



О. В. Тітаренко



Н. В. Зубкова



О. О. Карпенко

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЯКІСТЬ ПОЛІМЕРНИХ ПЛОСКО-УВІГНУТИХ ЛІНЗ ДЛЯ ОПТИЧНИХ ПРИЦІЛІВ СУЧАСНИХ СНАЙПЕРСЬКИХ ГВИНТІВОК

Розглянуто можливість визначення найбільш раціональних технологічних умов лиття під тиском при виготовленні плоско-увігнутих лінз із термопластичних полімерних матеріалів на прикладі поліметилметакрилату. Пластичність полімерного матеріалу використано для зміни кривизни лінзи під тиском рідини та гнучкого і швидкого регулювання кратності зображення у сучасних адаптивних конструкціях оптичних прицілів. Експериментально досліджено вплив температури розплаву полімеру, швидкості його вприскування та часу витримки під тиском у формі на мікрогеометрію поверхні за показниками шорсткості. Встановлено, що формування мікрогеометрії увігнутої поверхні лінзи відбувається за більш складними процесами застигання полімеру у формі. Запропоновані раціональні значення технологічних параметрів для забезпечення мінімальних значень показників шорсткості поверхні та рівномірного їх розподілу.

К л ю ч о в і с л о в а: оптичні приціли, плоско-увігнуті лінзи, термопластичні полімерні матеріали, поліметилметакрилат, лиття під тиском, температура розплаву, швидкість вприскування, час витримки, якість, шорсткість поверхні, дефекти.

Постановка проблеми. Поява оптичних систем прицілювання дозволила вирішити багато проблем, притаманних механічним прицілам. Найголовніші з них пов'язані зі складністю одночасного бачення цілі та прицільного пристосування і відсутністю оптичного збільшення для кращого бачення цілі. В оптичних прицілах візир і ціль фокусуються в одній площині, тому їх можна одночасно чітко бачити без необхідності змінювати фокусування ока стрільця. Однак більшість оптичних систем через велику кількість лінз неорганічного походження (силікатні матеріали) мають велику вагу, є достатньо громіздкими, не відрізняються компактністю, що значно погіршує показники оперативності виконання складних завдань. Крім того, надійність роботи таких систем обмежена крихкістю силікатних лінз.

У сучасних передових розробках у сфері оптики пропонується вирішувати зазначені проблеми суміщенням в одній оптичній системі матеріалів органічного та неорганічного походження. Органічні матеріали за такими фізико-механічними властивостями як густина, ударна в'язкість, модуль пружності переважають неорганічні матеріали (таблиця).

Фізико-механічні властивості органічного (поліметилметакрилату – ПММА) та неорганічного оптичного скла

Властивість	ПММА	Неорганічне скло
Показник заломлення (n_D^{20})	1,49	1,46–1,49
Пропускання світла при товщині 0,5 мм, %	89–92	–
Густина, г/см ³	1,18–1,21	2,2–5,9
Модуль пружності, МПа	2900–3200	50000–80000
Руйнуюча напруга при розтягуванні, МПа	70–100	70–90
Ударна в'язкість, кДж/м ²	13–18	0,5–1,5

При цьому мають близький коефіцієнт заломлення та за пропусканням світла при товщині 0,5 мм наближаються до 92 %. Однак за іншими оптичними характеристиками полімерні оптичні матеріали поступаються силікатним.

Використання переваг кожної з груп оптичних матеріалів в одній системі дозволяє значно покращити функціональні властивості оптичних прицілів снайперських гвинтівок. Так звані адаптивні приціли, виготовлені за технологією RAZAR (Rapid Adaptive Zoom for Assault Rifles) [1], у поворотній системі оснащені лінзами із герметичних термопластичних полімерних матеріалів, між якими знаходиться рідина (рис. 1). Зміна кривизни лінз здійснюється за допомогою п'єзоелектричного приводу, що дозволяє за 250 мс збільшити кратність зображення лише легким натисканням кнопки на корпусі прицілу. Для підвищення якості зображення полімерні адаптивні лінзи поєднуються з фіксованими просвітленими скляними силікатними лінзами.

