

**Кийко О.А. Оценка влияния толщины древесностружечной плиты на среднюю длину калибрования-шлифования и количество бракованных деталей**

Оценено влияние изменения толщины древесностружечной плиты (ДСП) в процессе двустороннего калибрования-шлифования жестким абразивным цилиндром на основные параметры обрабатывания. Очерчены пути уменьшения нехватки и увеличения производительности. Установлено, что уменьшение толщины ДСП (уменьшение толщины дистанционной планки в печати) приводит к увеличению средней длины калибрования цилиндра, который определяется длиной обрабатываемой плиты за период между правками шлифовального инструмента.

**Kyiko O.A. Estimation influencing of thickness of particle board on average length of calibration-polishing and amount of defective details**

Influencing of change of thickness of particle board in the process of bilateral calibration-polishing hard an abrasive cylinder on basic parameters of treatments is appraised. The ways of diminishing of shortage and multiplying of the productivity are outlined. It is set, diminishing of thickness of DSP (diminishing of thickness of the controlled from distance slat is in a seal) results in the increase of middle length of calibration of cylinder which is determined long the processed flag for period between the corrections of polishing instrument.

УДК 539.3

*Доц. А.Р. Дзюбик, канд. техн. наук; доц. Р.В. Палаш, канд. техн. наук; доц. Р.А. Ковальчук, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"; доц. Л.Д. Величко, канд. техн. наук – Академія Сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного*

**ВПЛИВ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ДЕФОРМАЦІЙ НА ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ У КІЛЬЦЕВИХ ШВАХ ТРУБ**

Проаналізовано вплив параметрів, що характеризують поле пластичних деформацій, на розподіл залишкових напружень у стиковому зварному з'єднанні із кільцевим швом. Внаслідок виконаних досліджень доведено, що із зростанням ширини зони пластичних деформацій, розтягувальні кільцеві напруження поблизу шва спадають, а стискальні зростають. Встановлено, що отримані результати мають практичне застосування для розв'язання обернених задач із визначення напружень на реальних об'єктах, та для розроблення технології зварювання магістральних трубопроводів дуговими способами.

**Ключові слова:** зона пластичних деформацій, напруження, магістральний трубопровід, експериментально-розрахунковий метод, градієнт поля деформацій.

**Постановка проблеми та аналіз досліджень і публікацій.** Широке застосування зварних з'єднань у сучасному машинобудуванні зумовлює необхідність постійного удосконалення методів діагностики їхньої роботоздатності. Відомо [1], що на зварні з'єднання припадає більше половини усіх відмов конструкцій. Однією із причин цього є наявність локального поля залишкових напружень, зумовлених пластичними деформаціями в околі зварного шва. Такі деформації виникають під дією термічного циклу зварювання, який залежить від низки технологічних чинників: способу зварювання, потужності дугового розряду, погонної енергії процесу, техніки виконання шва, підготовки крайок тощо [2].

Розрахункові методи визначення зварювальних напружень, через ідеалізацію та припущення, не завжди застосовні. Використання експеримен-

тальних руйнівних підходів є неприпустиме для експлуатованих конструкцій, а точність неруйнівних методів обмежена розмірами вимірювальних давачів.

З огляду на це, застосування комбінованих експериментально-розрахункових методів [3, 4] є важливим та актуальним. Особливо для таких відповідальних конструкцій, як магістральні трубопроводи (МТ). Руйнування в разі втрати ними роботоздатності в ділянках зварних з'єднань спричиняють економічні та екологічні втрати і можуть істотно впливати на роботу значного сегменту нафтогазотранспортної промисловості одночасно. Тому, для коректного діагностування залишкового напруженого стану, який значною мірою визначає ресурс зварних з'єднань МТ, важливо знати як розмір зони пластичних деформацій (ЗПД) та характер поля впливають на зварювальні напруження в кільцевих швах. Останні, залежно від матеріалу, технології спорудження трубопроводу, особливостей ділянки МТ, типу транспортованого продукту тощо, виконуються різними (переважно дуговими) способами в широкому діапазоні погонних енергій зварювання.

