

С.В. Аджамський, Р.В. Подольський, Г.А. Кононенко

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШОРСТКОСТІ НА ВЛАСТИВОСТІ ЗРАЗКІВ ЗІ СТАЛІ AISI 316L МЕТОДОМ РЕЄСТРАЦІЇ МАКРОЛОКАЛІЗАЦІЙНИХ ПОЛІВ

Анотація. Селективне лазерне плавлення - один із сучасних методів виготовлення деталей у виробництві машинобудівної техніки, особливе місце займають складні технологічні процеси, які застосовуються при виготовленні високонавантажених вузлів пневмогідравлічної системи з жароміцних сплавів. Дослідження проводились на зразках, виготовлених з порошкового матеріалу - нержавіюча сталь AISI 316L мартенситного класу. Випробування для визначення механічних властивостей проводили відповідно до ISO 6892 на випробувальній машині INSTRON. Контроль шорсткості робочої поверхні проводився за допомогою прибору BioBase. За результатами досліджень мікроструктури та досліджень методом реєстрації макролокалізаційних полів робочої зони зразків встановлено, що руйнування починалося з поверхні зразків від мікроконцентраторів через різну шорсткість.

Ключові слова: селективне лазерне плавлення, шорсткість, механічні властивості, пористість, AISI 316.

Вступ. Селективне лазерне плавлення - один із сучасних методів виготовлення деталей і вузлів складної геометрії, які складно або неможливо відтворити в умовах традиційного виробництва. Технологія вибіркового лазерного плавлення дозволяє в кілька разів скоротити час і кількість технологічних операцій, а число необхідного основного обладнання, чисельність якого вимірюється в десятках - зменшити до декількох одиниць. У виробництві машинобудівної техніки особливе місце займають складні технологічні процеси, які застосовуються при виготовленні високонавантажених вузлів пневмогідравлічної системи з жароміцних сплавів.

Постановки мети і завдань дослідження. Процес руйнування є заключною стадією поведінки металу під навантаженням, а опір, який метал надає розвитку цьому процесу, в значній мірі визначає його конструкційну міцність. До числа найбільш загальних видів руйнування відноситься в'язке і крихке

руйнування металів. В'язке руйнування, якому передують значна пластична деформація, є більш характерним для металів, ніж крихке.

Методика проведення досліджень. Дослідження проводились на зразках виготовлених з порошкового матеріалу. Друк зразків проводився на 3D принтері Alfa-280 виробництва компанії ТОВ «АЛТ Україна» [1]. Матеріалом, використаним в цьому дослідженні, була нержавіюча сталь мартенситного класу 316L з розміром частинок від 10 до 45 мкм. Хімічний склад порошку 316L в % по масі: Cr=17,79; Ni=12,63; Mo=2,35; Mn=0,78; Si=0,64; C=0,016. Випробування для визначення механічних властивостей проводили відповідно до ISO 6892 на випробувальній машині INSTRON при стабільній швидкості ходової траверси 2 мм/с. Контроль шорсткості робочої поверхні проводився за допомогою прибору ВіоBase.

Вихідний матеріал був досліджений за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМ-106 (рис. 1, а) для визначення форми і розмірів частинок. На рис. 1, б наведено результати аналізу.

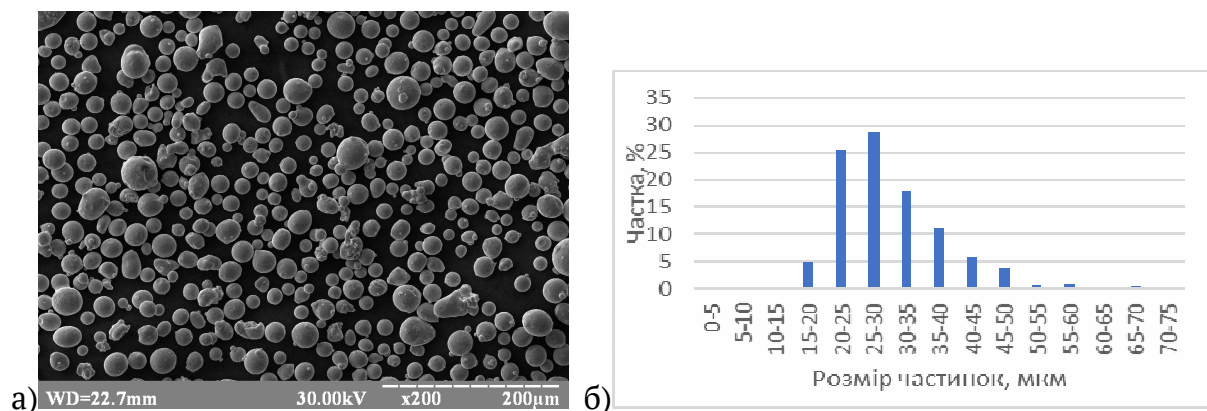


Рисунок 1 - Частинки вихідного матеріалу 316L при збільшенні 200 (а) та результати гранулометричного аналізу (б)

