

Винахід відноситься до механічної обробки шляхом протягування внутрішніх отворів виробів, з товщиною стінки, що дуже змінюється в коловому напрямку, тобто деталей, які мають виступи, бонки, приливи.

Відомий спосіб деформуючого протягування порожнистої осесиметричної різнотовщинної заготовки (див. Качество поверхности обработанной деформирующим протягиванием /А.М. Розенберг, О.А. Розенберг, Э.И. Гриценко, Э.К. Посвятенко.- Киев "Наукова думка", 1977, с.160), який передбачає пластичне деформування матеріалу заготовки шляхом роздачі отвору деформуючим елементом.

Недоліком цього способу слід вважати те, що його важко поширити на обробку осесиметричної різнотовщинної заготовки з товщиною стінок, що дуже змінюється в коловому напрямку оскільки при обробці таких виробів неможливо здійснити великі пластичні деформації по причині виникнення геометричних похибок форми. До таких заготовок відносяться ті, що мають виступи, бонки, приливи або, коли у виступах заготовки закріплено вставки з крихкого матеріалу, в останньому випадку такі вставки неприпустимо піддавати пластичним деформаціям розтягування, які виникають при роздачі отвору заготовки по причині можливого руйнування або самих вставок або їх кріплення. Осьові деформації заготовки залежать від товщини її стінок, тому при обробці виникають суттєві похибки, що призводять до з'явлення ознак браку.

В основу винаходу покладено завдання такого удосконалення способу деформуючого протягування порожнистої осесиметричної різнотовщинної заготовки, при якому за рахунок вибіркової локалізації пластичної деформації на ділянках заготовки з меншою товщиною стінки забезпечується поліпшення якості деформуючого протягування порожнистої осесиметричної різнотовщинної заготовки.

Означене завдання вирішується завдяки тому, що у способі деформуючого протягування порожнистої осесиметричної різнотовщинної заготовки, який передбачає пластичне деформування матеріалу заготовки шляхом роздачі отвору деформуючим елементом, згідно винаходу перед роздачею отвору деформуючим елементом здійснюють зйом матеріалу з зовнішньої поверхні заготовки у місцях з меншою товщиною стінки, забезпечуючи при цьому створення жорстких ділянок у місцях з більшою товщиною стінки і пластичних ділянок у місцях з меншою товщиною стінки, оптимальним при цьому є, коли перед здійсненням зйому матеріалу з зовнішньої поверхні заготовки у місцях з меншою товщиною стінки визначають товщину стінки пластичних ділянок, яку необхідно отримати внаслідок механічної обробки з наступного співвідношення:

$$t_{пл.} / t_{ж.} = \sigma_T / 1,1 \dots 1,3 [\sigma_T + A(2/\sqrt{3})^n (\pi\alpha / \pi d_0 - K\Delta)^n],$$

де  $t_{пл.}$  - товщина стінки пластичних ділянок,

$t_{ж.}$  - товщина стінки жорстких ділянок,

$\sigma_T$  - границя текучості матеріалу заготовки, що оброблюється,

$A$  і  $n$  - коефіцієнти, що описують криву зміцнення оброблюваного матеріалу,

$K$  - кількість жорстких ділянок,

$\Delta$  - довжина жорстких ділянок,

$d_0$  - діаметр отвору заготовки,

$\alpha$  - натяг на деформуючий елемент,

величину деформації пластичних ділянок  $\varepsilon_{\phi}$  визначають за наступною залежністю:

$$\varepsilon_{\phi} = \pi\alpha / \pi d_0 - K\Delta \leq 0,0065\delta_p$$

$\delta_p$  - відносне подовження при розриві зразків із матеріалу заготовки при випробуваннях на розтягування.

Деформаційне зміцнення відбувається по степінному закону:

$$\sigma_0 = \sigma_T + A\varepsilon_0^n,$$

де  $\sigma_0$  і  $\varepsilon_0$  - інтенсивність напруг і інтенсивність деформацій,

$\sigma_T$  - границя текучості матеріалу,

$A$  і  $n$  - коефіцієнти, що описують криву зміцнення оброблюваного матеріалу.