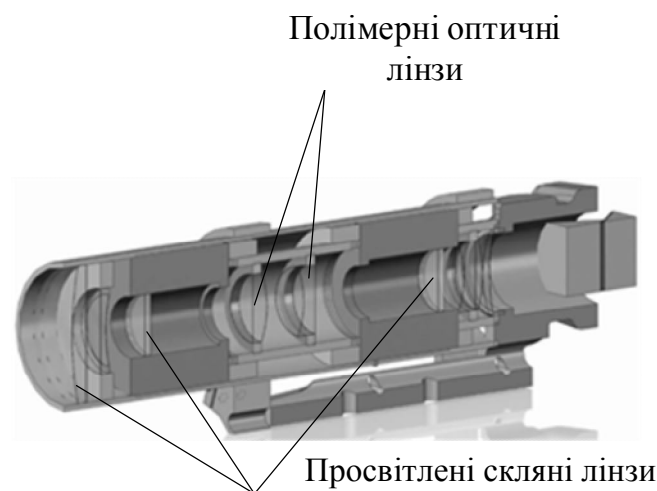


Рис. 1. Адаптивний приціл снайперської гвинтівки, виготовлений за технологією RAZAR

Оскільки зміна фізико-механічних властивостей з часом та під впливом температури все ще лишається проблемою полімерних матеріалів, важливо її відтермінувати у часі до кінця строку експлуатації прицілу. Серед можливих шляхів забезпечення високих та стабільних властивостей є створення таких умов виробництва, за яких забезпечуються мінімальні показники шорсткості поверхні та рівномірний їх розподіл у межах однієї поверхні. Оскільки саме наявність великої кількості розірваних макромолекул у поверхневих шарах полімеру провокує помірне проникнення деструкційних процесів у глибокі матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі наукові роботи, в яких досліджуються причини погіршення пропускну здатності полімерних лінз через відбиття, абсорбцію та розсіювання світла [2, 3, 4], де зазначається, що оптичний матеріал високої якості повинен мати інтегральний коефіцієнт світлопоглинання менший, ніж 0,4 % на 10 мм товщини лінзи. Перші ознаки старіння полімерних матеріалів виявляються у зміні кольору, що пов'язано з утворенням спряжених структур, які поглинають світло у синій області спектра. Зміна показника заломлення, який для оптичних полімерних матеріалів має складати $1,33...1,7 \pm (0,5...1,0) \cdot 10^{-3}$, спостерігається на етапі полімерізації у разі потрапляння до мономеру домішок та забруднень (сорбційна вода, розчинники) або під час надання полімеру форми.

До найбільш продуктивних способів виготовлення високоякісних лінз із полімерних матеріалів належить лиття під тиском [5]. Експлуатаційні властивості у такому випадку суттєво залежать від ступеня орієнтації структури у процесі формування. Упорядкована та орієнтована структура, що формується у фронті напрямку течії, має велику міцність, на відміну від структури, що формується у перпендикулярному напрямку. Саме через це при застиганні матеріалу в ньому можуть зберігатися внутрішні напруження, здатні провокувати суттєве погіршення оптичних властивостей виробу (втрата прозорості, поява тріщин срібла) [6].

Виробничі чинники, які найбільше впливають на якість полімерної оптики за умов її лиття під тиском, можна ранжувати низкою показників (рис. 2) [7]. До технологічних показників на етапі формування виробу відносять параметри режиму лиття: температуру розплаву, швидкість вприскування, тиск та час витримки, час охолодження, температуру форми.

