

БУЛИГА Д.С., КОЧЕШКОВ А. С.

(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)

АНАЛІЗ БРАКУ ВИЛИВКІВ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО  
ВИТОПЛЮЮТЬСЯ

E-mail: dmytrobulyha@gmail.com

**АНОТАЦІЯ.** Проблема браку ювелірних виливків присутня завжди, особливо в масовому виробництві. Лазерне зварювання показує себе рентабельним інструментом для виправлення браку ювелірних виробів, про що й ведеться мова в даній статті. Процес зварювання моделюється лазерним маркувальником. Досліджуються особливості взаємодії лазерного променя з різними сплавами та вибираються найбільш ефективні режими роботи.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** виливки, виробництво, дефекти, зварювання, лазер, сплави, потужність, промінь.

Сьогодні найчастіше виготовлення виливків із сплавів кольорових металів проходить за допомогою спеціальних методів лиття. Великий відсоток складає процес лиття за моделями, що витоплюються (ЛВМ). Через використання значної кількості операцій у такому виробництві та номенклатури виробів, цей спосіб отримання виливків є складним. Не дивлячись на успіхи вітчизняних та зарубіжних фахівців, які вирішили ряд теоретичних та практичних питань з проблеми лиття, деякі питання так і залишаються не вирішеними, і не розвиваються в повній мірі[1].

Ювелірні технології досягли високого рівня якості, точності та мінімізації браку при дотриманні технологій порівняно з ручними методами, але повністю уникнути браку не завжди вдається. Стовідсоткового виходу придатного (ВП) при реальному виробництві досягти надзвичайно складно, адже неможливо щоразу точно проконтролювати всі параметри (відповідність металевій шихти стандартам, якість формувальної маси, якість воску, людський фактор, неправильна ливникова система, випадковості і т. ін.), адже додаткові дослідження при виробництві – недоцільна витрата коштів та робочого часу, що призводить до зниження продуктивності та прибутковості виробництва. Набагато легше відштовхуватися від існуючого бракованого виробу передивитися технологію, зробити висновки та відлити його знову, наскільки показує практика. Але не всі браковані вироби підлягають переплаву. Існує декілька видів дефектів, які можна виправити безпосередньо на відлитій заготовці: пористість; недолив; неспай; корольок.

Найбільш прогресивним методом боротьби з поверхневими дефектами на даний момент є ла-

зерне зварювання. Головною особливістю даного методу є точковість дії лазерного променя, що дає змогу уникнути поширення тепла на весь виріб без небезпеки зруйнувати деталі. Ще одним значним плюсом є той факт, що зварювати можна той самий сплав, що і у виробі, а це вже дасть змогу вдало пройти пробірний контроль. Також колір наплавленого металу зовсім не відрізняється від оригіналу, чого не досягти при звичайній пайці. Тому лазерне зварювання широко застосовується в ювелірній справі, але не лише у боротьбі з дефектами при литті: вироби зношуються під час носіння, але далеко не всі можна відновити «ручними» методами[3].

Для дослідження взаємодії лазерного променя з металами ми використовували імпульсний лазерний маркувальник SharpMark Fiber. Технологічні режими роботи лазерних маркувальників та лазерних зварювальників відрізняються потужністю та розміром плями променя. З результатів досліджень ми зробили висновки щодо найкращих режимів роботи з окремими сплавами. В роботі використовувалися сплави кольорових металів (титану, міді), сталь та сплави благородних металів (срібла, золота). Всі сплави піддаються обробці лазером по-різному залежно від їх фізичних властивостей, а саме: теплопровідність, теплоакуюча здатність, електропровідність, міцність та температура плавлення.