Робоча зона зразка на розтягування складалась з двох областей: область шорсткості 5 мкм, яка складала 80% робочої частини зразка (зона А і В) та 20% робочої частини зразка (зона Б) шорсткість якої складала 17 мкм. Зона підвищеної шорсткості знаходиться у центрі робочої частини зразка (рис. 2). Зона А фіксація штанги була в нерухомій траверсі, а зона В область рухомої траверси зі швидкістю руху 2 мм/сек.

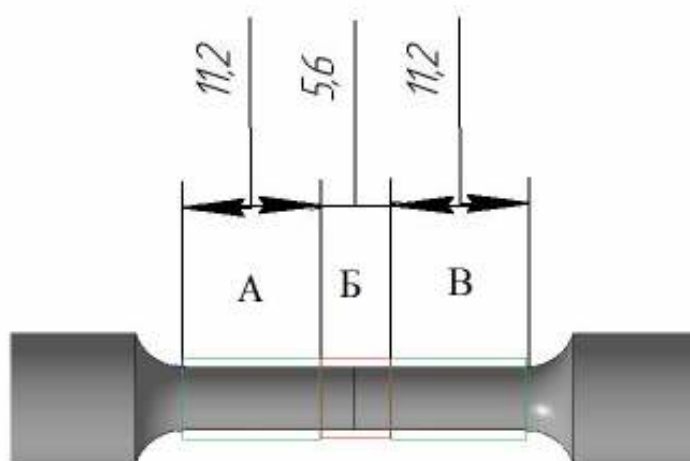


Рисунок 2 – Модель зразка для випробувань на розтягування: зелена область – шорсткість 5 мкм, червона зона – шорсткість 17 мкм

Одновісне розтягування проводилось при кімнатній температурі, реєстрація полей макролокальних переміщень фіксувалось методом DIC (digital image correlation) одночасно з розтягуванням. Результати розтягування представлені на рис 3 та в табл. 1. Дослідження мікроструктури проводили на оптичному мікроскопі CarlZeiss AxioVert 200M mat.

Таблиця 1

Результати випробувань на розтягування зразка сталі AISI 316L

σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	Ψ , %
615,40	376,56	59,77	64,04

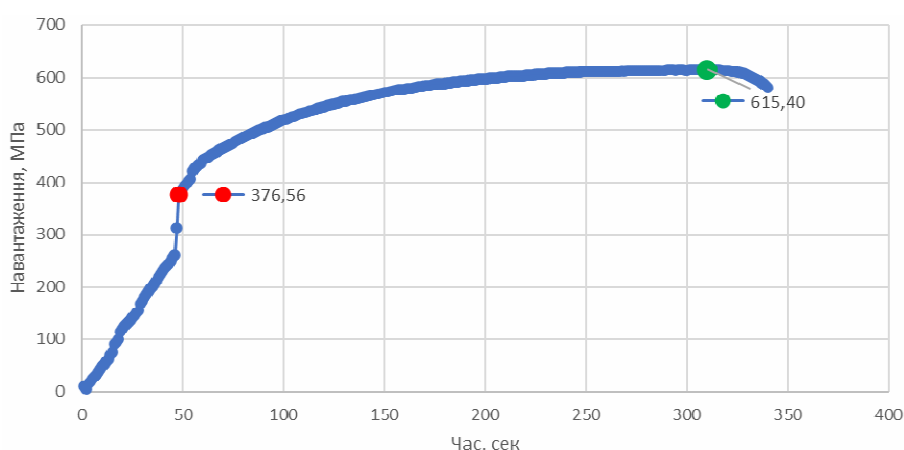


Рисунок 3 – Істинна діаграма розтягування зразка зі сталі AISI 316L виготовленого за SLM-технологією: червона точка – границя плинності, зелена точка – тимчасовий опір

З діаграми розтягування (рис. 3) встановлено, що область пружної деформації закінчується через 48 секунд і границя плинності складала 376,56 МПа, максимальна точка тимчасового опору зразка - 615,40 МПа через 319 секунд після початку випробування. Виходячи з розрахунків відносне видовження складало 64,04 %, відносне звуження - 59,77%. Розривання зразка відбулось в області перехідної зони шорсткості в зоні А до зони Б з нерухомої частини.