Мета та задачі досліджень полягають у дослідженні впливу поля пластичних деформацій на компоненти напруженого стану в кільцевих швах стиків магістральних трубопроводів.

Основний матеріал. У роботі застосовували математичний апарат експериментально-розрахункового методу, який ґрунтується на розв'язанні обернених задач механіки деформівного тіла [4]. Прямий розв'язок задачі містить вирази для опису параметрів поля пластичних деформацій  $e_{\beta\beta}^0(\alpha)$  в околі зварного шва, що діє в кільцевому напрямку:

$$e_{\beta\beta}^0(\alpha) = \begin{cases} -\varepsilon_0^* \cdot \varphi(\alpha), & |\alpha| \leq \alpha_0; \\ 0, & |\alpha| \geq \alpha_0, \end{cases} \quad (1)$$

де  $\varepsilon_0^*$ ,  $\alpha_0$ ,  $\varphi(\alpha)$  – відповідно максимальні пластичні деформації, їх ширина та функція, яка характеризує зміну вздовж твірної труби ( $\alpha$ ).

Функція  $\varphi(\alpha)$  для кожного способу зварювання та марки сталі визначається з обов'язковим використанням експериментальної інформації [5] та апіорних даних. Зокрема, для низьколегованих сталей цю функцію виражають так [6]:

$$\varphi(\alpha) = 1 + P \frac{\alpha^2}{\alpha_0^2} - (3 + 2P) \frac{\alpha^4}{\alpha_0^4} + (2 + P) \frac{\alpha^6}{\alpha_0^6}, \quad (2)$$

де  $P$  – коефіцієнт, що задає кривину графіка функції.

Характер розподілу напружень в околі кільцевого шва стикового зварного з'єднання детально проаналізовано та показано в роботах [5, 6].

На основі попередніх досліджень та аналізу літературних даних встановлено, що визначально на характер поля, а отже, напруження, впливають його лінійні розміри та градієнтність. Так, збільшення погонної енергії призводить до зростання ЗПД, а концентрації теплового потоку – градієнта поля. Вживані в промисловості способи зварювання магістральних трубопроводів умовно можна так впорядкувати за зростанням тепловкладення у зварне з'єднання (рис. 1).

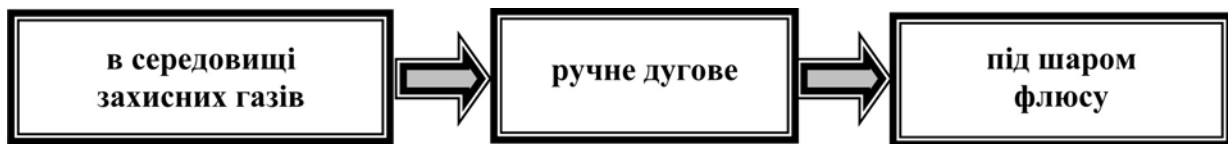


**Рис. 1. Зростання тепловкладення у зварне з'єднання за різних способів зварювання**

При цьому потрібно враховувати, що для кожного способу зварювання (згідно з нормативними документами) допускається така комбінація параметрів режиму, яка спричиняє відчутну зміну величини та характеру поля пластичних деформацій. Також значний вплив мають розроблення крайок та техніка виконання шва. Так, зростання швидкості зварювання під шаром флюсу, збільшує параметр  $P$  та наближає його до значень, притаманних РДЗ; збільшення амплітуди коливань торця електроду або застосування V-подібної розробки крайок, навпаки зменшує параметр кривини поля деформацій  $P$  [6].

Беручи за основу наведену схему (рис. 1) та враховуючи функціональні залежності (1) і (2), можна визначити характер поля пластичних деформацій за різних способів зварювання (рис. 2). Тут ширина ЗПД стала, а параметр, що задає градієнт функції поля ( $P$ ), змінюється в межах  $0 \dots 2$ .