Дослідження виконувались методом підбору найбільш ефективних режимів роботи лазерного маркувальника, з якими досягалася максимальна глибина зйому металу при максимальній швидкості, а саме - потужності випромінювання  $N$  та швидкості проходження променю  $V$ . Параметри змінювалися у межах  $N = 5...27$  Вт;

$V = 50 \dots 5000$  мм/хв. Спершу визначали найбільш підходящу потужність випромінювання  $N$  при стандартній швидкості  $V = 500$  мм/хв, а потім визначали найбільш допустиму швидкість при знайдений потужності. При дослідженнях використовувалися сплав срібла  $\text{CrM}92,5$  (ГОСТ 6836-2004), сплав золота  $\text{ЗлCrM} 58,5-8$  (ГОСТ 6835-2002), листово прокатана нержавіюча сталь  $12\text{X}18\text{H}9$  (ГОСТ 5949-75), латунь  $\text{Л}70$  (ГОСТ 15527-70) та сплав титану  $\text{BT}6$  (ГОСТ 19807-91). Найвпливовішими параметрами сплавів при роботі з лазером є міцність та температура плавлення. Особливістю металів є зафарбовування полум'я у різні кольори залежно від лігатур, які є у сплаві.

Сплави срібламають високу теплопровідність, що робить її вибагливим матеріалом у виборі параметрів обробки. Горить яскраво-зеленим полум'ям, що відповідає спектру міді, присутній у пробі, а чисте срібло, в свою чергу, горить білим кольором. Таким чином, невеликий вміст міді в сплаві справляє помітний вплив на колір полум'я при його горінні. Нижче наведено графіки залежностей для сплаву срібла  $\text{CrM} 92,5$  (рис. 1, 2).

Як можна побачити, залежності нелінійні. Цепояснюється тим, що при високій потужності срібло починає наплавлятися. Найбільша ефек-

тивність досягається при потужності  $N=18$  Вт. Використаємо цю потужність для знаходження оптимальної швидкості проходження. Як видно з графіку, швидкість  $V=500$  мм/хв і є оптимальною для срібла. При зменшенні швидкості метал починає наплавлятися, що призводить до зменшення глибини знімання, а при збільшенні швидкості проходження спостерігається зворотній ефект – фокус променя недостатньо контактує з металом.

Взаємодія сплавів золота з лазерним випромінюванням не залежить від його кольору, змінюється лише колір горіння: для червоного – яскраво – синій (що говорить про високий вміст міді); для жовтого – яскраво – блакитний (знову ж-таки, це пов'язано зі вмістом міді, а яскравість додається сріблом); для білого – яскраво – фіолетовий (що говорить про включення іридію). Нижче наведено графіки залежностей для сплаву золота  $\text{ЗлCrM} 58,5-8$  (рис. 3, 4).

З графіків визначили, що глибина знімання металу зі збільшенням потужності випромінювання зростає, але починаючи з потужності  $N=25$  Вт починає утворюватися жолоблення металу, тому оптимальною потужністю слід вважати  $N=22$  Вт, а максимальна глибина знімання

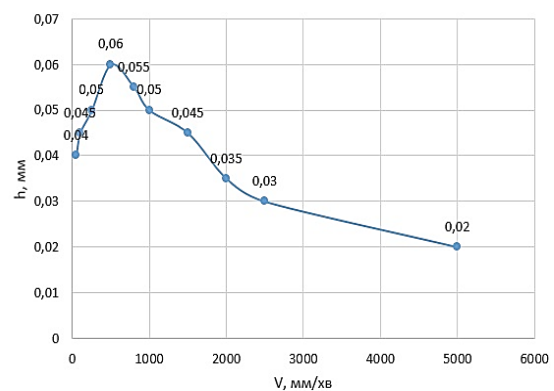
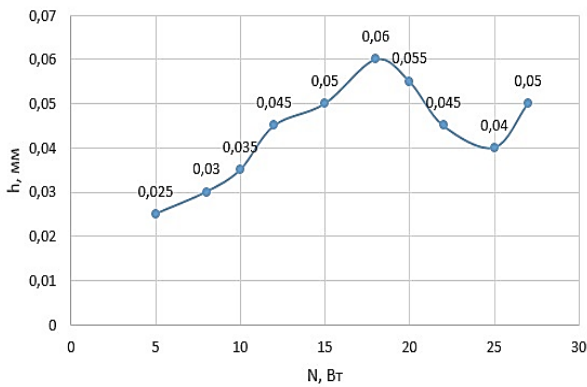


