

Raport științific și tehnic

Contract nr. 94PTE / 30.06.2022

Cod proiect: PN-III-P2-2.1-PTE-2021-0195

***Transfer de tehnologie pentru optimizarea tratamentului mecanic de suprafață al
unor repere utilizate în industria aeronautică
- OptiTMec -***

Etapa I / 2022

***Proiectarea și experimentarea integrată a tehnologiei de tratament mecanic de
suprafață pentru reperele utilizate în industria aeronautică (Partea I)***

Decembrie 2022

CUPRINS

	Pag.
Obiectivele Etapei I / 2022	0
Rezumatul executiv al Etapei I / 2022	0
Rezultatele Etapei I / 2022	0
1. Descrierea științifică a activităților derulate	1
1.1. Definierea cerințelor tehnologiei de realizare a tratamentului mecanic de suprafață	1
1.2. Definierea specificațiilor de produs pentru reperetele supuse tratamentului mecanic de suprafață utilizate în industria aeronautică	4
1.3. Definierea metodologiei de cercetare (metode de procesare, metode de caracterizare, cerințe privind probele ce vor fi utilizate etc.)	6
1.4. Studiul influenței parametrilor industriali utilizați în tratamentul mecanic al suprafețelor: natura și dimensiunea mediului de procesare a suprafeței (material / dimensiune), presiune de tratament, durata de tratament.	8
1.5. Proiectarea și experimentarea tehnologiei de tratament mecanic de suprafață în condiții de laborator <i>Proiectarea tehnologiei de tratament mecanic de suprafață în condiții de laborator</i> <i>Experimentarea tehnologiei de tratament mecanic de suprafață în condiții de laborator.</i> <i>Obținere lot 1 probe procesate TMS-SP.</i>	11
1.6. Caracterizarea microstructurală și mecanică avansată a probelor procesate în condiții de laborator	14
2. Diseminare și participare la manifestări tehnico-științifice	18
3. Bibliografie	19

Obiectivele Etapei I / 2022

Obiectivul general al proiectului OptiTMec este optimizarea tehnologiei de tratament mecanic de suprafață prin tehnica shot peening (ecruisare superficială), aplicată pieselor metalice destinate industriei aeronautice în cadrul Turbomecanica S.A. București, în vederea eficientizării și optimizării procesului și a obținerii unor produse de calitate sporită. Obiectivele proiectului pentru anul 2022 au fost: definirea cerințelor și a specificațiilor referitoare la tehnologia de realizare a tratamentului mecanic de suprafață și la reperele supuse acestui tratament, utilizate în industria aeronautică; studiul influenței parametrilor industriali utilizați în tratamentul mecanic al suprafețelor; definirea metodologiei de cercetare (metode de procesare, metode de caracterizare, cerințe privind probele utilizate); proiectarea și experimentarea tehnologiei de tratament mecanic de suprafață în condiții de laborator; caracterizarea mecanică și structurală a probelor procesate în condiții de laborator.

Rezumatul executiv al Etapei I / 2022

În cadrul Etapei I / 2022 au fost stabilite cerințele și specificațiile referitoare la tehnologia de realizare a tratamentului mecanic de suprafață prin tehnica shot peening (ecruisare superficială) și la reperele destinate industriei aeronautice, supuse acestui tip de tratament. De asemenea, a fost studiată influența parametrilor industriali utilizați în tratamentul mecanic al suprafețelor și au fost stabiliți principalii parametri care influențează în mod direct procesul de ecruisare superficială aplicat în cadrul TURBOMECANICA S.A. pentru tratamentul reperelor destinate industriei aeronautice. Totodată, a fost definită și metodologia de cercetare aplicată în cadrul proiectului, fiind stabilită marca materialului pentru componente de aeronave ce va fi investigată și starea inițială a acestuia (oțelul 9310 VAR / AMS 6265 VAR / UNS 93106), metodele de procesare, metodele de caracterizare și cerințele cu privire la probele utilizate. Pe baza concluziilor și a rezultatelor obținute în urma acestor activități, au fost stabiliți parametri de lucru și s-a proiectat tehnologia de laborator pentru tratamentul mecanic de suprafață. După experimentarea tehnologiei proiectate, probele rezultate au fost caracterizate avansat din punct de vedere structural și mecanic: analize XRD, microscopie optică, microscopie electronică SEM, încercări de microdurate, testare mecanică la tracțiune în regim static. Rezultatele obținute vor fi folosite pentru reglarea fină a parametrilor de lucru și pentru stabilirea variantei optime a fluxului tehnologic, în scopul demonstrării și validării tehnologiei proiectate, având în vedere repetabilitatea și reproductibilitatea caracteristicilor structurale și mecanice obținute în urma aplicării procedurilor stabilite.

