

УДК 671.12:614.8.86

ІННА ГРИГОРЕНКО, INNA GRIGORENKO, ИННА ГРИГОРЕНКО

АНАЛІЗ ДЕФЕКТІВ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ, ЩО СУПРОВОДЖУЮТЬ
ОПЕРАЦІЮ ЛИТТЯ ПРИ ПОРУШЕННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ
АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ, КОТОРЫЕ СОПРОВОЖДАЮТ
ОПЕРАЦИЮ ЛИТЬЯ ПРИ НАРУШЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ
ANALYSIS of DEFECTS of JEWELLER WARES WHICH ACCOMPANY OPERATION
of CASTING AT VIOLATION of TECHNOLOGICAL MODES

Якщо до розв'язання проблем виробництва і оцінювання ювелірних виробів в Україні лише підійшли, то світові вчені вже давно проявляють значну зацікавленість до проблем їх якості. Про це свідчать дослідження зарубіжних вчених таких як Richard V. Carrano, Mark B. Mann, Christopher W. Corti, David Federman та інші [1-4].

В роботах Richarda V. Carrano висвітлюються проблеми якості та безпечності золотих та срібних ювелірних сплавів, розкривається взаємозв'язок кольору золотого сплаву та безпечності елементів, що його формують.

Дослідження Christophera W. Corti спрямовані на формування якості ювелірних виробів з точки зору технологічного процесу. Ним проведено огляд та аналіз стану ювелірної промисловості після 2000 року. Саме завдяки його роботам в США досягнуто успіхів в розробці стандартів щодо гарантій якості виробів при використанні білих золотовмісних сплавів. Разом із Peter Raw³, він досліджує причини утворення пор та тріщин у золотовмісних сплавах під час лиття.

Роботи Marka B. Mann присвячені дослідженням платини та металів платинової групи, зокрема проблемам використання та їх обробки. Останні опубліковані ним статті розкривають технологічні та економічні особливості виробництва ювелірних виробів з паладію.

В роботах Davida Federmana досліджуються проблеми безпечності сплавів білого золота на основі нікелю та розкривається їх негативний вплив на організм людини.

Завдяки їхнім зусиллям безпека ювелірних виробів сьогодні, як і інших товарів, є головною вимогою світової спільноти та гарантується стандартами ASTM та ISO.

Отже, формування якості ювелірних виробів в основному відбувається під час технології, саме в процесі складання лігатури та плавлення сплаву, відливання форми.

В Україні лиття форми за виплавленими моделями застосовується на переважній більшості ювелірних підприємств з імпортованими лігатурами. Під час даної операції реєструється 10-20% браку. Відтак аналіз та характеристика дефектів, які супроводжують даний технологічний етап, та розробка заходів й методів їх усунення є значною та актуальною проблемою у напрямку поліпшення якості ювелірних виробів.

Значний відсоток серед дефектів лиття займають різні типи пористості, які з'являються внаслідок усадки та газових утворень. Форма пористості досить різноманітна: від дрібних сферичних порожнин при газовій пористості до деревоподібних дендритів при усадочній.

Тому, головною метою даної статті є діагностика різних видів пористості та тріщин, які утворюються під час технологічного процесу лиття, аналіз причин їх появи та розробка заходів щодо запобігання їх появи.

Загалом нами проаналізовано понад сто дефектів лиття. Як виявилось, найбільша кількість дефектів, які не піддаються виправленню, утворюються саме під час операції лиття.

Так, мікропори, викликані газовою пористістю мають майже правильну форму й розташовуються в окремих шарах безпосередньо під поверхнею виробу. Вони руйнують відполіровану поверхню виробу. Подібне розташування вказує, що причиною появи цього дефекту є реакція на формомасу в процесі відливки. На міцність виробу мікропори зазвичай впливають мало, проте усунути дефект в більшості випадків тривалим та посиленням шліфуванням або поліруванням не вдається. Більше того, кількість їх може збільшитись шляхом відкривання під поверхневих мікропор, що проявляються у процесі обробки. Даний дефект можна діагностувати як за зовнішнім виглядом, так і за аналізом мікрорізу (рис. 1).