Рис. 1. Режими роботи лазера для сплаву срібла  $\text{CrM} 92,5$

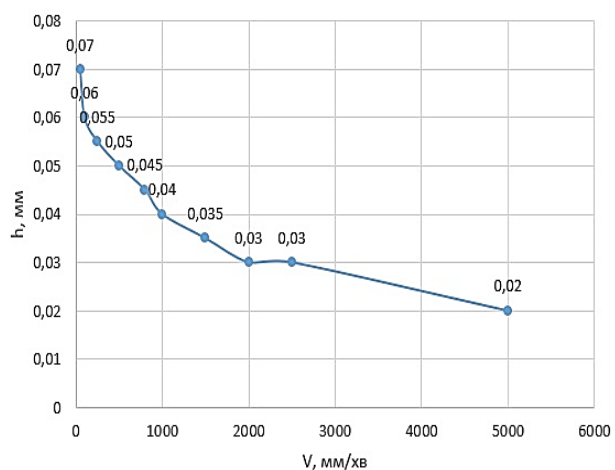
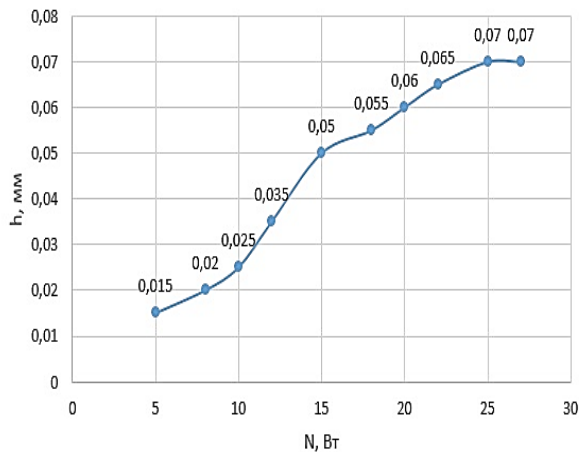


Рис. 2. Режими роботи лазера для сплаву золота  $\text{ЗлCrM} 58,5-8$

досягається при мінімальній швидкості, адже збільшується час контакту променя з металом, що призводить до жолоблення та втрати деталей, тому оптимальною швидкістю є  $V=800$  мм/хв.

Виходячи зі спостережень, можна сказати, що великої різниці у взаємодії сталі та сплавів золота з лазерним випромінюванням немає, але сталь, все ж, міцніша й при тих самих режимах, що найкращі для золота, сталь ще може витримати потужніший та триваліший контакт з променем, не починаючи наплавлятися. Характерною особливістю горіння сталі є яскраво-помаранчеві іскри та темно-синє світло. Дослідження проводяться аналогічно попереднім. Графіки залежностей для сталі 12X18H9 наведено нижче (рис. 3).

Зйом сталі зі збільшенням потужності зростає, як і зі збільшенням часу контакту променя з металом, тому робимо висновок, що для сталі підходять максимальні параметри.

Титан обробляється найдовше, що пояснюється його високою міцністю та температурою плавлення. Характерною особливістю титану є надзвичайно тривала обробка та велика кіль-

кість яскраво-жовтих іскор, схожих на бенгальські вогні. Дослідження проводяться аналогічно до попередніх. Графіки залежностей для сплаву титану VT6 наведено нижче (рис. 4).

Як видно із графіків, для титану справедливі висновки, що були зроблені для сталі – збільшення потужності веде до збільшення зйому. Єдина різниця – зйом майже вдвічі менший при тих самих режимах.

З досліджень виявлено особливість латуні – властивості близькі до золота. Полум'я зафарбовується у світло-синій, близький до бірюзового колір, бо у сплаві багато міді та цинку. Дослідження проводяться аналогічно до попередніх. Графіки залежностей для латуні Л60 наведено нижче (рис. 5).

Аналогічно, як у золота, при потужності  $N=25$  Вт починають втрачатися деталі та метал починає жолобитися, а при нижчій досягається максимальний зйом металу зі збереженням деталей, тому приймаємо потужність  $N=22$  Вт за оптимальну. Також латунь знімається ефективніше при тих самих режимах, що й для золота.