Rezultatele Etapei I / 2022

Rezultat (conform Plan de realizare)	Grad de îndeplinire
Specificații privind tehnologia de realizare a tratamentului mecanic de suprafață	100% (RST – pct. 1.1, 1.2, 1.4)
Cerințe privind piesele supuse tratamentului mecanic de suprafață	100% (RST – pct. 1.2, 1.4)
Metode de caracterizare	100% (RST – pct. 1.3)
Cerințe privind probele utilizate (cantități, dimensiuni, caracteristici, etc.)	100% (RST – pct. 1.3)
Studiul parametrilor industriali utilizați în tratamentul mecanic al suprafețelor	100% (RST – pct. 1.1, 1.2, 1.4)
Probe cu suprafețe procesate mecanic în condiții de laborator	100% (RST – pct. 1.5)
Raport de caracterizare microstructurală și mecanică a suprafețelor	100% (RST – pct. 1.6)
Participare /comunicare la manifestări tehnico-științifice (1)	300% (RST – pct. 2)
Realizare pagina WEB proiect	100% (RST – pct. 2)

1. Descrierea științifică a activităților derulate

1.1. Definierea cerințelor tehnologiei de realizare a tratamentului mecanic de suprafață

Un număr mare de componente aerospațiale sunt supuse unor sarcini dinamice ridicate și unor condiții grele de funcționare. Defectarea componentelor critice din cauza proprietăților de funcționare insuficiente amenință industria și crește foarte mult costul de întreținere. De obicei, piesele mecanice din industria aviației sunt destinate să funcționeze în condiții severe. Straturile lor superficiale sunt intens solicitate în timpul funcționării și vor fi primele care vor fi degradate din cauza diferitelor contacte cu alte piese și cu mediul înconjurător. Re-proiectarea și/sau înlocuirea unor astfel de componente nu este în general permisă sau necesită costuri și timp considerabile. Îmbunătățirea suprafeței este o soluție practică și accesibilă pentru prevenirea mecanismelor de deteriorare și, de asemenea, pentru îmbunătățirea proprietăților componentelor din industria aerospațială care funcționează în condiții critice.

Un material cu caracteristici mecanice superioare devine o problemă majoră din cauza constrângerilor economice. Pentru a depăși această problemă este nevoie de metode de fabricație și tratament care să satisfacă cerințele tehnice impuse. Practica tehnologică de astăzi, în special în industria auto și aerospațială, este greu de imaginat fără tratamente mecanice de suprafață (TMS). Tratamentul stratului superficial al pieselor prin deformare plastică este subiectul multor lucrări de cercetare [1, 2].

1.2. Definierea specificațiilor de produs pentru reperle supuse tratamentului mecanic de suprafață utilizate în industria aeronautică