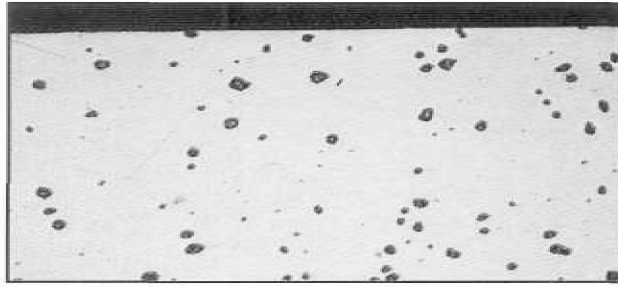


Рис. 1. Мікроріз деталі з газовою пористістю (50-кратне збільшення)

Газова пористість, що викликана домішками зовнішньо виглядає як множинні дрібні пори та дірочки на поверхні виробу, і нагадує сито. Пори, що розташовані біля самої поверхні, поділяються на два види: дрібні майже сферичні газові бульбашки та більш крупні неправильної форми. Неозброєному оку вони здаються розмитими цятками. При багатократному збільшенні розпізнається неправильна форма пор та крихітні включення CuO (рис.2).



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

Злами, що викликані усадковою пористістю за зовнішнім виглядом визначити досить важко, оскільки жодної деформації металу не виявлено. Єдиною, візуально помітною ознакою, є зміна кольору сплаву внаслідок окислення. Такі дефекти з'являються на виробках із певною визначеною морфологією. Для таких виробів характерне з'єднання масивних деталей тонкими перешийками. Тріщини з'являються у місцях утворення дендритних пор з губчатою структурою та порожнинами між гілками, тобто саме у найтонших частинах виробу. Зрозуміло, що подібна пориста структура різко знижує міцність і без того критичної частини, яка ламається при найменшому натисканні.

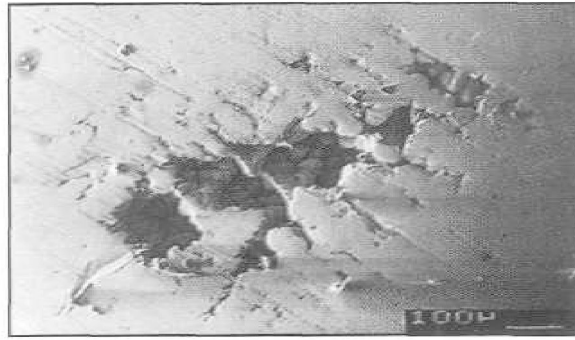


Рис. 3. Мікрозріз деталі виробу усадковою пористістю деревовидною структурою

Усадкова пористість, що викликана неправильним розташуванням литників на поверхні виробу проявляється у вигляді дрібних раковин із яскраво вираженою дендритною структурою (рис.3).

Неозброєному оку пори здаються темними плямами. Проте така губчаста структура металу різко знижує міцність виробу. Дефектна частина в районі скупчення пор може зламатись при легкому натисканні. Даний дефект неможливо усунути поліруванням.

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

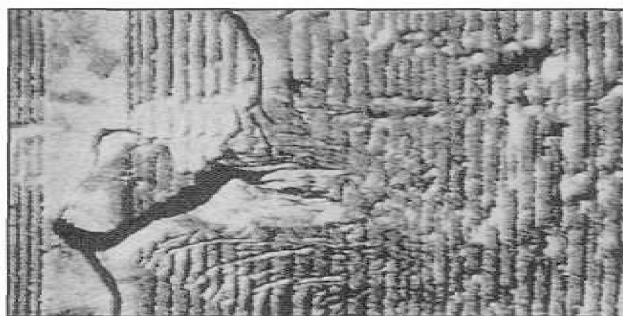


Рис. 4. Поверхня виробу при холодному спаї

Мікрозріз показав, що в дефектних місцях потік металу розірваний, або два потоки металу зустрілись, але не повністю злились. В даному випадку йдеться про, 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, пласких ювелірних виробах зустрічаються облої та шорсткувата (зерниста або піщана) поверхня (рис. 5). Обидва дефекти характерні тільки для поверхні та не впливають на механічні властивості та мікроструктуру. Головний недолік полягає в збільшенні відходів та витрат на кінцеву обробку виробу.