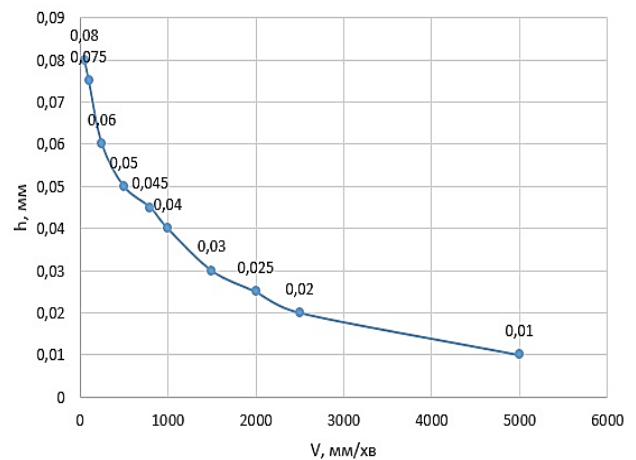
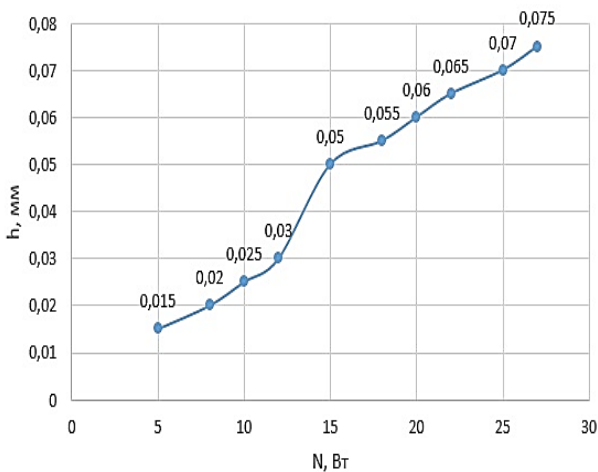


Рис. 3. Режими роботи лазера зі сталлю 12X18H9

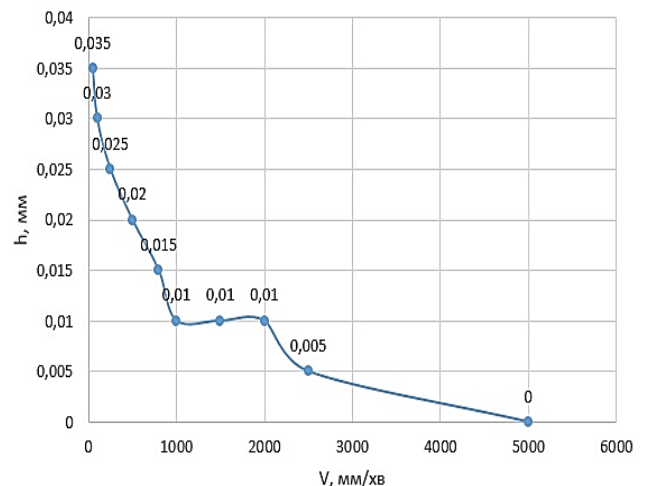
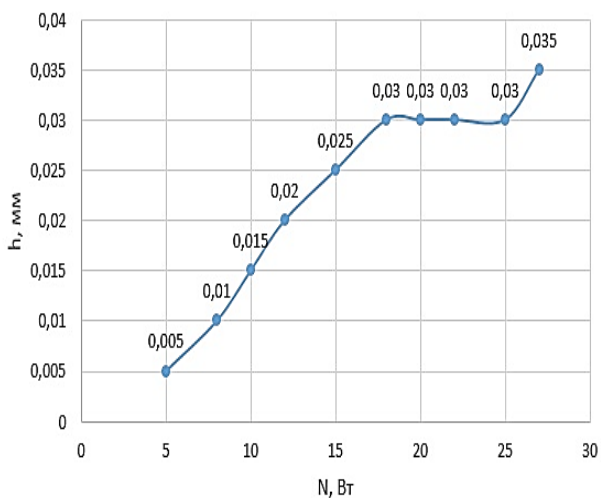