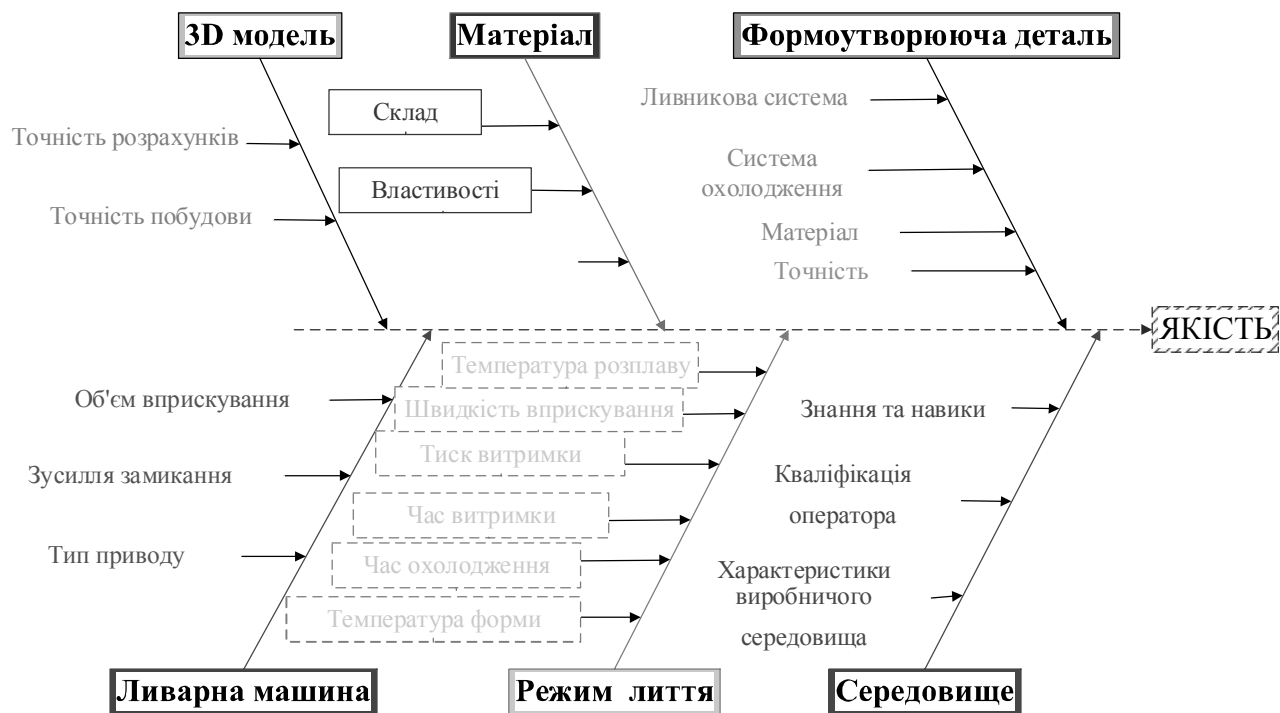


Рис. 2. Фактори впливу на якість полімерних виробів, отриманих литтям під тиском

Залежно від вимог до експлуатаційних властивостей оптичного виробу їх якість оцінюють різними показниками, серед яких переважають ті, що характеризують мікрогеометричний стан поверхні (шорсткість), прозорість, енергетичну сталість та стабільність цих показників у межах виробу [8].

Незважаючи на велику перспективу застосування полімерних термопластичних матеріалів і якість рухомих лінз оптичних прицілів, їх промислове виробництво залишається дуже обмеженим через значну кількість технологічних факторів впливу і високу вартість оснащення.

Метою статті є визначення найбільш раціональних технологічних умов процесу лиття під тиском для забезпечення високої якості оптичних лінз із термопластичних полімерних матеріалів.

Виклад основного матеріалу. Об'єктом експериментальних досліджень вибрано блочний поліметилметакрилат (ПММА) марки СО-120-А (ГОСТ 10667 – 90 [9]), гранули якого виготовлені на науково-виробничому підприємстві Інститут сцинтиляційних матеріалів (ІСМА) Національної академії наук України. Всі зразки лінз для досліджень (див. рис. 3) були виготовлені на електричній ливарній машині Ferromatik Milacron EE30-55 з об'ємом вприскування 19 см^3 ; зусиллям замикання 30 т; відстанню між колонами $300 \times 300 \text{ мм}$; розміром плити $450 \times 456 \text{ мм}$; закритою висотою ливарної форми $\text{min } 150 \text{ мм}$, $\text{max } 330 \text{ мм}$; ходом виштовхування 100 мм. Даний вибір заснований на можливості виробництва малих партій високоякісних виробів.