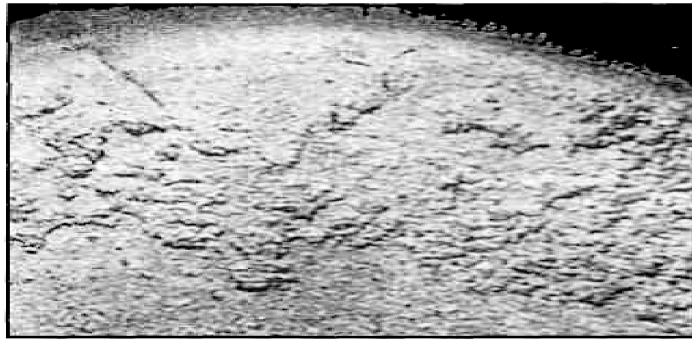


Рис. 5. Шорсткувата (зерниста або піщана) поверхня виробу

Порушення режиму замісу або неякісна формомаса викликають 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.

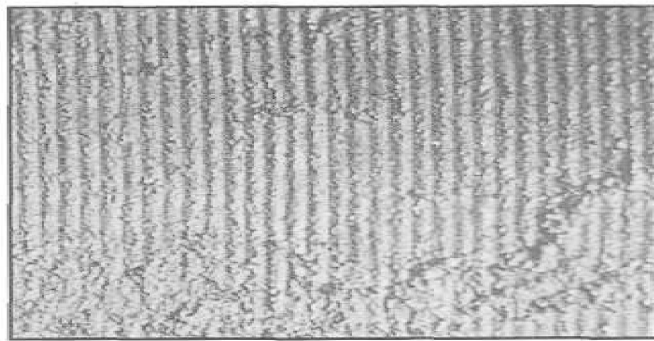


Рис. 6. Шорсткувата поверхня виробу та «водяні потоки»

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 зовнішній вигляд поверхні виробу потребує додаткового відшліфовування та відполіровування.

Часто на поверхні виробів з крупним перерізом деталей утворюється деревовидна поверхня із характерною шорсткуватою структурою. Такий дефект виникає внаслідок усадки та реакції металу з формомасою. Причому найчастіше проявляється така структура на центральному літнику. На механічні властивості дефект, як правило, суттєво не впливає. На мікрорізні видно локально розміщену дендритну поверхню, яка вказує на присутність газової та усадочної пористості. Дендрит можна розгледіти неозброєним оком. Видалення залишків формомаси з «ялинки» піскоструйною обробкою приховує дефект, проте груба поверхня з порами та причина дефекту залишаються.

Порушення процесу лиття сприяє потраплянню до сплаву сторонніх металевих та неметалевих включень, які значно впливають на якість готових виробів.

Так, на поверхні виробів можна спостерігати окремі поверхневі пори та включення, викликані формомасою. Звичайно дефект проявляється під час операції полірування. Раковини доволіно розташовані по всій поверхні. Вони можуть бути порожнистими або заповненими неметалевими матеріалами. На механічні властивості дефект звичайно не впливає, однак мікроструктура виробів сильно уражається даним дефектом (рис. 7).

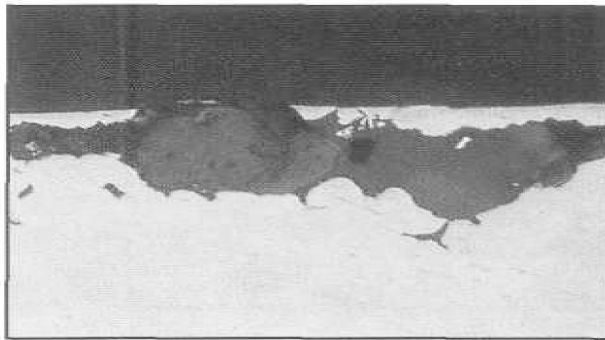


Рис.7. Мікроріз поверхні виробу із раковинами, викликаними формомасою

Залежно від характеру розташування пор процедурами шліфування та полірування іноді вдається усунути дефект, проте частіше пори тільки розростаються.