Внаслідок протікання цього процесу збільшується границя текучості матеріалу на пластичних ділянках. При цьому необхідно не допустити такої ситуації, щоб деформація на пластичних ділянках зупинилась і почалося деформування незміцненого матеріалу на жорстких ділянках. Визначимо критичне відношення товщини стінок пластичної і жорсткої ділянок, при яких можливий перехід від деформування пластичної ділянки до деформування незміцненої жорсткої ділянки. Сумарне колове зусилля, яке приходить на одиницю довжини пластичної ділянки

$$N_{пл} = \sigma_{\phi пл} t_{пл},$$

де  $\sigma_{\phi пл}$  - колова напруга матеріалу пластичної ділянки,

А для матеріалу жорсткої (недеформованої) ділянки сумарне колове зусилля, яке приходить на одиницю довжини жорсткої ділянки

$$N_{ж} = \sigma_{\phi ж} t_{ж},$$

де  $\sigma_{\phi ж}$  - колова напруга матеріалу жорсткої ділянки, тоді

$$t_{пл} / t_{ж} = \sigma_{\phi ж} / \sigma_{\phi пл}$$

При плоскій деформації інтенсивність деформацій

$$\varepsilon_0 = 2/\sqrt{3} \varepsilon_{\phi пл}$$

При звичайній рівнотовщинній заготовці колова деформація

$$\varepsilon_{\phi 0} = \alpha / d_0 = \varepsilon,$$

де  $\alpha$  - натяг на деформуючий елемент.

Наявність жорстких ділянок вносить зміну у деформований стан заготовки з постійною товщиною стінки.

Враховуючи останню залежність можна записати формулу для колової деформації  $\varepsilon_{\text{фпл}}$  для заготовки, що має К жорстких ділянок довжиною  $\Delta$  :

$$\varepsilon_{\text{фпл}} = \pi\alpha / \pi d_0 - K\Delta ,$$

Тоді вираз для  $\varepsilon_0$  з урахуванням останньої залежності прийме вигляд

$$\varepsilon_0 = 2 / \sqrt{3} \pi\alpha / \pi d_0 - K\Delta$$

По аналогії і з урахуванням залежності для  $\sigma_0$  і  $\varepsilon_{\text{фпл}}$  колові напруги матеріалу пластичної ділянки  $\sigma_{\text{фпл}}$  будуть мати такий вигляд

$$\sigma_{\text{фпл}} = 2 / \sqrt{3} [\sigma_T + A(2 / \sqrt{3})^n (\pi\alpha / \pi d_0 - K\Delta)^n] ,$$

а жорсткої ділянки -

$$\sigma_{\text{фпл}} 2 / \sqrt{3} \sigma_T .$$

Звідси знаходимо співвідношення  $t_{\text{пл.}} / t_{\text{ж.}}$

$$t_{\text{пл.}} / t_{\text{ж.}} = \sigma_T + A(2 / \sqrt{3})^n (\pi\alpha / \pi d_0 - K\Delta)^n$$

Проведені нами експериментальні дослідження показали, що при коефіцієнті запасу  $K_3=1,1 \dots 1,3$  гарантована відсутність деформації на недеформованій ділянці, при цьому значення  $K_3=1,1$  слід вибирати для матеріалів, що мають невеликий ресурс пластичності і замалу ступінь зміцнення, а  $K_3=1,3$  - для високопластичних зміцнених матеріалів. Тоді

$$t_{\text{пл.}} / t_{\text{ж.}} = \sigma_T / 1,1 \dots 1,3 [\sigma_T + A(2 / \sqrt{3})^n (\pi\alpha / \pi d_0 - K\Delta)^n]$$

Приклад конкретної реалізації

Необхідно здійснити деформуюче протягування з натягом  $\alpha = 0,8$  мм порожнистої осесиметричної різнотовщинної заготовки розмірами:

діаметр отвору  $d_0=60$  мм, зовнішній діаметр  $D=65,5$  мм. На зовнішній поверхні розташовані чотири виступи з зовнішнім діаметром  $D_1=68$  мм і довжиною в коловому напрямку  $\Delta = 20$  мм. Виступи розташовані на однакових виступах один від одного. Менша товщина стінки  $t_0=2,75$  мм, більша  $t_{\text{ж.}}=4$  мм. Матеріал заготовки сталь 35.