Під час випробувань на розтягування була проведена фіксація діаграми цифрового зображення збільшення довжини (рис. 4, 5).

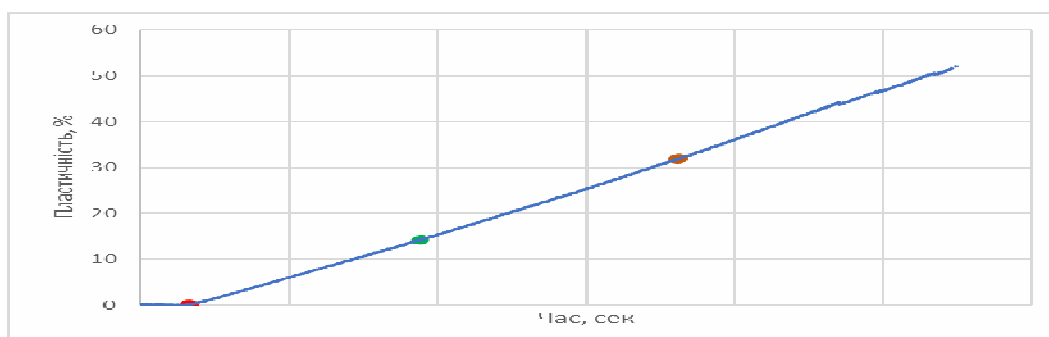
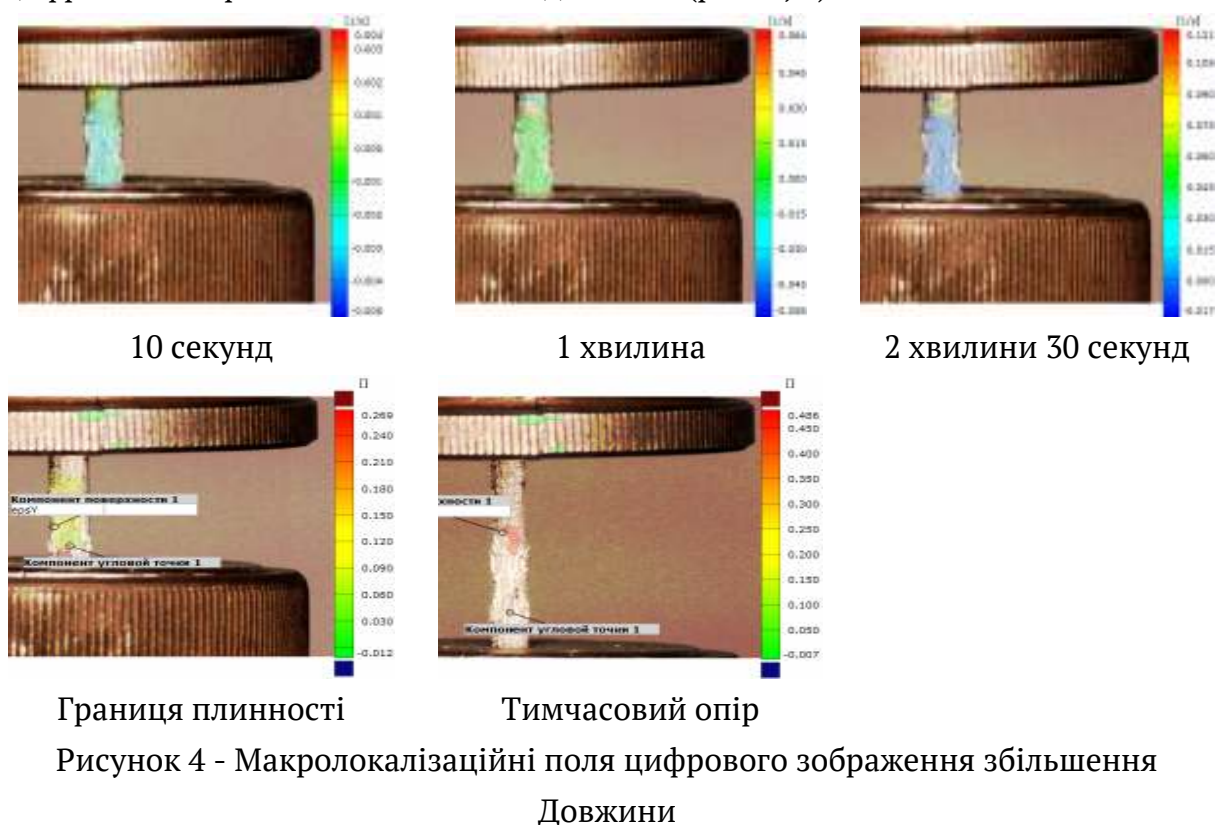