Включення оксиду цинку викликають появу поверхневого дефекту у вигляді V-подібного розтріскування («вороняча лапка»). При такому дефекті майже вся поверхня виробу вкрита порами, які появляються під час операції шліфування та полірування. У випадках використання низькопробних сплавів поверхня виробів біля

пор тьмяніє. При хімічній обробці травленням, електролітичне очищення, а також при взаємодії людського поту або іншого агресивного середовища, оксиди будуть витравлятися викликаючи локальне потьмяніння та корозію (рис. 8).



Рис. 8. Поверхнева пористість, викликана домішками оксиду цинку

Не рідко цей тип дефекту путають із усадковою пористістю, щоб відрізнити їх необхідна детальна інформація про умови відливки виробу, а також аналіз мікрорізу дефектної області. Як правило, оксид цинку утворює включення у формі мембран або плівок. На мікрорізі мембрани мають вигляд ниткоподібних слідів, для виявлення яких необхідна гарна металографічна підготовка мікрошліфу. Як зазначалось вище, на поверхні включення мають V- подібну форму.

Якщо в структуру металу проникла значна кількість оксидів, виникає підвищена крихкість в результаті чого виріб може зламатись при найменшому натисканні.

Шлакові включення викликають на поверхні виробу дуже нерівну структуру, яка нагадує кольорову капусту. Часто включення видно на поверхні (рис. 9).



Рис 9. Структура поверхні виробу, пошкоджена шлаковими включеннями

Дефект з'являється в результаті присутності шлаків та флюсів, що потрапили в

опоку разом з розплавом. Шлаки збираються на поверхні та видаляються разом з формомасою під час очистки відливки. На механічні властивості та мікроструктуру дефект не впливає. Проте поліруванням надати поверхні блиск вже не вдасться - включення мають тенденцію виламуватися, що призводить до подряпин.

Часто вище описана пористість поєднується із газовою. В результаті на поверхні дефектних виробів виникають неправильної форми пори та неглибокі матові вм'ятини. Внаслідок надмірної пористості на ділянках невеликого перерізу можуть виникнути тріщини.

Аналіз мікроструктури дозволяє 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 різноманітних присадок, які крім того, що сприяють подрібненню зерен та покращенню технологічних властивостей сплавів, може також викликати появу ряду дефектів.

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%, в той час як вільний від домішок сплав здатний витримувати деформацію до 70%.

Такий ефект пояснюється тим, що розчинність зокрема іридію в золотих сплавах дуже низька в рідкому стані, тому він розподіляється нерівномірно. В результаті утворюються гнізда твердих часточок іридію, які досягають поверхні формують тверді включення або викликають утворення тріщин при деформації через концентрацію на них напруг.

В більшості випадків неправильне або надлишкове використання присадок, що подрібнюють зерно, виявляється 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 більш маленьких часточок (рис. 10). Під час полірування включення набувають вигляду «хвоста комети».

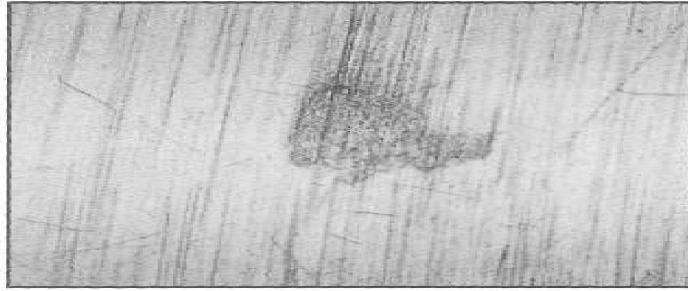


Рис. 10. Ділянка золотого виробу, відлита із забрудненого сплаву

Часто на виробах відлитих з порушенням технологічних вимог до безперервного лиття фіксуються тріщини, які на перший погляд тільки поверхневі. Поверхня таких виробів вкрита дрібними тріщинами, хоча сам виріб не ламається (рис. 11).