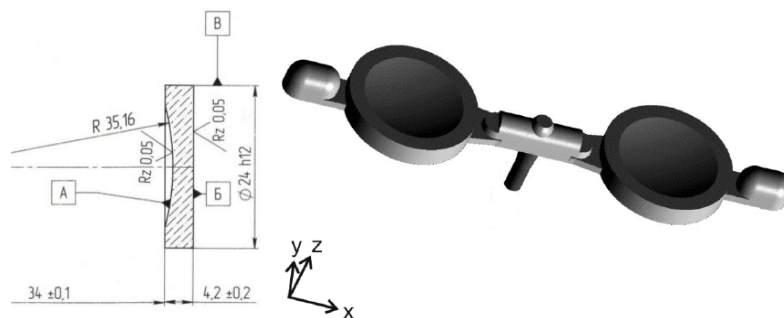


Рис. 3. Кресленник та 3D модель пари полімерних лінз

Як ливарна форма використана універсальна переналагоджувана форма (рис. 4) із алюмінієвого сплаву Д16Т, яка завдяки змінним формоутворюючим деталям може бути використана для певної групи лінз з різною геометрією. Габарити форми $206 \times 156 \times 183$ мм. Температура форми підтримується на рівні $95\text{ }^\circ\text{C}$, тиск вприскування встановлений у межах 180 МПа , тиск витримки 80 МПа .

Процес формування виробів складається з послідовних операцій. Гранульований і висушений матеріал надходить до зони шнека машини, де розплавляється, після чого під тиском вприскується в ливарні форми через ливникову втулку, заповнюючи з високою швидкістю ливникові канали та порожнину, і після застигання утворює готовий до вилучення виливок. Застигання матеріалу відбувається спочатку біля холодних стінок порожнини форми, а потім поширюється вглиб до центра виливка, після чого здійснюється розмикання форми і готовий виріб виштовхується штовхачами [10].

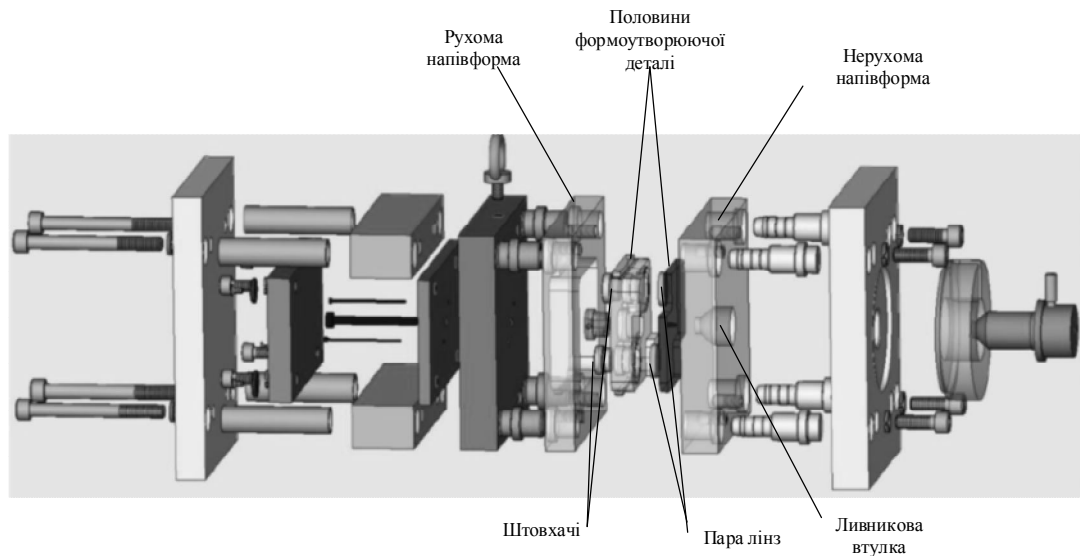


Рис. 4. 3D модель ливарної форми з виливком полімерної лінзи

Якість поверхневого шару готових виливків лінз оцінювалася за параметром шорсткості R_z контактним-щуповим профілографом Hommel Tester T8000. Для плоских поверхонь використовувався щуп ТКУ300: KE5/90GD, а для увігнутих – ТКУ300: KE5/90D.

На плоскій поверхні лінзи вимірювання шорсткості виконувалися у двох напрямках – вздовж та поперек фронту руху полімерного матеріалу по порожнині ливарної форми; на увігнутій поверхні – на трьох ділянках у подовжньому напрямку течії та на двох ділянках у поперечному. Довжина ділянки вимірювання на плоскій поверхні складала 23 мм , а на увігнутій – $1,5\text{ мм}$. Виміряна поверхня оцінювалася за середнім значенням параметра R_z .