Рисунок 5 – Діаграма пластичності цифрового зображення: червона точка – 10 секунд, зелена точка – 1 хвилина, помаранчева точка – 2 хвилини 30 секунд

При зіставленні результатів механічних випробувань та DIC аналізу встановлено, що відносне видовження на момент розривання зразка склало 64,04%. Встановлено, що поверхневий та підповерхневий шар з збільшеною шорсткістю в порівнянні з основним тілом має менше відносне видовження на 10,84%.

Металографічні дослідження проводили на випробуваному зразку в області розривання, та штанг згідно схемі представлений на рис 6.

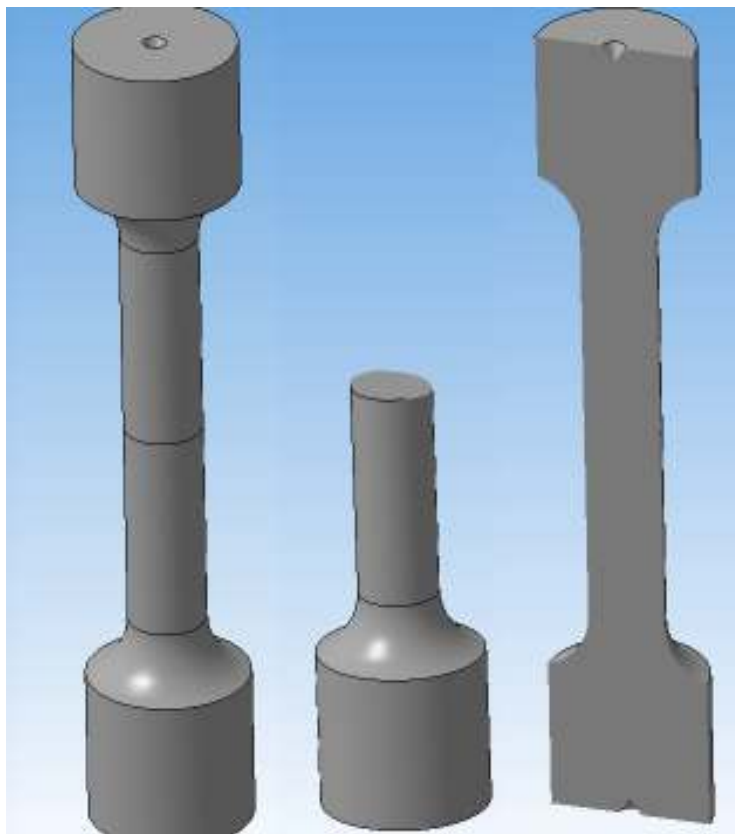


Рисунок 6 – Схема дослідження мікроструктури зразків зі сталі AISI 316L

Металографічні дослідження показали, що щільність зразка складає 99,83%, структура зразків являє собою мартенситну структуру рівновісних побудованих треків (рис. 7). З мікроструктурних досліджень робочої зони в області розриву було встановлено, що руйнування починалось з поверхні зразків між зонами А та Б. Під час досліджень в зоні А та Б було виявлено один з концентраторів розриву (рис. 8). В результаті дослідження встановлено, що руйнування починалось з поверхні зразків і місці зміни її шорсткості.