Sectorul aerospațial este unul dintre sectoarele critice și respectă întotdeauna standarde înalte. De obicei, componentele avionului sunt foarte scumpe și este important ca ele să-și păstreze caracteristicile, mai ales din cauza riscului ridicat de oboseală al materialului metalic. După cum știm cu toții, fiecare mic segment este crucial pentru ca produsul final să funcționeze perfect. TMS prin SP este soluția cea mai potrivită în acest domeniu, motiv pentru care oferă rezultate ideale, fiind folosit mai ales pentru a îmbunătăți proprietățile mecanice ale componentelor care sunt supuse unor solicitări constante. Materialul unei piese aflate în exploatare și care este supusă variabilității ciclice a sarcinilor mecanice, se poate degrada în timp prin diferite mecanisme, oboseala fiind cea mai des întâlnită. Peste 90% din deteriorările componentelor mecanice se datorează fenomenului de oboseală și se soldează adesea cu accidente catastrofale, mai ales în domeniul aviat. Astfel, chiar dacă tensiunile introduse sunt mai mici decât limita de curgere, se poate ajunge la amorsarea unei microfisuri, propagarea acesteia și, în final, la ruperea piesei respective. Oboseala este întotdeauna un fenomen foarte complex și poate să nu fie ușor de evaluat.

1.3. Definierea metodologiei de cercetare (metode de procesare, metode de caracterizare, cerințe privind probele ce vor fi utilizate etc.)

Metodologia de cercetare aplicată în cadrul proiectului de față, a fost definită plecând de la scopul proiectului de cercetare, care vizează optimizarea tehnologiei de TMS prin tehnica SP, aplicată în cadrul TURBOMECANICA S.A. București (TMB) pentru reperi destinate industriei aeronautice.

1.4. Studiul influenței parametrilor industriali utilizați în tratamentul mecanic al suprafețelor: natura și dimensiunea mediului de procesare a suprafeței (material / dimensiune), presiune de tratament, durata de tratament.

Pentru beneficii optime, procesul SP trebuie controlat, iar pentru a realiza acest proces toate variabilele trebuie identificate și controlate. În aplicațiile industriale, există diferiți parametri de procesare

SP, inclusiv gradul de acoperire realizat, intensitatea tratamentului, debitul, materialul și dimensiunea particulelor de bombardare etc., care afectează performanța de îmbunătățire a proprietăților stratului superficial (v. fig. 1.4.1.). Cu toate acestea, utilizarea unor parametri necorespunzător de severi poate duce la un efect numit *overpeening*, care provoacă o degradare semnificativă a stratului de suprafață și, în consecință, a proprietăților de oboseală [21]. Prin urmare, este important studiul relației dintre diferiții parametri de TMS și caracteristicile tensiunii reziduale, respectiv proprietăților materialului produsului care urmează să fie procesat. Acești parametri au fost studiați în cadrul mai multor lucrări de cercetare [24]. Parametrii critici de SP pentru îmbunătățirea rezistenței la oboseală sunt: timpul de expunere la tratamentul SP, diametrul și duritatea particulelor, debitul particulelor de bombardare, unghiul de impact, distanța dintre duză și piesă, caracteristicile instalației de propulsare a particulelor de bombardare (dispozitivul rotitor sau duza) și ale suprafeței de lucru.

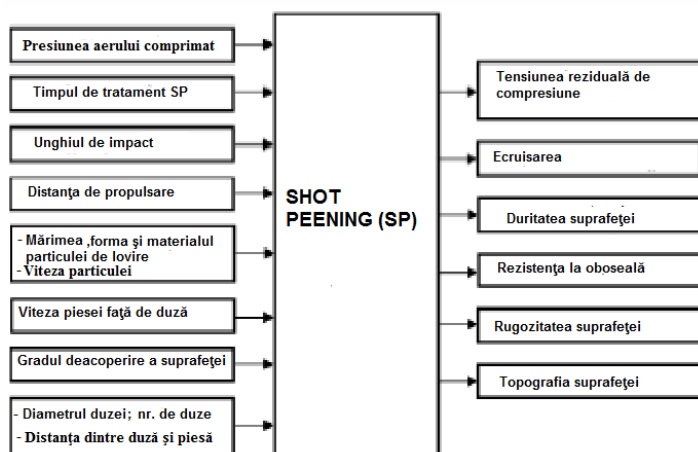


Fig. 1.4.1. Influența diferiților parametri asupra procesului de shot peening și efectele acestuia asupra suprafeței prelucrate [18]