З усіх технологічних показників, що створюють певні теплофізичні умови для формування якості виробу (рис. 2), для оцінювання впливу вибрані: температура розплаву, швидкість вприскування $V_{\text{вп}}$ та час витримки $\tau_{\text{випр}}$.

Перша серія експериментів була проведена за умов змінної температури розплаву і сталих значень $V_{\text{вп}} = 30\text{ см}^3/\text{с}$ та $\tau_{\text{випр}} = 24\text{ с}$. Аналіз даних показує, що при більш високій температурі розплаву вздовж плоскої та увігнутої частин відмічається зниження шорсткості у напрямку руху розплаву до форми (рис. 5). Максимальні значення спостерігаються на вході розплаву до порожнини, як з боку плоскої частини лінзи, так і з боку її увігнутої частини. При цьому шорсткість увігнутої частини набагато вища, ніж плоскої. Таке можна пояснити різною в'язкістю матеріалу, нерівномірним розподілом температури розплаву у формі, особливо під час застигання різнотовщинних перерізів лінзи, а також характером його ущільнення. Відповідно оптимальний температурний діапазон розплаву полімеру ПММА при заливанні у форму має складати $270 \dots 280\text{ }^\circ\text{C}$.

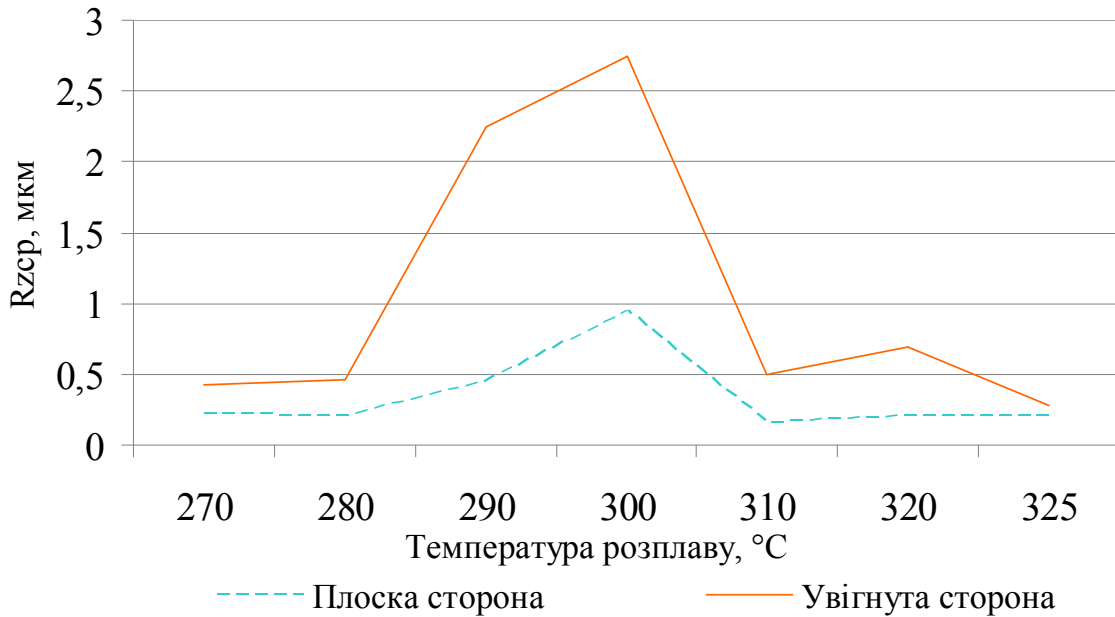


Рис. 5. Шорсткість лінз із ПММА залежно від температури розплаву

Більш однозначно впливає на шорсткість поверхонь лінз швидкість вприскування (див. рис. 6). За сталих значень температури розплаву 280 °C та часу витримки $\tau_{\text{втр}} = 24$ с маємо практично невинне зростання шорсткості. Найбільший її вплив на увігнутій стороні лінз. Встановлені закономірності виявляють зміни у деформації шару полімеру, що застигає біля стінок форми. Деформація збільшується внаслідок додаткового впливу тиску розплаву на стінки в момент заповнення.

Оптимальним діапазоном з погляду на рівномірність розподілу шорсткості на обох сторонах лінз слід вважати $V_{\text{вп}} = 35 \dots 45$ см³/с.