Згідно винаходу перед роздачею отвору деформуючим елементом здійснювали зйом матеріалу з зовнішньої поверхні заготовки у місцях з меншою товщиною стінки  $t_0=2,75$  мм шляхом фрезерування, забезпечуючи при цьому створення жорстких ділянок у місцях з більшою товщиною стінки  $t_{\text{ж.}}=4$  мм і пластичних ділянок у місцях з меншою товщиною стінки, оптимальним при цьому є, коли перед здійсненням механічної обробки зовнішньої поверхні заготовки у місцях з меншою товщиною стінки визначають товщину стінки пластичних ділянок, яку необхідно отримати внаслідок механічної обробки з наступного співвідношення:

$$t_{\text{пл.}} / t_{\text{ж.}} = \sigma_T / 1,1 \dots 1,3 [\sigma_T + A(2 / \sqrt{3})^n (\pi\alpha / \pi d_0 - K\Delta)^n] ,$$

$$t_{\text{ж.}}=4 \text{ мм}$$

$$\alpha = 0,8 \text{ мм}$$

$$K=4$$

$$\Delta = 20 \text{ мм}$$

$$\text{Для сталі 35 } A=79, n=0,42, \sigma_T = 35 \text{ кг/мм}^2$$

Враховуючи, що сталь 35 пластичний матеріал  $K_3=1,2$ . В результаті розрахунків  $t_{\text{пл.}}=2,1$  мм.

Враховуючи результати розрахунків механічною обробкою (фрезеруванням),  $D=65,5$  зменшуємо до значення  $D_2=64,2$  мм. В результаті цього маємо чотири жорстких ділянки з діаметром зовнішньої поверхні  $D_1=68$  мм і чотири пластичних ділянки з  $D_2=64,2$  мм.

В результаті цього маємо чотири жорстких ділянки з діаметром зовнішньої поверхні  $D_1=68$  мм і чотири пластичних ділянки з  $D_2=64,2$  мм.

Ступінь деформації на кожній із ділянок оцінювали методом візіопластичності. Для цього на їх зовнішню поверхню твердосплавним конусом наносились мітки. Ступінь деформації оцінювали по зміні відстані між мітками  $l-l_0/l_0$  ( $l_0$  - відстань між мітками до деформації,  $l$  - відстань між мітками після деформації), яка вимірювалась на мікроскопі BMI - 1.

Протягування різнотовщинної заготовки з жорсткими та пластичними ділянками показало, що на зовнішній поверхні жорстких ділянок  $l-l_0/l_0=0$ , а на пластичних ділянках  $l-l_0/l_0=-0,007$ .

Ці результати свідчать, що задані пластичні деформації локалізувались на пластичних ділянках з  $D_2=64,2$  мм, а жорсткі ділянки залишились не деформовані.

Оскільки заготовка деформувалась тільки на пластичних ділянках, то її допустима деформація буде значно менша, ніж у випадку деформування заготовки з постійною товщиною стінки. Тому максимальну деформацію пластичних ділянок необхідно визначати з наступної залежності:

$$\varepsilon_{\text{ф}} = \pi\alpha / \pi d_0 - K\Delta \leq 0,0065\delta_p ,$$

де  $\delta_p$  - відносне подовження при розриві зразків із матеріала заготовки. Для сталі 35  $\delta_p = 24\%$ . Коефіцієнт 0,0065 враховує вплив виду напруженого стану на зовнішній поверхні заготовки, де схема напруженого стану близька до двовісного розтягування. Для нашого випадку  $\varepsilon_{\text{ф}} = 0,023 < 0,15$ . Тобто при деформуванні отриманої різнотовщинної заготовки з натягом 0,8 мм деформація на зовнішній поверхні пластичних ділянок менша, ніж допустима і заготовка під час роздачі не зруйнується. Максимальна похибка геометричної форми заготовки при її деформуванні згідно пропонованого способу  $\delta = 0,09$  мм і знаходиться в полі допуску на отвір заготовки. Максимальна похибка геометричної форми заготовки при її деформуванні згідно прототипу значно більша  $\delta = 0,28$  мм і перевищує поле допуску на отвір деталі, що недопустимо.