Pentru a satisface cerințele clientului, sunt efectuate teste extinse de shot peening pe piesele de prelucrat. În aceste teste, se urmărește determinarea poziției roții sau a duzei de propulsare a agentului de bombardare, precum și intensitatea SP, cantitatea / debitul agentului de bombardare și timpul de tratament (de expunere). Programele de SP trebuie adaptate procesului de producție specific necesar, iar fiabilitatea procesului trebuie să fie garantată. Informațiile derivate din astfel de teste indică mașina cea mai potrivită pentru cerințele specifice. Datorită rezultatelor testelor, construcția mașinii este adaptată la cerințele clientului și astfel la aplicațiile specifice [11]. Fiabilitatea procesului este factorul hotărâtor în shot peening. Intensitatea procesului de SP poate fi controlată prin determinarea valorii Almen și a acoperirii. Datorită faptului că toți parametrii (presiunea, timpul de tratament, viteza de propulsare, dimensiunile, forma și materialul agentului de bombardare) în sistemele de SP sunt definiți exact, este posibil să se examineze și să se ajusteze intensitatea și acoperirea Almen. Fiabilitatea procesului este supravegheată la intervale periodice și trebuie garantată în orice moment.

1.5. Proiectarea și experimentarea tehnologiei de tratament mecanic de suprafață în condiții de laborator

Proiectarea tehnologiei de tratament mecanic de suprafață în condiții de laborator

La proiectarea tehnologiei de laborator pentru tratamentul mecanic de suprafață prin SP au fost avute în vedere următoarele aspecte:

- este necesară folosirea unei instalații experimentale de shot peening *cu aer comprimat*, similară cu cea aflată în dotarea TMB, care utilizează energia cinetică a aerului comprimat pentru propulsarea și accelerarea particulelor / bilelor;
- instalația utilizată trebuie să permită reglarea și controlul parametrilor de proces stabiliți (*mărimea / dimensiunea bilelor de ecrusare, presiunea de lucru și timpul de expunere*) în intervale de valori relevante și reproductibile la nivel industrial;
- materialul cercetat în cadrul proiectului este 9310 VAR, un oțel slab aliat (Cr-Ni-Mo) de înaltă rezistență, utilizat ca oțel de cementare la fabricarea unui număr semnificativ de piese pentru aeronave, în cadrul TMB;

- probele experimentale din 9310 VAR trebuie să se găsească în *aceeași stare inițială*, precursore operației de SP, cu cea a reperelor fabricate din același material și supuse TMS prin SP în cadrul TMB;
- *configurația și dimensiunile probelor experimentale* trebuie să fie adecvate operațiilor de procesare efectuate și trebuie să asigure necesarul de material pentru investigațiile ulterioare.

.....

Experimentarea tehnologiei de tratament mecanic de suprafață în condiții de laborator. Obținere lot 1 probe procesate TMS-SP.

Fluxul tehnologic pentru procesarea TMS-SP aplicată oțelului 9310 VAR în cadrul acestui proiect este prezentat în figura 1.5.1. După obținerea celor 25 de probe (17 necesare pentru experimente și 8 rezerve suplimentare) în starea inițială considerată (P0), 16 dintre acestea au fost rând pe rând supuse tratamentului mecanic de suprafață, folosind parametrii prezentați în figura 1.5.1.

.....

1.6. Caracterizarea microstructurală și mecanică avansată a probelor procesate în condiții de laborator

Din fiecare specimen al lotului 1 de probe experimentale (v. fig. 1.5.2, b), au fost prelevate ulterior o serie de eșantioane pentru caracterizarea microstructurală și mecanică, cu ajutorul unei mașini de tăiere de precizie cu disc diamantat *Metkon MICRACUT 202* (această mașină fiind utilizată pentru toate operațiile ulterioare de debitare).

.....

Analiza prin difracție de raze X. În urma analizelor XRD efectuate, au fost obținute spectrele de difracție corespunzătoare oțelului 9310 VAR, aflat în starea inițială (P0) și după procesarea TMS-SP (P1-P16).