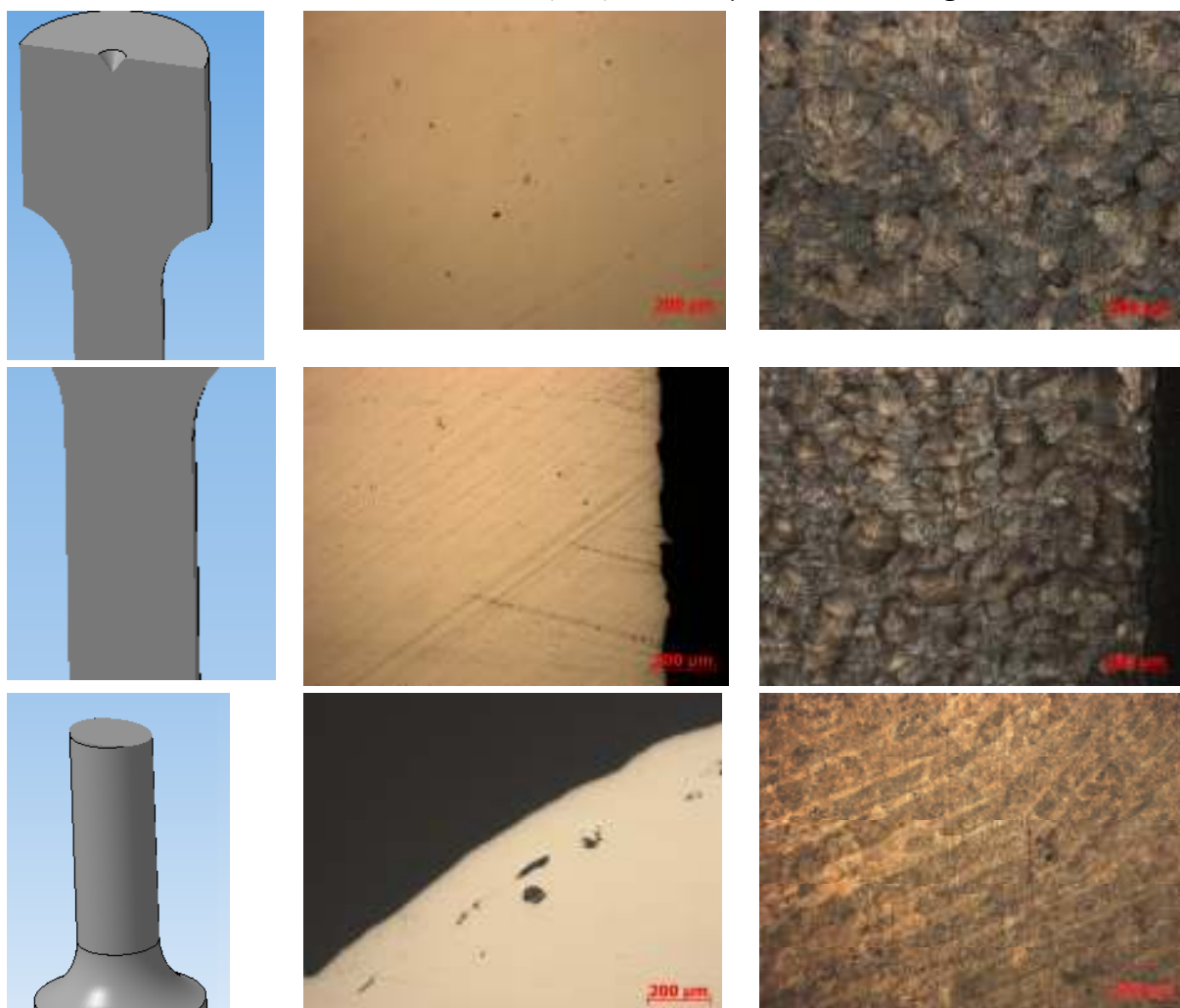
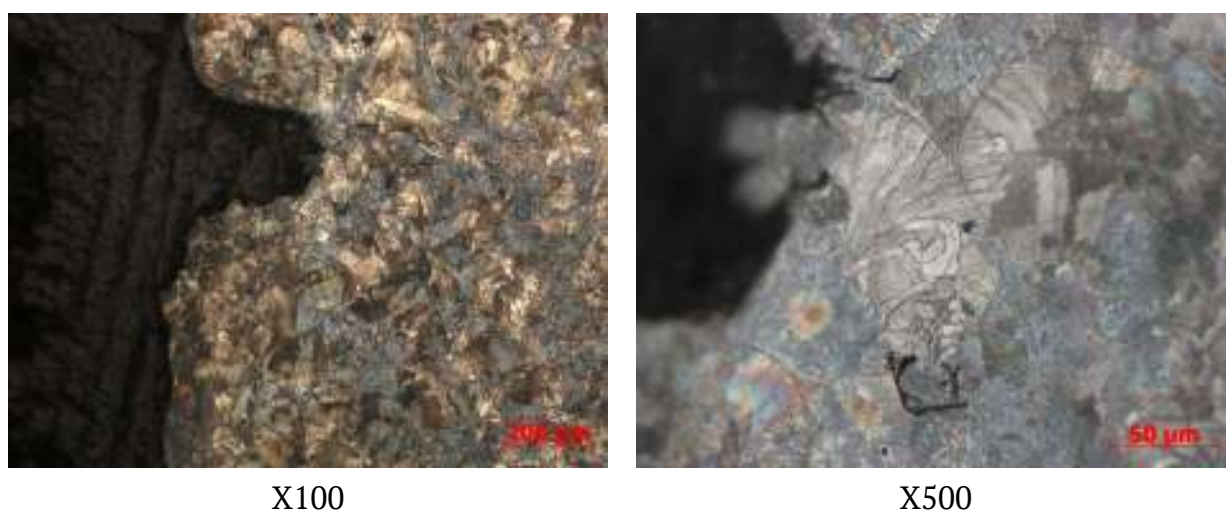