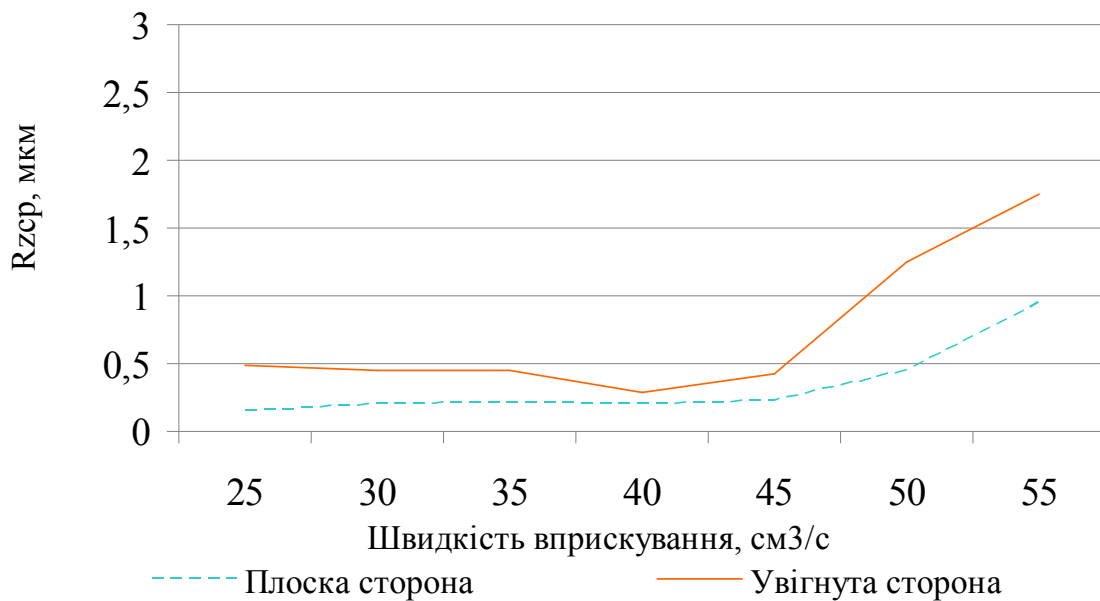


Рис. 6. Шорсткість лінз із ПММА залежно від швидкості вприскування розплаву

Однозначний характер впливу на шорсткість поверхонь лінз має і час витримки (рис. 7). Основною тенденцією за умови $V_{\text{вл}} = 35 \text{ см}^3/\text{с}$ і температури розплаву $280 \text{ }^\circ\text{C}$ можна вважати зменшення шорсткості зі збільшенням часу витримки. Це, найімовірніше, пов'язане з тривалістю процесів усадки матеріалу, які потребують певного часу.

