

потрібно враховувати при певних амплітудах деформації можливі випадки різкого зростання коефіцієнта затухання, що може викликати не спроможність деталі виконувати призначену їй дію.

При збільшенні температури (рис. 2, б) волокна SiC викликають ріст величини демпфуючих властивостей при менших температурах, ніж для композиту, який армований частками SiC.

Встановлено, що макроструктура МКМ і способи їх виготовлення суттєво впливають на розсіювання ними механічної енергії. Результати досліджень вказують на можливість використання механічної спектроскопії для вивчення впливу структури композитів на їх механічні характеристики, що сприятиме розробці наукових засад технології одержання МКМ із підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Список посилань

1. Вишняков Л.Р. – В кн. Сб-к научных трудов «Исследование в области композиционных материалов». Ин-т проблем материаловедения НАН Украины, Киев, 1995. – С.103 – 112.

УДК 621.77

Єпішкін О. В., асистент

Бень А. М., старший викладач

Національний університет «Запорізька політехніка», dodgevipercoupe00@gmail.com

ТЕПЛЕ ШТАМПУВАННЯ В АВТОМОБІЛЬНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

В останні десятиліття автомобільна промисловість зіткнулася з необхідністю розроблення нових технологій, здатних поліпшити ефективність виробництва і якість кінцевого продукту. У цьому контексті тепле штампування (warm stamping) стало однією з найперспективніших та найбільш інноваційних методик, що застосовуються у виробництві автомобільних деталей. Тепер, замість традиційних методів штампування, які вимагають високих температур і подальшого охолодження, тепле штампування пропонує новий підхід, який об'єднує переваги гарячого і холодного штампування. У цьому дослідженні розглянемо низку тез, присвячених теплому штампуванню, щоб краще зрозуміти переваги та перспективи цієї технології в автомобільній промисловості.

1. У процесі теплового штампування заготівля проходить через термообробку, яка здійснюється за умов, аналогічних до традиційного гарячого штампування, за винятком одного важливого аспекту - температура нагріву залишається нижчою від значення рекристалізації, що являє собою мінімальну температуру, за якої сталь повністю перетворюється на аустеніт. У процесі високотемпературної частини теплового штампування матеріал не досягає повного аустенітного стану, що призводить до формування мікроструктури, яка містить мартенсит, ферит, відновлений аустеніт і перліт. У результаті виходить виріб із нижчою міцністю, але високою пластичністю порівняно з повною аустенітизацією.

2. Однією зі значних переваг переходу на нижчі температури в процесі теплового штампування є можливість використання наявних виробничих ліній, призначених для гарячого штампування. Просто знизивши температуру нагрівання в печі.

3. Під час процесу теплового штампування борвмісної сталі можна отримати значення межі плинності від 400 до 700 МПа, межі міцності під час розтягування від 650 до 1200 МПа і повного подовження від 10% до 25%, це ширший діапазон властивостей міцності та вища пластичність, ніж під час звичайного гарячого штампування.

4. Дослідження Могі і співавторів [1] показало, що оптимальна температура нагріву близько 600 °С у процесі теплового штампування забезпечує мінімальний зворотний прогин і товщину оксидного шару, при цьому зберігаючи значну граничну міцність на рівні 980

МПа. Додатково, дослідження Naderi і співавторів [2] було проведене на сталі MSW1200 (із вмістом вуглецю 0.14C-1.71Mn-0.55Cr), розробленій для холодного формування. Після традиційного холодного формування, подальшого загартовування (950 °C, 10 хв), гарячого штампування (950 °C, 10 хв) і теплого штампування (650 °C, 10 хв), було отримано такі механічні властивості (таблиця 1): початкова гранична міцність, гранична міцність і загальне подовження становили приблизно 400 МПа, 640 МПа і 26% відповідно. Тепле штампування демонструвало нижчу граничну міцність і граничну міцність порівняно з традиційним холодним формуванням і гарячим штампуванням, але забезпечувало значно вище загальне подовження. Це вказує на підвищену пластичність матеріалу під час використання теплого штампування, що може бути важливим фактором під час формування виробів зі сталі з підвищеною міцністю.

На закінчення, тепле штампування є перспективною та інноваційною технологією, що застосовується в автомобільній промисловості. Вона об'єднує переваги гарячого і холодного штампування, даючи змогу досягти оптимального поєднання міцності та пластичності у виробках.

Таблиця 1 – Механічні властивості сталі MSW 1200 після різних процесів [2].

Type of Steel	YS (MPa)	UTS (MPa)	TE (%)	UTS × TE (GPa·%)
Cold forming + quench hardening	1110	1430	4	5.72
Warm stamping	400	930	20	18.6
Hot stamping	916	1300	5.5	7.15

YS: yield strength; UTS: ultimate tensile strength; TE: total elongation; UTS × TE: the product of UTS and TE.

Однією з головних переваг теплого штампування є можливість використання наявних виробничих ліній, призначених для гарячого штампування.

Дослідження показують, що тепле штампування сталі дає змогу отримати широкий діапазон міцнісних властивостей і високу пластичність.

Оптимальна температура нагріву в процесі теплого штампування становить близько 600 °C, що забезпечує мінімальні деформації і товщину оксидного шару за збереження значної граничної міцності. Тепле штампування також демонструє вищу пластичність порівняно з традиційними методами холодного формування і гарячого штампування.