Рисунок 7 – Мікроструктура зразка зі сталі AISI 316L на розтягування в області руйнування, x100



X100 X500
Рисунок 8 – Мікроструктура концентратора в області розриву

При дослідженні мікроструктури в зоні с концентратором виявлено тріщину з розвитком по границях хвостових ділянок, виявлено витяжку треків в напрямленні прикладення сили. Встановлена витяжка хвостових ділянок треків в області концентрації зі зменшенням в напрямленні основного тіла (рис. 9).

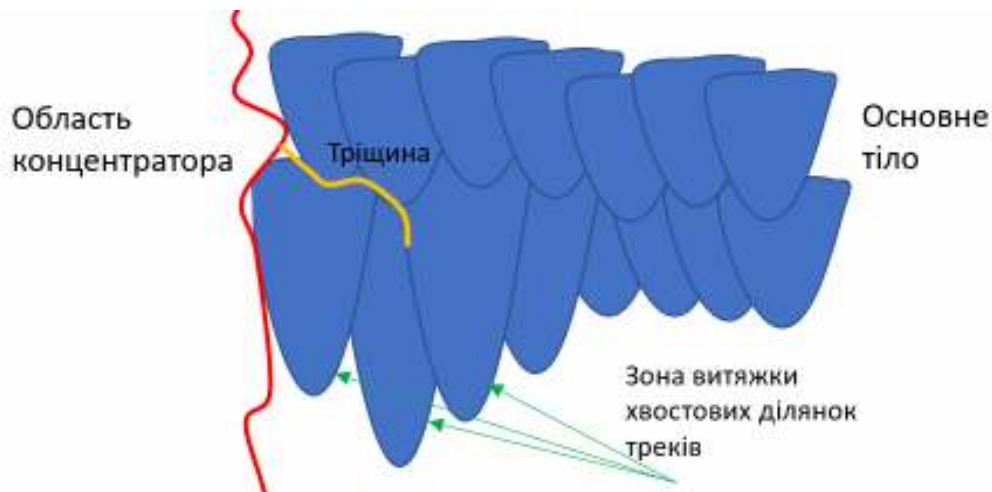


Рисунок 9 – Схема розповсюдження деформаційної тріщини під час випробування

Висновки

1. Показано, що утяжка та розрив під час випробувань з послідуочим розривом утворилась в області переходу з шорсткості 17 мкм до 5 мкм зі сторони нерухомої частини.

2. Встановлено, що поверхневий та підповерхневий шар з збільшеною шорсткістю в порівнянні з основним тілом має меншу пластичність приблизно на 11% (10,84%).

3. Встановлено, вплив поверхневої шорсткості на механічні випробування сталі виготовленої за SLM-технологією.

4. Показано механізм деформації зразка зі сталі AISI 316L, побудовано схему витяжки хвостових ділянок треків та розповсюдження тріщини в умовах випробувань зразка на розтягування.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Аджамский С. В., Кононенко А. А., Подольский Р. В. Симуляция влияния остаточных напряжений и параметров SLM-технологии на формирование области границ изделия из жаропрочного никелевого сплава INCONEL 718. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (17-19 марта 2020, Днепр), Днепр, 2020, С. 4–6. DOI: <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2020.01.001>.