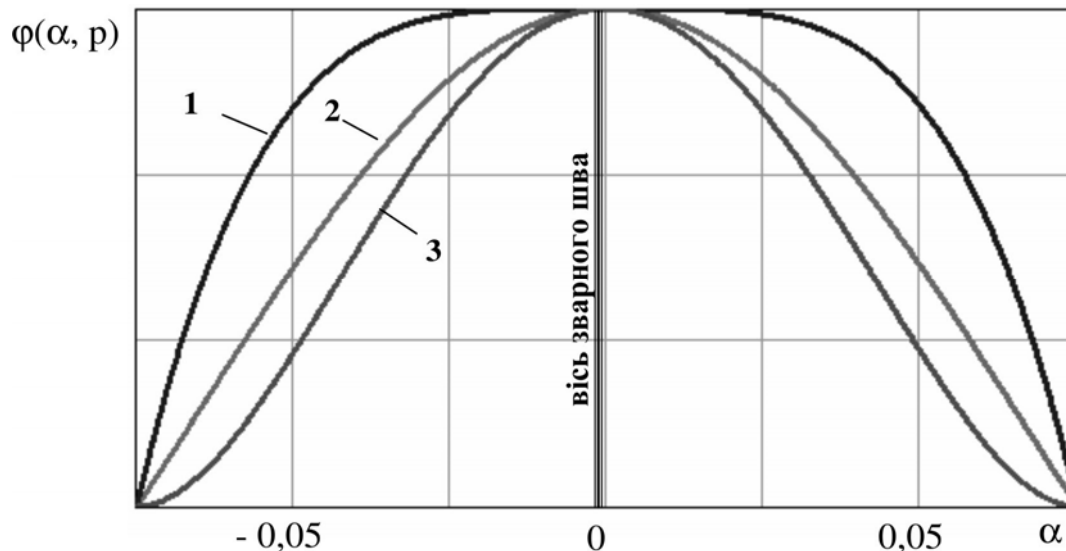


**Рис. 2. Характер поля пластичних деформацій за різних дугових способів:**  
 1 – під шаром флюсу; 2 – у середовищі газів; 3 – ручне дугове зварювання

Дослідження здійснювалися для труб типорозміром  $1220 \times 12$  мм, що виготовлені із низьколегової сталі 10Г2Б. Математичний апарат експериментально-розрахункового методу дав змогу розрахувати напруження в довільній точці зварного з'єднання. Раніше показано [4, 5], що небезпечнішими з точки зору тріщиноутворення та розкриття тріщини є кільцеві напруження. Розтягувальні на осі шва в довільній точці за товщиною, вони за величиною на внутрішній поверхні труби можуть наближатися до межі текучості матеріалу. Тому саме ці компоненти напруженого стану на внутрішній ( $\sigma_{\beta\beta t}(\alpha)$ ) та зовнішній ( $\sigma_{\beta\beta p}(\alpha)$ ) поверхнях труби досліджували в роботі з огляду на можливе прогнозування за їхній рахунок довготривалої міцності зварних стиків МТ та ймовірності виникнення в них дефектів руйнування.

За визначальні чинники впливу на деформації взято параметри  $P$  та  $\alpha_0$ . Вивчали розподіл напружень за значень  $P$ , що відповідають обраній схемі

(рис. 2) і за значень фактора ( $\alpha_0$ ) від 10 до 40 мм. Такий аналіз закономірностей зміни розподілів напружень показав таке.

Із збільшенням ширини ЗПД у заданих межах для  $\sigma_{\beta\beta t}(\alpha)$  спостерігається незначне зменшення розтягувальних напружень на осі шва (від 421 до 309 МПа) та істотне зростання стискальних в навколошовній ділянці (від -36 до -134 МПа). Зміна досліджуваної компоненти на зовнішній поверхні ( $\sigma_{\beta\beta p}(\alpha)$ ) є істотною, особливо на осі шва (табл. 1).