Загалом, тепле штампування являє собою ефективний спосіб поліпшити ефективність виробництва і якість кінцевого продукту в автомобільній промисловості.

Список посилань

- Mori, K.; Maki, S.; Tanaka, Y. Warm and hot stamping of ultra high tensile strength steel sheets using resistance heating. *CIRP Ann. Manuf. Technol.* 2005, 54, 209–212.
- Naderi, M.; Ketabchi, M.; Abbasi, M.; Bleak, W. Semi-hot stamping as an improved process of hot stamping. *J. Mater. Sci. Technol.* 2011, 27, 369–376.
- Mori, K.; Abe, Y.; Miyazawa, S. Warm stamping of ultra-high strength steel sheets at comparatively low temperatures using rapid resistance heating. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2020, 108, 3885–3891. [CrossRef]
- Li, N.; Li, X.; Dry, D.; Dean, T.; Lin, J.; Balint, D. Investigation on the mechanical properties of as-formed boron steels for optimizing process strategies in hot stamping. In *Proceedings of the 14th International Conference of Metal Forming, Krakow, Poland, 16–19 September 2012.*
- Hance, B.M. Advanced high-strength steel (AHSS) performance level definitions and targets. *SAE Int. J. Mater. Manuf.* 2018, 11, 505–516.
- Sun, Y.; Wang, K.; Politis, D.; Chen, G.; Wang, L. An experimental investigation on the ductility and post-form strength of a martensitic steel in a novel warm stamping process. *J. Mater. Process. Technol.* 2020, 275, 116387.

7. Chenpeng Tong, Qi Rong, Victoria A. Yardley, Xuetao Li, Jiaming Luo, Guosen Zhu and Zhusheng Shi. New Developments and Future Trends in Low-Temperature Hot Stamping Technologies: A Review. *Metals* 2020, 27.

8. Haijun Pan, Minghui Cai, Hua Ding, Shenghui Sun, Hongshou Huang & Yisheng Zhang (2019) Ultrahigh strength-ductile medium-Mn steel auto-parts combining warm stamping and quenching & partitioning, *Materials Science and Technology*, 35:7, 807-814.

9. Chang, Y., Wang, C., Zhao, K., Dong, H., and Yan, J. (October 27, 2015). "Introduction to a Third-Generation Automobile Steel and Its Optimal Warm-Stamping Process." *ASME. J. Manuf. Sci. Eng.* April 2016; 138(4): 041010.

10. Tong, C.; Rong, Q.; Yardley, V.A.; Li, X.; Luo, J.; Zhu, G.; Shi, Z. New Developments and Future Trends in Low-Temperature Hot Stamping Technologies: A Review. *Metals* 2020, 10, 1652.

УДК 621.375.826:621

Романенко В.В., канд. техн. наук, доцент

Блощин М.С., канд.техн. наук, доцент

Жегет І.М, студент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», romvvv@gmail.com

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЛАЗЕРНОГО РІЗАННЯ МЕТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Лазерне різання різноманітних металевих матеріалів з вуглецевих, неіржавіючих сталей та титанових сплавів товщиною від 1 до 20 мм з одночасною співвісною подачею допоміжного робочого газового струменя в зону різки широко використовується в різних галузях сучасного виробництва. При цьому є вимога до високої продуктивності такої технології та необхідної якості виконання різки, щоб забезпечити зменшені припуски під подальшу обробку крайок отриманих різів або зовсім усунути потребу в такій обробці.

Для інтенсифікації процесу лазерного різання можна запропонувати використання верстатів із двома лазерними головками, які синхронно переміщуються як з однієї сторони листового матеріалу, так і по обидва боки металу, що різеться. Для цього можна використовувати промінь від одного лазерного джерела, що розділяється відповідними дзеркалами. Лазерні джерела можуть працювати і окремо одне від другого. Має місце також схема обробки, в якій обидві головки рухаються синхронно в одному напрямку при застосуванні регулювання відстані між ними. Це дає можливість, наприклад, одночасно виробляти відразу дві однакові деталі. Однак в наведених випадках жорстке з'єднання лазерних головок обмежує функціональну можливість верстату.

Для більшої продуктивності процесу запропонований верстат для лазерної різки металів, що включає станину, поздовжню напрямну, яка кріпиться на цій станині та дві поперечні напрямні, кожна з яких встановлена на поздовжній напрямній і має можливість самостійного руху по цій напрямній за допомогою власного приводу.

На кожній поперечній напрямній монтується лазерний різак з можливістю самостійного руху по цій напрямній за допомогою власного горизонтального та вертикального приводу. До складу верстату входить обчислювальний пристрій, який керує таким приводом лазерного різача, з можливістю самостійного програмного управління такими переміщеннями кожного з різаків. Крім того, обчислювальний пристрій керує також самостійним горизонтальним рухом поперечних напрямних.

Конструкція верстату, яка показано на рис. 1, передбачає станину 1, на якій встановлена поздовжня напрямна 2. При цьому поздовжніх напрямних може бути і дві. В такому разі вони встановлюються паралельно одна другій.

Як видно з рис. 1, на поздовжню напрямну 2 встановлюються поперечні напрямні 3. Як приклад, на рис. 1 показано дві поперечні напрямні 3. Однак, їх число може бути різним.