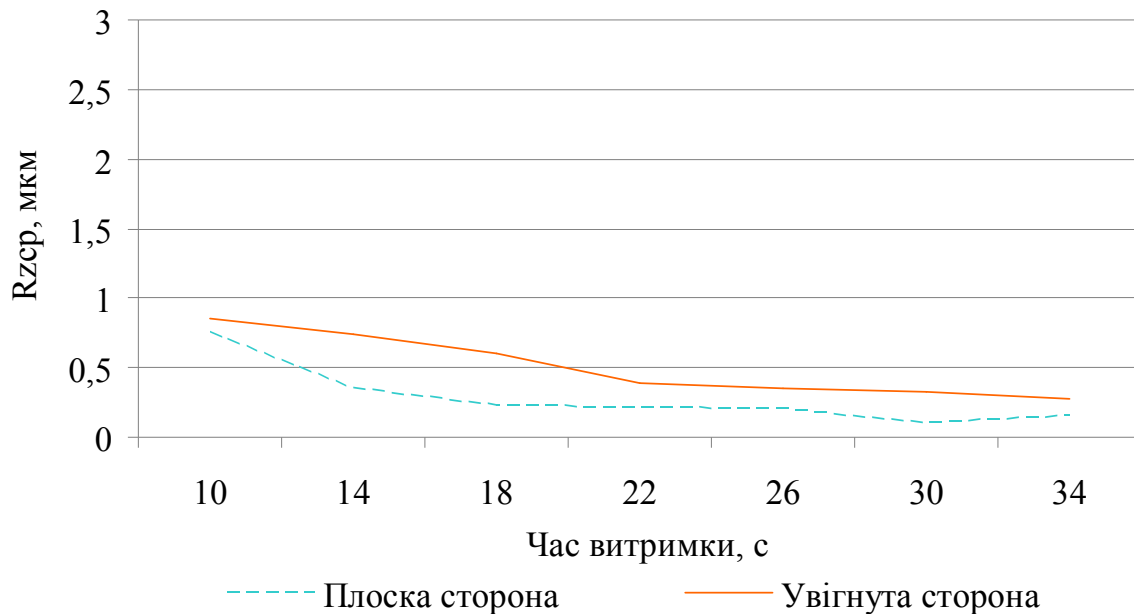


Рис. 7. Шорсткість лінз із ПММА залежно від часу витримки розплаву у формі

Достатнім для утворення рівномірного профілю з обох боків лінзи можна вважати час від 18 с.

Ураховуючи отримані залежності, саме температура розплаву найбільше впливає на шорсткість поверхні полімерних лінз при литті під тиском.

Висновки

Формування якості полімерних плоско-увігнутих лінз під час лиття під тиском залежить від великої кількості чинників, що пов'язані з якістю формуютьорюючих деталей, особливостями конструкції ливарної форми та умовами її заповнення. Визначення раціональних технологічних умов базується на проведенні великої кількості експериментів з оцінювання впливу параметрів технологічного процесу виготовлення полімерної лінзи на стан поверхневого шару та виявленні найбільш вагомих факторів впливу. При цьому принципово важливим є забезпечення стабільності показників якості в межах виробу.

Отримані залежності свідчать про складні процеси теплообміну між розплавом полімерного матеріалу та ливарною формою і, як наслідок, про появу неоднорідностей застигання усадкового характеру.

Формування найбільш однорідних за мікрогеометрією поверхонь при найменших значеннях шорсткості забезпечується за умов температури розплаву полімеру ПММА $270 \dots 280 \text{ }^\circ\text{C}$, швидкості вприскування $V_{\text{вл}} = 35 \dots 45 \text{ см}^3/\text{с}$ та часу витримки розплаву у формі від 18 с і більше.

Важливим етапом підготовки вихідної сировини є ретельне просушування полімерних гранул до моменту їх використання для лиття, що виключає утворення різного роду дефектів бульбашкового характеру та погіршення оптичної прозорості лінз.

Наступним етапом у дослідженнях має бути визначення сталості оптичних характеристик та довговічності оптичних полімерних лінз. За умов виконання необхідних вимог вказані рекомендації щодо вибору параметрів технологічного процесу лиття під тиском можна прийняти як базові.

Список використаних джерел

1. Национальная лаборатория Сандия (США) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://share-ng.sandia.gov/news/resources/news_releases/riflescope/. – Загл. с экрана.
2. Dohlus, R. Technische Optik. – Boston : de Gruyter, 2015. – 280 p.
3. Сперанская, Т. А. Оптические свойства полимеров [Текст] / Т. А. Сперанская, Л. И. Тарутина. – Ленинград : Химия. Ленинград. отд-ние, 1976. – 136 с.
4. Wissbach, W., Dahms M., Jaroschek C. Werkstoffkunde: Strukturen, Eigenschaften, Pruefung // Kunststoffe. – Springer Vieweg, 2015. – Kapitel 9. – S. 363–386.
5. Schroeder, B. Kunststoffe fuer Ingenieure // Herstellung. – Springer Vieweg, 2014. – Kapitel 2.3. – S. 3–6.
6. Ковалев, В. Г. Основы технологии изготовления деталей из пластмасс [Текст] : учеб. пособие / В. Г. Ковалев. – Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. – 59 с.
7. Пирогов, А. В. Разработка и моделирование процессов технологической подготовки производства изделий из полимерных оптических материалов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / А. В. Пирогов. – Санкт-Петербург, 2014. – 175 с.
8. Ляхович, А. М. Влияние влажности среды на значения краевых углов смачивания поверхностей с различной гидрофильностью [Текст] / А. М. Ляхович, А. А. Шмаков, Н. В. Лялина // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2010. – Т. 46, № 5. – С. 461–466.
9. ГОСТ 10667-90. Стекло органическое листовое. Технические условия [Текст]. – Введ. 01.07.91. – Москва : Изд-во стандартов, 1990. – 33 с.
10. Технологический справочник для операторов литьевых машин [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.polimer.net/stati/175_tehnologicheskij-spravochnik-dlja-operatorov-litevyh-mashin. – Загл. с экрана.