REFERENCES

1. Adzhamskij S. V., Kononenko A. A., Podol'skij R. V. (2020). Simuljacija vlijanija ostatochnyh naprjazhenij i parametrov SLM-tehnologii na formirovanie oblasti granic izdelija iz zharoprochnogo nikeljevogo splava inconel 718. Materiali mizhnarodnoї naukovno-tehničnoї konferenciji «Informacijni tehnologii v metalurgiji ta mashinobuduvanni» (17-19 marta 2020, Dnepr), Dnepr, S. 4–6 [in Russian]. DOI: <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2020.01.001>

Received 22.03.2021.

Accepted 24.03.2021.

Исследование влияния шероховатости на свойства образцов из стали AISI 316L методом регистрации макролокализационных полей

Исследования проводились на образцах, изготовленных из порошкового материала - нержавеющей стали AISI 316L мартенситного класса. Испытания для определения механических свойств проводили в соответствии с ISO 6892 на испытательной машине INSTRON. Контроль шероховатости рабочей поверхности проводился с помощью прибора BioBase. По результатам исследований микроструктуры и исследований методом регистрации макролокализационных полей рабочей зоны образцов установлено, что разрушение начиналось с поверхности образцов от микроконцентраторов из-за разной шероховатость.

Investigation of plastic properties of AISI 316l steel by method of registration of macrolocalization fields

Selective laser melting is one of the modern methods of manufacturing parts in the production of machine-building equipment, a special place is occupied by complex technological processes used in the manufacture of high-load units of pneumatic-hydraulic system from heat-resistant alloys. The research was carried out on samples made of powder material - stainless steel AISI 316L martensite class. Metallographic studies showed that the density of the sample is 99.83%, the structure of the samples is a martensitic structure of equilibrium constructed tracks. Tests to determine the mechanical properties were performed in accordance with ISO 6892 on an INSTRON test machine. From the tensile diagram it was found that the yield strength was 376.56 MPa, the maximum point of temporary resistance of the sample - 615, 40 MPa 319 seconds after the start of the test. The control of the surface roughness was performed using a BioBase device. The working area of the tensile sample consisted of two areas: a roughness area of 5 μm , which accounted for 80% of the working part of the sample (zones A and Б) and 20% of the working part of the sample (zone Б), the roughness was 17 μm . According to the results of microstructure studies and studies by the method of registration of macrolocalization fields of the working zone of the samples, it was found that the destruction began from the surface of the samples from microconcentrators due to different roughness. It is established that the surface and sub-surface layer with increased roughness in comparison with the main body has a smaller elongation by 10.84%. From microstructural studies of the working zone in the area of the gap, it was found that the destruction began from the surface of the samples between zones A and Б. During

the research in zone A and B, one of the concentrators of the gap was detected. As a result of the study, it was found that the destruction began with the surface of the samples and the place of change of its roughness. The mechanism of deformation of the sample from AISI 316L steel is shown, the scheme of extraction of tail sections of tracks and crack propagation in the conditions of tensile testing of the sample is constructed.

Аджамський Сергій Вікторович - технічний директор LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Дніпро, Україна

Подольський Ростислав Вячеславович - інженер першої категорії Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, інженер-матеріалознавець LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Дніпро, Україна

Кононенко Анна Андріївна - канд. техн.наук, вчений секретар Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, інженер-матеріалознавець LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Дніпро, Україна

Аджамский Сергей Викторович –технический директор LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Днепр, Украина

Подольский Ростислав Вячеславович –инженер первой категории Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, инженер- материаловед LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Днепр, Украина

Кононенко Анна Андреевна – канд. техн.наук, ученый секретарь Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, инженер- материаловед LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Днепр, Украина

Adjamskiy Sergey - Technical Director of Additive Laser Technology of Ukraine LLC, Dnipro, Ukraine

Podolskyi Rostislav - engineer of the first category of the Institute of Iron and Steel of Z.I. Nekrasov NAS of Ukraine, materials engineer LLC Additive Laser Technology of Ukraine, Dnipro, Ukraine

Kononenko Ganna - Cand. technical science, scientific secretary of the Institute of Iron and Steel of Z.I. Nekrasov NAS of Ukraine, materials engineer LLC Additive Laser Technology of Ukraine, Dnipro, Ukraine