Рис. 4. Режими роботи лазера зі сплавом титану VT6

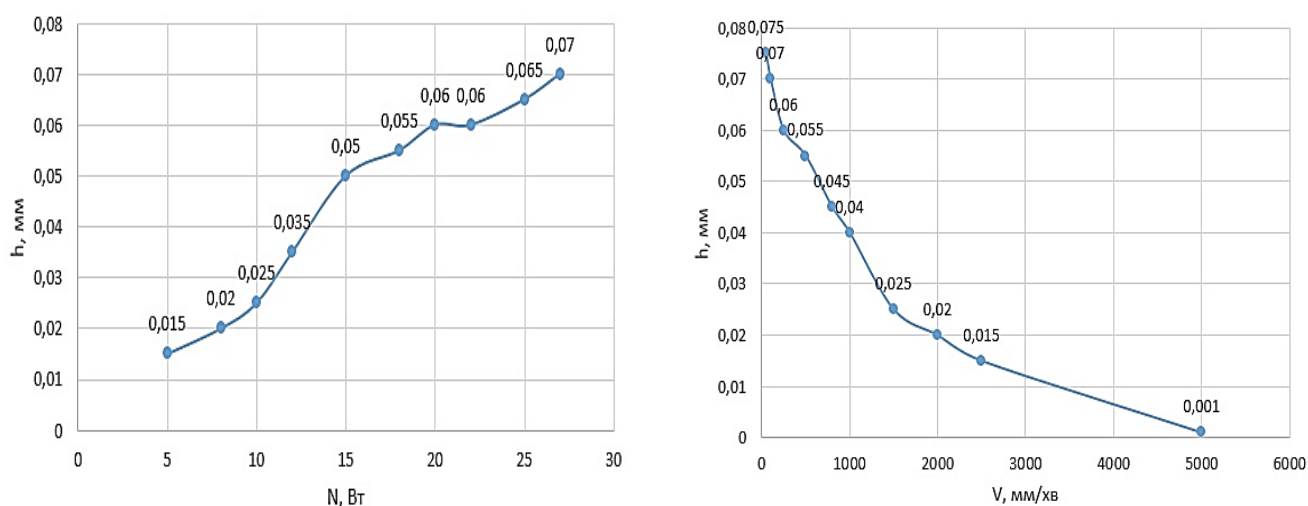


Рис. 5. Режими роботи лазера з латунню Л60

Це пояснюється тим, що у латуні менша теплопровідність, отже точковий імпульс лазера не розповсюджується на весь об'єм деталі, як би це було для сплавів золота.

Зробивши якісний перехід на лазерне зварювання, відштовхуючись від даних досліджень можна сказати, що краще буде зварюватися сплав золота, адже він має більшу міцність та меншу теплопровідність, ніж у срібла, а отже, точковий промінь ефективніше зварюватиме дефект саме у сплавах золота, а найкраще з досліджених – латуні. Чим менша температура

плавлення, твердість та теплопровідність, тим швидше і якісніше заварюватимуться дефекти на ювелірному виливку.

Також дослідження показали, що зі збільшенням міцності сплаву його стійкість до лазерного випромінювання зростає, а зі збільшенням теплопровідності точка екстремуму досягається при меншій потужності, тому можна зробити висновок щодо найбільш ефективних режимів роботи з конкретним сплавом, знаючи його міцність і теплопровідність та порівнявши з готовими результатами.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Тошева О.Ю., Кочешков А.С., Самарай В.П. Питання якості виливків із сплавів кольорових металів за моделями, що витоплюються. - Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2014. – № 1 (32). – С.140-144.
2. Промышленное применение лазеров. Под ред.. Кебнер Г., – М.: Машиностроение, 1988. – 280 с.
3. Халилов И. Х. Ювелирное литье / И. Х. Халилов, М. И. Халилов. – Махачкала. – 2000. – 104 с.

## CASTING DEFECTS ANALYSIS ON MELTING MODELS

**SUMMARY:** The problem of the lack of jewelry castings is always present, especially in mass production. Laser welding shows itself as a cost-effective tool for correcting the shortage of jewelry, as is the case with this article. The welding process is modeled by a laser marker. The degree of interaction of a laser with different alloys is studied and the most effective modes of work are selected.

**KEYWORDS:** defects, casting, laser, welding, alloys, power, production, beam.