

Я. Б. Немировський, І. В. Шепеленко, Н. І. Посвятенко

## ЗАСТОСУВАННЯ ДЕФОРМУЮЧОГО ПРОТЯГУВАННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КАМЕР ЗГОРЯННЯ ТВЕРДОПАЛИВНИХ НЕКЕРОВАНИХ РАКЕТ

**Анотація:** представлена інформація про застосування деформуючого протягування при виробництві камер згоряння твердопаливних некерованих ракет. Наведені технічні вимоги, матеріали та розміри заготовок камер. Показано, що використання деформуючого протягування можливе тільки при усуненні такого виду геометричної похибки як відхилення від циліндричності деформованої заготовки. Вказані заходи щодо усунення цього виду геометричної похибки. Доведені переваги застосування деформуючого протягування у запропонованому технологічному процесі обробки.

**Ключові слова:** деформуюче протягування, відхилення від циліндричності, різнотовщинність, деформуюча протяжка, опора.

**Abstract:** The paper presents information on the use of deforming broaching in the production of combustion chambers for solid-fuel unguided rockets. The technical requirements, materials and dimensions of the chamber blanks are given. It is shown that the use of deforming broaching is possible only if such a type of geometric error as deviation from cylindricity of the deformed workpiece is eliminated. Measures to eliminate this type of geometric error are indicated. The advantages of using deforming broaching in the considered technological process are proved.

**Keywords:** deforming broaching, deviation from cylindricity, different thicknesses, deforming tool, support.

Камери згоряння твердопаливних некерованих ракет є особливо тонкостінними гільзами масового виробництва довжиною  $L = (6-15)d_0$ , де  $d_0$  – вихідний діаметр отвору. Камери працюють при тиску 30–50 МПа твердого палива, що горить. При виготовленні 100% камер випробовують тиском, що перевищує робочий у 1,5 рази. Особливості експлуатації цих деталей ставлять певні вимоги до матеріалів, зокрема наявність поєднання високих міцності і пластичності. Практика показала, що кращими матеріалами для цього є сталі марок 30ХГСА і 10ГН, а також деформований алюмінієвий сплав В95 (AA-7075; UNS-A97075).

Приведемо деякі фізико-механічні властивості цих матеріалів. Сталь 30ХГСА після гартування від температур 860–880°C з охолодженням у маслі і середнього відпуску від температур 350–400°C у маслі має міцність  $\sigma_s = 1000-1100$  МПа, відносне видовження  $\delta = 9\%$  і твердість HRC 35–40. Сталь 10ГН використовується у холоднодеформованому стані і має міцність  $\sigma_s = 520-540$  МПа, при початковому відносному видовженні  $\delta = 34-36\%$  і твердості HV 174–192. Високоміцний алюмінієвий сплав В95 системи Al-Zn-Mg-Cu після гартування і старіння від температури 150–200°C протягом 10–20 год. отримує такі основні фізико-механічні характеристики:  $\sigma_s = 560-600$  МПа;  $\delta = 8\%$ ; HV 150. Сплав зберігає високу в'язкість руйнування і корозійну стійкість, що особливо важливо для камер згоряння.

Діапазон геометричних характеристик досліджуваних деталей: діаметри отворів  $d_0 = 20-115$  мм; довжина  $L = 150-1500$  мм; відношення товщини стінки  $t_0$  до діаметру отвору  $d_0$  (товстостінність) складає  $t_0/d_0 = 0,03-0,05$ . При цьому вимоги до точності отвору – Н10–Н11 при забезпеченні шорсткості поверхні Rz 10–20 мкм і кривизні твірної  $\Delta \leq 0,2$  мм на 500 погонних міліметрів.

Нами проводилися дослідження щодо впровадження деформуючого протягування в технологічному процесі виготовлення цих камер. Відомо [1], що деформування отворів у трубчастих заготовках із пластичних матеріалів у більшості випадків призводить до наскрізних холодних деформацій оброблюваних заготовок. Це дозволяє, з одного боку, радикально поліпшити фізико-механічні властивості поверхневого шару і серцевини деталей типу гільз. З іншого боку, обробка деталей типу гільз деформуючим протягуванням призводить до зміни геометричних розмірів трубчастої заготовки без зняття стружки. Це має такі позитивні наслідки: зниження некруглості отвору заготовки на один-два порядки та локалізація дефектного шару металургійного походження, що містить збіднений на вуглець метал, поверхневі відшарування, для подальшого його видалення різанням. Зазначене дає змогу

віднести цю операцію до надзвичайно ресурсозберігаючих за металом, продуктивністю та енергозбереженням [2].

Використання деформуючого протягування при обробці вказаних заготовок стало можливим завдяки розробці спеціальних заходів по усуненню такого негативного фактору як відхилення від циліндричності деформованої заготовки. Цей вид геометричної похибки (рис. 1) виникає внаслідок вигину заготовки, викликаного її вихідною різновтовщинністю [3].

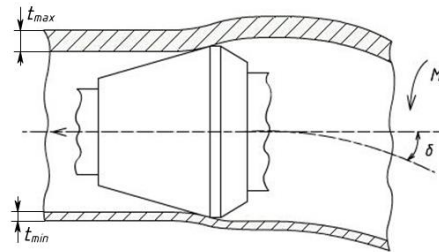


Рис. 1. Викривлення осі заготовки в процесі її деформування

Найменша і найбільша товщини стінки в поперечному перерізі труби визначаються допуском на товщину її стінки. Цей допуск на гарячекатані труби змінюється від +10% до -12,5%, а на холоднотягнуті труби від +10% до -10% [2].