.....

Aceste date pot fi folosite pentru a estima nivelul tensiunilor reziduale de la suprafața materialului procesat TMS-SP și pot fi corelate cu celelalte măsurători (intensitatea / săgeata Almen, microduritatea, proprietățile mecanice) în vederea stabilirii parametrilor optimi de procesare.

Caracterizarea microstructurală a oțelului 9310 VAR, în starea inițială (P0) și după procesarea TMS-SP (P1-P16) a fost realizată atât prin intermediul analizelor de microscopie optică (v. fig. 1.6.3.), cât și cu ajutorul microscopiei electronice SEM-BSE (v. fig. 1.6.4.).

.....

Caracterizarea mecanică a oțelului 9310 VAR, în starea inițială (P0) și după procesarea TMS-SP (P1-P16) a fost realizată prin intermediul testelor de microduritate și al încercărilor de rupere la tracțiune (în regim static).

.....

În cadrul etapei de inițiere a activității de validare a tehnologiei de tratament mecanic de suprafață în condiții de laborator, se vor realiza interpretări și corelații între toate datele obținute, în vederea stabilirii parametrilor optimi ai tehnologiei proiectate și experimentate (fig. 1.5.1.) pentru procesarea TMS-SP a oțelului 9310 VAR, parametri ce urmează să fie validați în condiții de laborator.

2. Diseminare și participare la manifestări tehnico-științifice

Cercetările experimentale efectuate pe parcursul anului 2022 au condus la următoarea diseminare a rezultatelor științifice obținute:

1. prezentarea rezultatelor științifice la conferințe internaționale:

- N. Șerban, M. L. Angelescu, V. D. Cojocaru, B. I. Văduva, G. Coman, E. M. Cojocaru, D. M. Șerban, I. V. Balkan. *Surface modification of aircraft steel AISI 9310 using different shot peening parameters: structural and mechanical characteristics survey*; The 9th International Conference on Materials Science and Technologies – RoMAT 2022, 24 – 25.11.2022, Bucharest, Romania;
- M. L. Angelescu, N. Șerban, V. D. Cojocaru, E. Panainte, R. Crăciun, A. Grecu, E. M. Cojocaru, N. Zărnescu-Ivan. *Exposure time influence on microstructural and mechanical features of a surface treated 9310 alloy steel via shot peening method*; The 9th International Conference on Materials Science and Technologies – RoMAT 2022, 24 – 25.11.2022, Bucharest, Romania;

2. participări la manifestări tehnico-științifice internaționale:

- participare TURBOMECANICA S.A. la evenimentul MRO Europe - Aviation Week 2022, 18 – 20.10.2022, London, United Kingdom.

3. pagina web proiect realizată și lansată în 2022:

- <https://turbomecanica.ro/cercetare-si-dezvoltare/proiect-ecruisare/>

3. Bibliografie

1. Kumar, D.; Idapalapati, S.; Wang, W.; Narasimalu, S. Effect of Surface Mechanical Treatments on the Microstructure-Property-Performance of Engineering Alloys. *Materials* **2019**, *12*, 2503;
2. Feldmann, G.G. and Haubold, T. Mechanical surface treatment technologies for improving HCF strength and surface roughness of blisk-rotors, *Materials Science Forum* **2013**, 768-769, 510-518;
3. Klumpp, A.; Hoffmeister, J. and Schulze, V. Mechanical Surface Treatments, *Proceedings of the 12th international conference on Shot Peening: Goslar, Germany*, **2014**, pp. 12-24;
4. Plaster, H.J. A Tribute to Benjamin Chew Tilghman, *Proceedings of the 5th international conference on Shot Peening*, **1993**, pp. 1-7;
5. Horowitz, I. *Oberflächenbehandlung mittels Strahlmitteln: Handbuch Ober Strahltechnik u. Strahlanlagen*, Vulkan-Verlag, **1982**, vol. 2, pp. 1-306;
6. Foppl, O. *Stahl und Eisen*, vol. 49, **1992**, pp. 775;
7. Foppl, O. and Heydekampf, G. Dauerfestigkeit und Konstruktion, *Metallwirtschaft Wissenschaft und Technik*, vol. 8, **1992**, pp. 45;
8. DIN 8201, *Strahlmittel, Einteilung-Bezeichnung*. Beuth Verlag GmbH, **1975**;
9. Barzoukas, H. and Jauffret, J. Peening With Ceramic Shot, *Proceedings of the 4th international conference on Shot Peening*, **1990**, pp. 47-56;
10. Wied, J. *Oberflächenbehandlung von Umformwerkzeugen durch Festklopfen*, PhD Thesis, TU Prints Darmstadt, **2011**, pp. 118;
11. Wohlfahrt, H. The influence of peening conditions on the resulting distribution of residual stress, *Proceedings of the 2th international conference on Shot Peening*, **1984**, pp. 316-331;
12. Prabhu, P.R.; Kulkarni, S.M. and Sharma, S.S. Mechanical surface enhancement (MSE) techniques for fatigue life improvement – A review, *Journal Of Manufacturing Engineering*, **2011**, vol. 6, No.4, pp. 211-219;
13. Gencalp Irizalp, S. and Saklakoglu, N. Laser Peening of Metallic Materials, *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering - Comprehensive Materials Finishing*, **2017**, vol. 1, pp. 408-440;
14. Schulze, V. *Modern Mechanical Surface Treatment: States, Stability, Effects*; Wiley-VCH, **2006**, pp. 1-367;
15. Wohlfahrt, H. Kugelstrahlen und Dauerschwingverhalten, *Proceedings of the 1th international conference on Shot Peening*, **1981**, pp. 675-694;
16. Wohlfahrt, H. and Krull, P. *Mechanische Oberflächenbehandlungen: Grundlagen - Bauteileigenschaften – Anwendungen*, Wiley-VCH, **2000**, pp. 1-207;
17. Scholtes, B. and Vohringer, O. Ursachen, Ermittlung und Bewertung van Randschichtveränderungen durch Kugelstrah/en, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, **1993**, vol. 24, no. 12, pp. 421-431;
18. Tolga Bozdana, A. On the Mechanical Surface Enhancement Techniques in Aerospace Industry – A Review of Technology, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, **2005**, vol. 77, no. 4, pp. 279-292;

19. Ismail, S.; Ahsan, Q. and Haseeb, A.S.M.A. Recent Advances in Mechanical Surface Treatment, *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering - Comprehensive Materials Finishing*, **2007**, vol. 2, pp. 171-179;
20. Trško, L.; Fintová, S.; Nový, F.; Bokůvka, O.; Jambor, M.; Pastorek, F.; Florková, Z.; Oravcová, M. Study of Relation between Shot Peening Parameters and Fatigue Fracture Surface Character of an AW 7075 Aluminium Alloy. *Metals* **2018**, vol. 8, no.2, 111;
21. Kumar, D.; Idapalapati, S.; Wang, W.; Narasimalu, S. Effect of Surface Mechanical Treatments on the Microstructure-Property-Performance of Engineering Alloys. *Materials*, **2019**, vol.12, no.16, 2503;
22. Wei Guo, K. Surface engineered nanostructures on metallic biomedical materials for anti-abrasion, *Anti-Abrasive Nanocoatings - Current and Future Applications*, **2015**, pp. 364-366;
23. Dounde, A.A.; Seemikeri, C.Y. and Tanpure, P.R. Study of Shot Peening Process and Their Effect on Surface Properties: A Review, *International Journal of Engineering, Business and Enterprise Applications (IJEBA)*, **2015**, vol.2, no. 12, pp. 104-107;
24. Chaudhary, K. Importance of controlling parameters in shot peening process, *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, **2017**, vol. 4, no. 11, pp. 220-223.

Director de proiect,
Ovidiu TĂNASE