**Табл. 1. Результати математичного моделювання напруженого стану**

| $\alpha_0$ ,<br>мм | $\sigma_{\beta\beta t}(\alpha)$ |                                 |       |    | $\sigma_{\beta\beta p}(\alpha)$ |                                 |       |    |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------|----|---------------------------------|---------------------------------|-------|----|
|                    | розтяг                          | $\sigma_{\beta\beta}(\alpha)=0$ | стиск |    | розтяг                          | $\sigma_{\beta\beta}(\alpha)=0$ | стиск |    |
| 10                 | 412                             | 10                              | -36   | 33 | 362                             | 9                               | -72   | 10 |
| 15                 | 397                             | 14                              | -54   | 33 | 325                             | 14                              | -100  | 15 |
| 20                 | 380                             | 19                              | -71   | 34 | 291                             | 18                              | -125  | 20 |
| 25                 | 363                             | 23                              | -88   | 35 | 259                             | 22                              | -146  | 25 |
| 30                 | 345                             | 28                              | -104  | 36 | 229                             | 26                              | -161  | 30 |
| 35                 | 327                             | 32                              | -119  | 37 | 201                             | 30                              | -173  | 35 |
| 40                 | 309                             | 36                              | -134  | 40 | 175                             | 34                              | -181  | 40 |

Аналогічно змінюються розподіли напружень для різних значень градієнтності поля деформацій. Зростання градієнта зумовить деяке збільшення максимальних значень на осі шва та зменшення стискальних напружень у навколошовній ділянці. В табл. 1 проаналізовано зміну віддалі від осі шва до моменту зміни знаку напружень для випадку ( $\sigma_{\beta\beta}(\alpha)=0$ ), коли  $P=0$ ,  $\alpha_0=10\dots 40$  мм. Зокрема, для  $P=2$ ,  $\alpha_0=10$  вони становлять:  $\sigma_{\beta\beta t}(\alpha)=422$  МПа;  $\sigma_{\beta\beta p}(\alpha)=387$  МПа;  $\sigma_{\beta\beta t}(\alpha)=-24$  МПа та  $\sigma_{\beta\beta p}(\alpha)=-48$  МПа відповідно.

Зі збільшенням параметра градієнтності поля ( $P$ ) від 0 до 2, за різних значень ширини поля пластичних деформацій, величина залишкових кільцевих напружень на внутрішній та зовнішній поверхнях також зростає. Характер такої зміни для  $\sigma_{\beta\beta t}(\alpha)$  на осі шва показано на рис. 3.

