При надмірній пористості на ділянках невеликого перерізу можливі тріщини.

Аналіз мікроструктури дає змогу виявити ще одну характерну особливість цього дефекту: присутність крупних раковин неправильної форми з деревовидними краями. Раковини частково заповнені склоподібною речовиною, яка при детальному дослідженні виявилася шлаком.

Використання різних присадок, що сприяють подрібненню зерен та покращанню технологічних властивостей сплавів, може також спричиняти дефекти.

Надлишок домішок та утворення гнізд часто знижує придатність сплаву до механічної обробки. Максимальна ступінь деформації залежно від сплаву та кількості домішок знижується до 60–65 %, у той час як вільний від домішок сплав здатний витримувати деформацію до 70 %. Зокрема такий ефект пояснюється низькою розчинністю іридію в золотих сплавах у рідкому стані, внаслідок чого він розподіляється нерівномірно. У результаті утворюються гнізда твердих часточок іридію, які, досягаючи поверхні, формують тверді включення або викликають утворення тріщин при деформації через концентрацію на них напруги.

У більшості випадків неправильне або надлишкове використання присадок, що подрібнюють зерно, виникає при поліруванні виробу. Найчастіше дефект проявляється у вигляді твердих коричневих включень. Залежно від виду сплаву характер розташування коливається від окремих часточок значного розміру до скупчень менших часточок (рис. 10). Під час полірування включення набувають вигляд "хвоста комети".

Нерідко на виробках, відлитих із порушенням технологічних вимог до безперервного лиття, фіксуються тріщини, які, на перший погляд, є тільки поверхневими. Поверхня таких виробів вкрита дріб-

ними тріщинами, хоча сам виріб не ламається (рис. 11). При появі такого дефекту на поверхні каблучки перелом може статися під час зміни її розміру. Поліруванням дефект не усувається, оскільки тріщини занадто глибокі.



Рис. 10. Ділянка золотого виробу, відлита із забрудненого сплаву

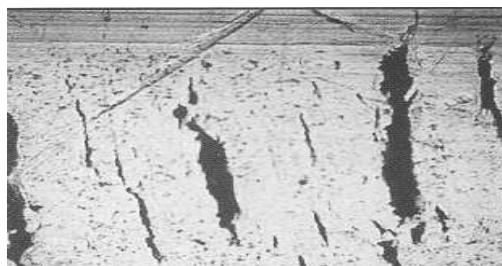


Рис. 11. Тріщини на поверхні виробів, виготовлених методом безперервного лиття

Ще один дефект, який фіксується через порушення режиму лиття, – це розшарування поверхні. Зовні воно нагадує тріщинуватість із різною довжиною тріщин. Часто дефект супроводжується скупченням неметалевих оксидних або шлакових включень на поверхні виробу (рис. 12).

Обидва описаних вище дефекти усунути неможливо. При операційних маніпуляціях вони призводять до подальшої руйнації виробів.

Виділено окрему категорію дефектів, які викликані складом самого сплаву. Вони є неусувними й незмінно призводять до деформування та розломів виробів. Наприклад, виділення легкоплавких кремнієвих сполук у сплаві призводять до утворення прямих або зігнутих тріщин, що нагадують слід блискавки. Такий дефект зустрічається зараз доволі часто, оскільки кремнієві сполуки використовуються для покращання якості відливок як мікролегувальні компоненти.

Проведено дослідження дефектів, які виникли на золотому персні 585-ї проби під час пазової закріпки вставок. Дефект проявився у вигляді тріщин в областях, близьких до деформованих ділянок при закріпці. Лінія основного розлому пряма, поруч чимало зігнутих тріщин (рис. 13). Зафіксовано також підвищену крихкість матеріалу (навіть за умови дуже низької твердості сплаву), при якій виріб ламається без будь-якого зовнішнього впливу.