Тому, при деформуванні різновтовщинних заготовок кожна із повздовжніх ділянок різновтовщинної в поперечному перерізі трубчастої заготовки змінює свою довжину по різному. Це і приводить до появи варіації осьових деформацій ділянок різновтовщинних в окружному напрямку заготовок, залежність яких показана на рис. 2.

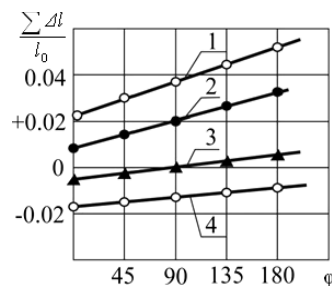


Рис. 2. Залежність варіації значень осьової деформації у перерізі обробленої заготовки при  $a/d_0 = 0,025$  від кута  $\alpha$ :  $t_{min} = 0,1$ ,  $\varphi = 0$ ;  $t_{max} = 0,15$ ,  $\varphi = 180$ ,  $\alpha$ : 1 – 12°, 2 – 8°, 3 – 4°, 4 – 2°

Вказаною причиною і викликана поява такого виду геометричної похибки, як викривлення осі обробленої деталі, що приводить до відхилення від циліндричності обробленого виробу.

Для кількісної оцінки цієї похибки та визначенню впливу режимних факторів та геометрії інструменту в роботі [1] розроблена модель для визначення вигину осі деформованої деталі  $f$  в залежності від зміни осьового розміру тонкостінної та товстостінної ділянок (рис. 3).

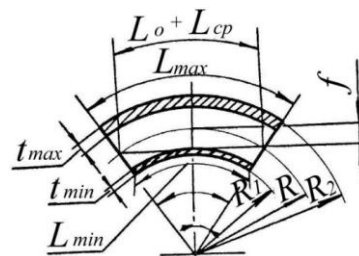


Рис. 3. Викривлення осі різновтовщинної заготовки

При виконанні дослідницької роботи і промислової перевірки отриманих результатів було встановлено наступне. Запропонований технологічний процес виготовлення камери згоряння ракети С5 "повітря – повітря" і "повітря – земля" з використанням деформуючого

протягування передбачає заміну холоднотягнутої трубної заготовки 56×4 на заготовку 54×3; за рахунок цього коефіцієнт використання металу (КВМ) зростає з 0,45 до 0,60. Для камери згоряння ракети ВВ7 відповідно: 40×5 замість 42×7 і КВМ = 0,77 замість діючого КВМ = 0,49. Щодо камери ракети залпового вогню КВМ зростає з 0,65 до 0,82.

Проведені дослідження дозволили розробити принципово нову конструкцію деформуючої протяжки [2], яка дозволяє за рахунок впливу додаткового спеціального елемента на зону позаконтактної деформації після чорнового протягування реалізувати правку оброблюваної деталі зі сторони інструменту при сумарній відносній деформації  $\sum a/d_0 = 0,01 - 0,03$  з отриманням кривизни твірної  $\Delta \leq 0,2$  мм на 500 погонних міліметрів. Крім того, в процесі обробки була використана нова конструкція опори [1], яка створювала додатковий момент, що протидіяв викривленню обробленої деталі.

Рекомендовано наступний типовий технологічний процес обробки: деформуюче протягування на "стик" у розсувній опорі з правкою зі сторони інструменту з сумарною відносною деформацією 0,01–0,03 для виправлення некруглості отвору трубної заготовки металургійного походження; термічна обробка за заводською схемою; чистове різальне протягування з сумарним припуском 0,2–0,5 мм для видалення дефектного шару заготовки. У всіх випадках протягування слід виконувати на горизонтально-протяжних верстатах з зусиллям 200–400 кН при швидкостях 0,1–0,15 м/с у середовищі мастильно-охолоджувальної рідини на основі ріпакової оливи [1].

Список використаних джерел:

1. Посвятенко Е.К. Інженерія деталей, оброблених протягуванням: монографія/ Е.К. Посвятенко, Я.Б. Немировський, С.Е. Шейкін, І.В. Шепеленко, О.В. Чернявський. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 466 с.

2. Посвятенко Е.К. Протягування та протяжний інструмент: монографія / Е.К. Посвятенко, Я.Б. Немировський, І.В. Шепеленко. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2020. – 298 с.

3. Ya. Nemyrovskiy, E. Posvyatenko, S. Sheikin, Yu. Tsekhanov, "Cylindrical control of holes of tube details manufactured by deforming broaching", Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science, vol. 4, no. 2, pp. 14-25, 2018.

**Немировський Яків Борисович** – д-р техн. наук, професор кафедри механічної інженерії, Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, e-mail: [kmi\\_nyab@ztu.edu.ua](mailto:kmi_nyab@ztu.edu.ua), ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8005-8584>.

**Шепеленко Ігор Віталійович** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: [kntucpfzk@gmail.com](mailto:kntucpfzk@gmail.com), ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1251-1687>.

**Посвятенко Наталія Іванівна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: [natali1963@ukr.net](mailto:natali1963@ukr.net), ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2217-4170>.

**Nemyrovskiy Yakiv** – Doctor of Technical Science, Professor of the Department of Mechanical Engineering, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, e-mail: [kmi\\_nyab@ztu.edu.ua](mailto:kmi_nyab@ztu.edu.ua), ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8005-8584>.

**Shepelenko Ihor** – Doctor of Technical Science, Professor, Professor Department of Exploitation and Repairing Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytsky, e-mail: [kntucpfzk@gmail.com](mailto:kntucpfzk@gmail.com), ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1251-1687>.

**Posviatenko Natalia** – Ph.D., associate professor, Associate Professor of the Department of Transport Construction Machinery Engineering, National Transport University, Kyiv, e-mail: [natali1963@ukr.net](mailto:natali1963@ukr.net), ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2217-4170>.