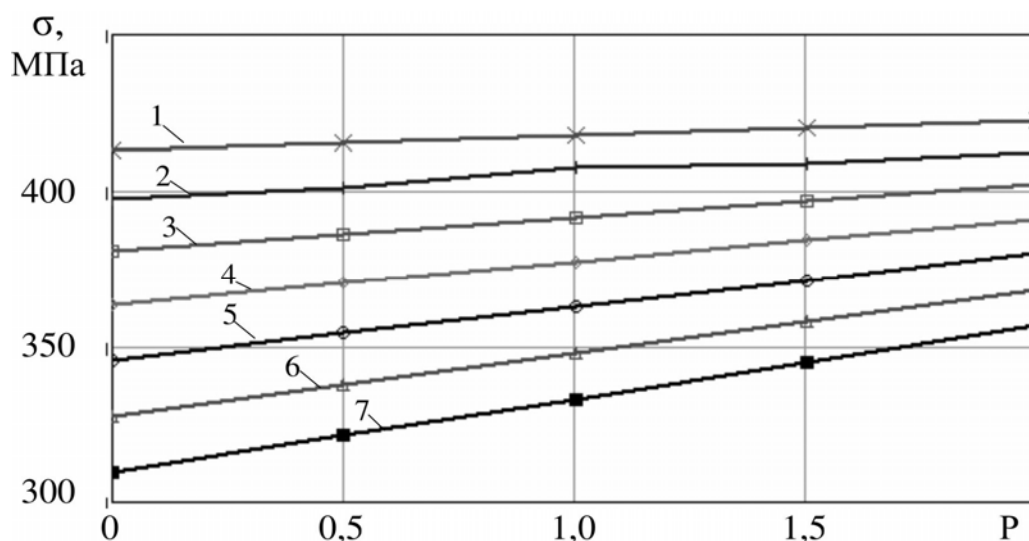


**Рис. 3. Залежність кільцевих напружень на внутрішній поверхні труби від значень параметра  $P$ : 1 –  $\alpha_0=10$  мм; 2 –  $\alpha_0=15$  мм; 3 –  $\alpha_0=20$  мм; 4 –  $\alpha_0=25$  мм; 5 –  $\alpha_0=30$  мм; 6 –  $\alpha_0=35$  мм; 7 –  $\alpha_0=40$  мм**

Зі зростанням ширини поля пластичних деформацій, абсолютні значення залишкових напружень на внутрішній поверхні труби, за сталого параметра  $P$ , зростають на величину 20...30 %. Зі збільшенням градієнта за сталої ширини поля пластичних деформацій, величина напружень також зростає на 2...13 %. Причому, обидві залежності більш характерні для малих значень  $P$ .

Зміну мінімальних значень стискальних кільцевих напружень на зовнішній поверхні труби залежно від градієнта поля та ширини зони пластичних деформацій наведено у табл. 2.

**Табл. 2. Значення стискальних кільцевих напружень на зовнішній поверхні труби**

| $P$ | Ширина зони пластичних деформацій ( $\alpha_0$ ), мм |        |        |        |        |        |        |
|-----|------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|     | 10                                                   | 15     | 20     | 25     | 30     | 35     | 40     |
| 0.0 | -72.4                                                | -100.9 | -125.8 | -146.0 | -161.2 | -173.4 | -181.2 |
| 0.5 | -66.4                                                | -92.9  | -115.3 | -133.8 | -147.7 | -158.8 | -165.8 |
| 1.0 | -60.4                                                | -84.4  | -104.9 | -121.6 | -134.2 | -144.2 | -150.3 |
| 1.5 | -54.3                                                | -76.0  | -94.4  | -109.4 | -120.7 | -129.5 | -135.3 |
| 2.0 | -48.3                                                | -67.8  | -84.1  | -97.4  | -107.9 | -115.9 | -121.5 |

Отже, збільшення ширини пластичних деформацій за сталого параметра  $P$ , зумовлює збільшення абсолютного значення стискальних напружень  $\approx 2,5$  рази. Зростання градієнта поля пластичних деформацій за сталої ширини поля аналогічно збільшує величину напружень  $\approx 30$  %.

Підсумовуючи отримані результати, зазначимо, що із зростанням ширини зони пластичних деформацій найбільші за величиною розтягувальні напруження – кільцеві на осі шва – спадають, а абсолютні значення стискальних напружень в околі шва зростають із одночасним віддаленням від осі шва.

Кільцеві напруження на зовнішній поверхні труби на осі шва є меншими на 25...50 %, і знижуються із збільшенням зони пластичних деформацій. Абсолютні значення стискальних напружень зростають зі збільшенням параметра  $\alpha_0$  та становлять: – 72 МПа та – 181 МПа за ширини ЗПД 10 та 40 мм відповідно.

**Висновки.** Проаналізовано вплив параметрів, які описують поле пластичних деформацій, на розподіл залишкових напружень у стиковому зварному з'єднанні з кільцевим швом. Отримані результати мають практичне застосування для розв'язання обернених задач із визначення напружень на реальних об'єктах, та для розроблення технології зварювання магістральних трубопроводів дуговими способами.