Стаття надійшла до редакції 13.11.2018 р.

УДК 621.923

О. В. Титаренко, Н. В. Зубкова, О. О. Карпенко

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА КАЧЕСТВО
ПОЛИМЕРНЫХ ПЛОСКО-ВОГНУТЫХ ЛИНЗ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ПРИЦЕЛОВ
СОВРЕМЕННЫХ СНАЙПЕРСКИХ ВИНТОВОК**

Рассмотрена возможность определения наиболее рациональных технологических условий литья под давлением при изготовлении плоско-вогнутых линз из термопластичных полимерных материалов на примере полиметилметакрилата. Пластичность полимерного материала использована для изменения кривизны линзы под давлением жидкости и гибкого, быстрого регулирования кратности изображения в современных адаптивных конструкциях оптических прицелов. Экспериментально исследовано влияние температуры расплава полимера, скорости его впрыскивания и времени выдержки под давлением в форме на микрогеометрию поверхности по параметрам шероховатости. Установлено, что формирование микрогеометрии вогнутой поверхности линзы происходит с более сложными процессами застывания полимера в форме. Предложены рациональные значения технологических параметров для обеспечения минимальных значений показателей шероховатости поверхности и равномерного их распределения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: оптические прицелы, плоско-вогнутые линзы, термопластические полимерные материалы, полиметилметакрилат, литье под давлением, температура расплава, скорость впрыскивания, время выдержки, качество, шероховатость поверхности, дефекты.

UDC 621.923

O. V. Titarenko, N. V. Zubkova, O. O. Karpenko

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON QUALITY OF POLYMER PLANO-CONCAVE LENSES FOR THE ADAPTIVE ZOOM RIFLESCOPES OF MODERN ASSAULT RIFLES

The possibility of determining the most rational technological conditions of injection molding of the plano-concave lenses made of thermoplastic polymer materials in a case of polymethylmethacrylate, are considered. Adaptive zoom changes the focal lengths of two or more lenses by varying the curvature of the lenses surfaces to provide optical zoom without changing their overall positions relative to one another, allowing the user to view either a wide-angle image or zoom in on an area of interest with a compact, low-power system. A polymer lens core has two flexible, hermetically sealed membranes, which encapsulate a polymer fluid. The three-quarter-inch lenses are aligned with glass lenses to complete the optical design. The influence of polymer melt temperature, injection speed and holding time under pressure in the transfer mold of a surface microgeometry in roughness parameters were experimentally researched. It has been established that the formation of microgeometry of concave lens surface occurs on more complex processes of hardening of polymer in the transfer mold. A melt temperature of the polymer has the most significant influence on the surface roughness. Processes of heat exchange between a polymer and transfer mold define the segregation and deformation, defects cases and can significant modify the optical properties. The intensity of the injection molding process at the time of melt in the transfer mold has a negative influence on the quality of the lenses surfaces produced near the gate channel. Injection speed of polymer melt effect on deformation of polymeric material near the walls of the transfer mold. The exposure time of the polymer under pressure in transfer mold should be sufficient to complete all processes of segregation of polymer. The rational technological parameters based on the experimental results for minimum values of surface roughness and their homogeneous distribution are proposed. The recommendations on improvement of technological process of polymer molding for optical products have done.

K e y w o r d s: riflescopes, plano-concave lenses, thermoplastic polymer materials, polymethylmethacrylate, injection molding, melt temperature, injection speed, exposure time, quality, surface roughness, defects.

Титаренко Оксана Валеріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України.

ORCID 0000-0001-6811-7537

Зубкова Ніна Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інтегрованих технологій машинобудування ім. М. Ф. Семка Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

ORCID 0000-0001-8200-7924

Карпенко Олег Олегович – курсант Національної академії Національної гвардії України.

ORCID 0000-0002-7603-9564