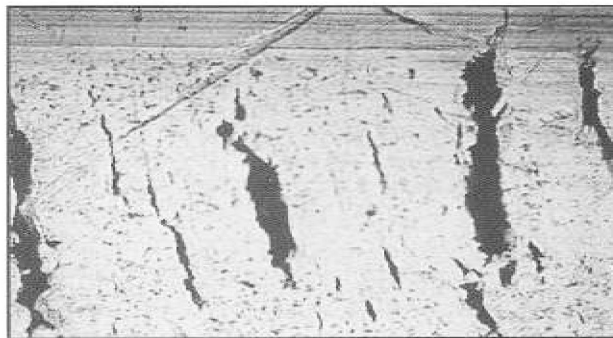


Рис. 11. Тріщини на поверхні виробів виготовлених методом безперервного лиття

У випадку появи такого дефекту на поверхні каблучки перелом може статися під час спроби зміни її розміру. Поліруванням дефект не усувається, оскільки тріщини занадто глибокі.

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

Обидва описаних вище дефекти є неусувними та при операційних маніпуляціях із виробами призводять до подальшої їх руйнації.

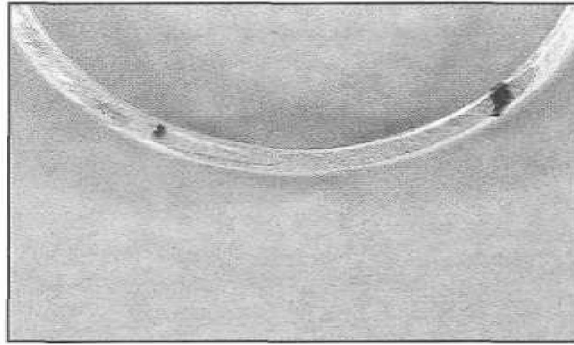


Рис. 12. Розшарування поверхні виробу

Нами було виділено окрему категорію дефектів, що викликані складом самого сплаву. Такі дефекти є неусувними та незмінно призводять до деформування та розломів виробів.

Так, 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 покращення якості відливок у вигляді мікролегуючих компонентів.

Нами було проведено дослідження дефектів, які з'явилися на золотому перстені 585 проби в процесі 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 якого-небудь зовнішнього впливу.

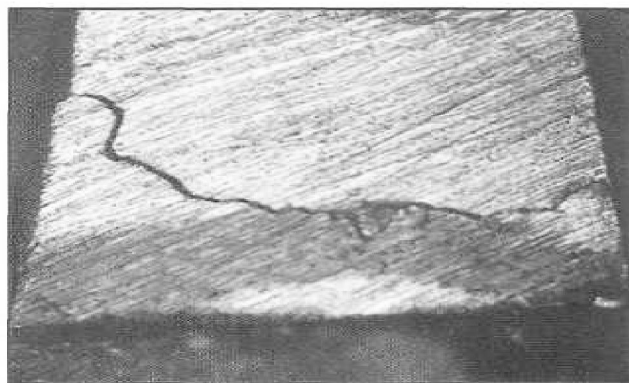


Рис. 13. Тріщини матеріалу, викликані сполуками кремнію

Під час дослідження мікроструктури сплаву при багатократному збільшенні

нами було зафіксовано сіруваті включення на границі кристалів. При подальшому дослідженні ці включення були ідентифіковані як сполуки кремнію. Тонкі виділення цієї сполуки, розповсюджуючись по всій довжині границь зерен, викликають крихкість та тріщини матеріалу.

Подібну до впливу кремнієвих сполук на дорогоцінні сплави має свинець. Домішки свинцю, за умови виокремлення на поверхні зерен сплаву, руйнують між ними зв'язки (рис. 14).

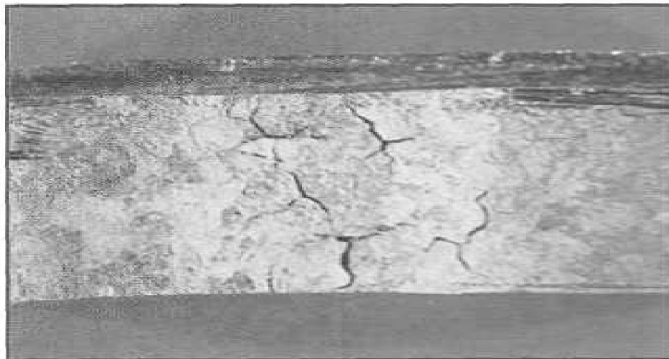


Рис. 14. Тріщини викликані домішками свинцю

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).