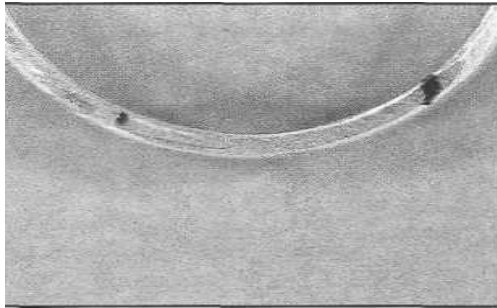


Рис. 12. Розшарування
поверхні виробу

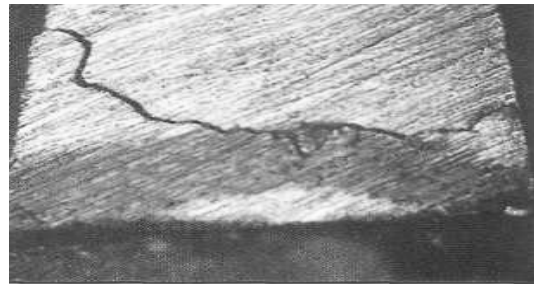


Рис. 13. Тріщини матеріалу,
викликані сполуками кремнію

Під час дослідження мікроструктури сплаву при багатократному збільшенні на границі кристалів зафіксовано сіруваті включення, які ідентифіковані як сполуки кремнію. Виділення останніх розповсюджуються по всій довжині границь зерен і викликають крихкість і тріщини матеріалу.

Подібну до впливу кремнієвих сполук дію на дорогоцінні сплави має свинець. Домішки свинцю, за умови виокремлення на поверхні зерен сплаву, руйнують між ними зв'язки (рис. 14). Внаслідок цього сплав розтріскується по всій довжині ослаблених зерен, тріщини набувають зіркоподібної форми. Вироби, виготовлені із подібних сплавів, стають цілковито крихкими та ламаються при мінімальній деформації, не витримуючи навіть найменшого розтягнення.

Ще однією причиною появи тріщин на виробах є присутність сульфідів у сплавах. Тріщини утворюються без будь-якої деформації або в процесі охолодження після відливки, або під час видалення формомаси з "ялинки". Поверхня зламу та малюнок тріщини зазубрені (рис. 15). Детальне дослідження мікроструктури виявляє численні тріщини та газові пори, причиною появи яких є сполуки сульфідів на границях зерен металу. Міцність матеріалів у таких випадках практично нульова, виріб можна зламати найменшим натиском руки.

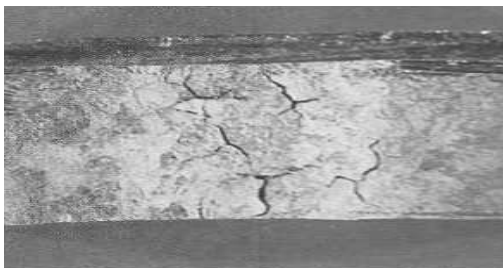


Рис. 14. Тріщини, викликані
домішками свинцю

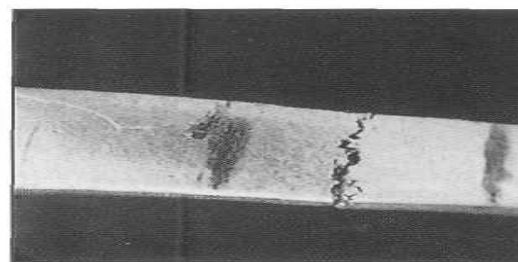


Рис. 15. Тріщини, викликані
включеннями сульфідів

Отже, лиття форми за виплавлюваними моделями – це операція, під час якої порушення технологічних режимів викликає незворотні

процеси появи дефектів, що призводять до руйнації ювелірного виробу в цілому, або появи таких прихованих вад, які згодом повністю унеможливають експлуатацію такого виробу. В результаті досліджених дефектів лиття і виявлення причин їх появи автором розроблено процедуру контролю технології для їх усунення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Federman D.* Can new alloys that don't need rhodium plating solve the problems with white gold? / D. Federman. — Way of access : <http://www.modernjeweler.com/publication>.
2. *Корти К. В.* Сплавы белого золота: наиболее актуальные технические проблемы, требующие решения специалистов отрасли / К. В. Корти // Ювелирный бизнес. — 2004, окт. — С. 49—54.
3. *Mann M. B.* 950 Palladium: Laser Welding Tips and Techniques / M. B. Mann. — Way of access : <http://www.ganoksin.com/borisat/nenam/palladium-welding.htm>.
4. *Raw P.* Minimizing cracks during jewelry manufacturing and beyond / P. Raw, Ch. W. Corti. — Way of access : <http://www.ganoksin.com/borisat/nenam/ajm-road>.