## Література

1. Патон Б.Е. Современные направления повышения прочности и ресурса сварных конструкций / Б.Е. Патон // Автоматическая сварка. – 2000. – № 9-10. – С. 3-9.
2. Касаткин Б.С. Напряжения и деформации при сварке / Б.С. Касаткин, В.М. Прохоренко, И.М. Чертов. – К. : Вид-во "Вища шк.", 1987. – 245 с.
3. Осадчук В. Неруйнівний метод визначення залишкових напружень у зварних об'єктах / В. Осадчук, М. Большаков, В. Палаш // Машинознавство. – 1997. – № 1. – С. 5-9.
4. Палаш В.М. Напруження у трубах, з'єднаних зварним кільцевим швом / В.М. Палаш, В.М. Юськів, А.Р. Дзюбик // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2000. – № 8. – С. 47-50.
5. Дзюбик А.Р. Визначення напруженого стану кільцевих зварних з'єднань магістральних трубопроводів / А.Р. Дзюбик // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль : ТДТУ ім. І. Пулюя. – 2000. – Т. 5, № 3. – С. 19-23.

6. Дзюбик А.Р. Влияние параметров режима сваривания на напряженный стан сварных стыков магистральных трубопроводов / А.Р. Дзюбик, В.М. Палаш // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.12. – С. 91-95.

**Дзюбик А.Р., Палаш Р.В., Ковальчук Р.А., Величко Л.Д. Влияние сварочных деформаций на остаточные напряжения в кольцевых швах труб**

Проанализировано влияние параметров, которые характеризуют поле пластических деформаций, на распределение остаточных напряжений в стыковом сварном соединении с кольцевым швом. В результате выполненных исследований доказано, что с ростом ширины зоны пластических деформаций, растягивающие кольцевые напряжения вблизи шва спадают, а сжимающие растут. Установлено, что полученные результаты имеют практическое приложение для решения обратных задач из определения напряжений на реальных объектах, и для разработки технологии сварки магистральных трубопроводов дуговыми способами.

**Ключевые слова:** зона пластических деформаций, напряжения, магистральный трубопровод, экспериментально расчетный метод, градиент поля деформаций.

**Dsyubyk A.R., Palash R.W., Kowalshuk R.A., Welychko L.D. Influence of welding deformations is on remaining tensions in the circular guy-sutures of pipes**

Influence of parameters which characterize the field of flowages is analyses, on distributing of remaining tensions in the butt welded connection with circular guy-sutures. It is rotined as a result of conducted, that with growth of width of area of flowages stretchings circular tensions fall, and squeeze grow. It is set that the got results have practical application for the decision of reverse tasks from determination of tensions on the real objects, and for development of technology of welding of main pipelines by arc methods.

**Keywords:** area of flowages, tension, main pipeline, experimentally calculation method, gradient of the field of deformations.

---

**УДК [674:658.011.54/56]:674.214 Ст. викл. Т.В. Іванишин, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів**

**ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ  
АВТОМАТИЗОВАНОЇ ЛІНІЇ ДЛЯ МЕХАНІЧНОГО  
ОБРОБЛЕННЯ БРУСКОВИХ ЗАГОТОВОК ВІКОННИХ СТУЛОК**

За результатами отриманих статистичних даних внаслідок виконаних експериментальних досліджень процесу функціонування автоматизованої системи машин ОК208 для механічного оброблення брусків заготовок віконних стулків, розв'язано задачу з підвищення ефективності її роботи в умовах стохастичної зміни тривалостей технологічних операцій на ділянках лінії. За допомогою створеної імітаційної моделі методом динамічного програмування виконано оптимізацію її структури та параметрів за критеріями мінімуму питомих зведених витрат та максимуму продуктивності оброблення брусків заготовок.

**Актуальність теми.** Близько половини всього оперативного часу функціонування деревообробного обладнання становлять додаткові, або, так звані, накладені втрати робочого часу (ВРЧ), спричинені нераціональним верстатним компонуванням автоматизованих ліній [1]. Виявлення причин і джерел ВРЧ, знаходження шляхів і методів їхнього кількісного оцінювання та повного чи часткового усунування є сьогодні важливим техніко-економічним завданням і має велике значення для створення наукових основ проектування оптимальних структур деревообробних ліній та оптимізації функціональних