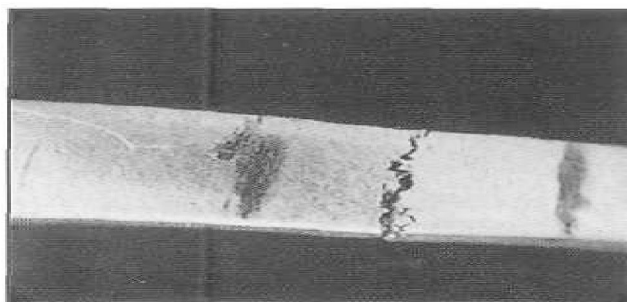


Рис. 15. Тріщини викликані включеннями сульфідів

Детальне дослідження мікроструктури виявляє численні тріщини та газові пори, причиною появи яких є з'єднання сульфідів на границях зерен металу.

Міцність матеріалів у таких випадках практично нульова, виріб можна зламати найменшим натиском руки.

Таким чином, можна стверджувати, що:

1. лиття форми за виплавлюваними моделями – це операція під час якої порушення технологічних режимів викликає незворотні процеси появи дефектів, які призводять до руйнації ювелірного виробу в цілому, або появи таких прихованих вад, які згодом повністю унеможливають експлуатацію такого виробу;
2. найсуттєвішими дефектами лиття за виплавлюваними моделями є пористість, деформація поверхні, облої, жорсткуватість, раковини, тріщини, шлакові та інші випадочні видимі включення, розшарування поверхні, крихкість тощо;
3. причинами появи цих дефектів є невідповідність температурному режиму в процесі відливки, неправильне розташування литників на формі, порушення режиму замісу, неякісна формомаса, наявність сторонніх металевих та неметалевих включень, зокрема оксиду цинку, шлакових включень, надлишок домішок (присадок), зокрема іридію, використання легкоплавких кремнієвих сполук, присутність свинцю, сульфідів тощо;
4. розроблено процедуру контролю технології для усунення цих дефектів.

Список використаних джерел:

1. David Federman. Can new alloys that don't need rhodium plating solve the problems with white gold? //www.modernjeweler.com/publication.
2. Кристофер В. Корти. Сплавы белого золота: наиболее актуальные технические проблемы, требующие решения специалистов отрасли //Ювелирный бизнес.- 2004 – октябрь – С. 49-54.
3. Mark B. Mann .950 Palladium: Laser Welding Tips and Techniques// www.ganoksin.com/borisat/nenam/palladium-welding.htm.
4. Peter Raw and Christopher W. Corti. Minimizing cracks during jewelry manufacturing and beyond //www.ganoksin.com/borisat/nenam/ajm-road.

РЕЗЮМЕ

Лиття по виплавленим моделям – це операція під час якої порушення технологічних режимів викликає незворотні процеси появи дефектів, які призводять до руйнації ювелірного виробу в цілому, або появи таких прихованих вад, які згодом повністю унеможливають експлуатацію такого виробу. В статті наведено результати проведених досліджень дефектів, які виникають під час технологічного процесу лиття.

РЕЗЮМЕ

Литье по выплавляемым моделям - это операция во время которой нарушение технологических режимов вызывает необратимые процессы появления дефектов, которые приводят к разрушению ювелирного изделия в целом, или появления таких скрытых недостатков, которые со временем полностью сделают невозможным эксплуатацию такого изделия. В статье приведены результаты проведенных исследований дефектов, которые возникают во время технологического процесса литья.

RESUME

Casting on the smelted models is an operation during which violation of the technological modes causes the unnerves processes of appearance of defects which result in destruction of jewelers good on the whole, or appearance of such hidden failings which in course of time fully will do impossible exploitation of such good. The results of the conducted researches of defects which arise up during the technological process of casting are resulted in the articles.