

Design of an Innovative Triple-Shaft Sports Sequential Gearbox with Tandem Electronic Shifting

Výstup: D6_2- Experimentálne výsledky materiálového výskumu s dôrazom na pevnosť a hmotnosť.

Pracovný balík: WP6

Číslo projektu: 09I03-03-V04-00644



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

„Financované EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č. 09I03-03-V04-00644“.

1 Úvod a cieľ experimentálneho výstupu

Výstup D6_2 dokumentuje experimentálne overovanie materiálového riešenia komponentov prevodovky TRI-GEAR TES. Dostupné podklady preukazujú výrobu ozubeného komponentu s integrovaným vnútorným profilom, použitie elektroerozívnej technológie, skúšobnú montáž v prevodovej zostave a dve odčítania z prenosného tvrdomera. Zistenia podporujú realizovateľnosť navrhutej výrobnéj cesty. Rozsah fotografickej dokumentácie však neumožňuje samostatne potvrdiť chemické zloženie, hĺbku vytvrdenej vrstvy, opakovateľnosť merania ani pevnosť v ťahu.

Materiálová koncepcia nadväzuje na D6_1: cementačná oceľ 16MnCr5 pre samostatné ozubené kolesá, 18CrNiMo7-6 pre integrované kolesá so zubovými spojkami, 42CrMo4 pre hriadele a EN AW-7075 pre telesá. Pri hodnotenom ozubenom diele sa vychádza z jeho funkcie a z nadväznosti na WP3 a WP4; presné priradenie konkrétnej tavby musí zostať previazané na materiálový certifikát alebo výrobný záznam.

1.1 Rozsah dostupných experimentálnych dôkazov

Tabuľka 1 Rozsah podkladov

Podklad	Preukázaná skutočnosť
Fotografia dielu na výkrese	Vyrobený ozubený diel s vnútorným tvarovým profilom
Fotografia z EDM	Diel bol spracovávaný drôtovým elektroerozívnym rezaním
Fotografie tvrdomera	Zobrazené odčítania 56,3 a 46,6
Fotografia montáže	Fyzická montáž ozubených prvkov v skúšobnej prevodovej zostave

2 Hodnotený komponent a výrobná technológia

Fotodokumentácia zachytáva ozubený komponent s vonkajším ozubením a vnútorným tvarovým profilom. Geometria zodpovedá smerovaniu projektu k integrácii radiacej funkcie do ozubeného kolesa. Takéto riešenie znižuje počet samostatných dielov, ale zvyšuje požiadavky na presnosť vnútorného profilu, tepelné spracovanie a kontrolu oboch funkčných oblastí.

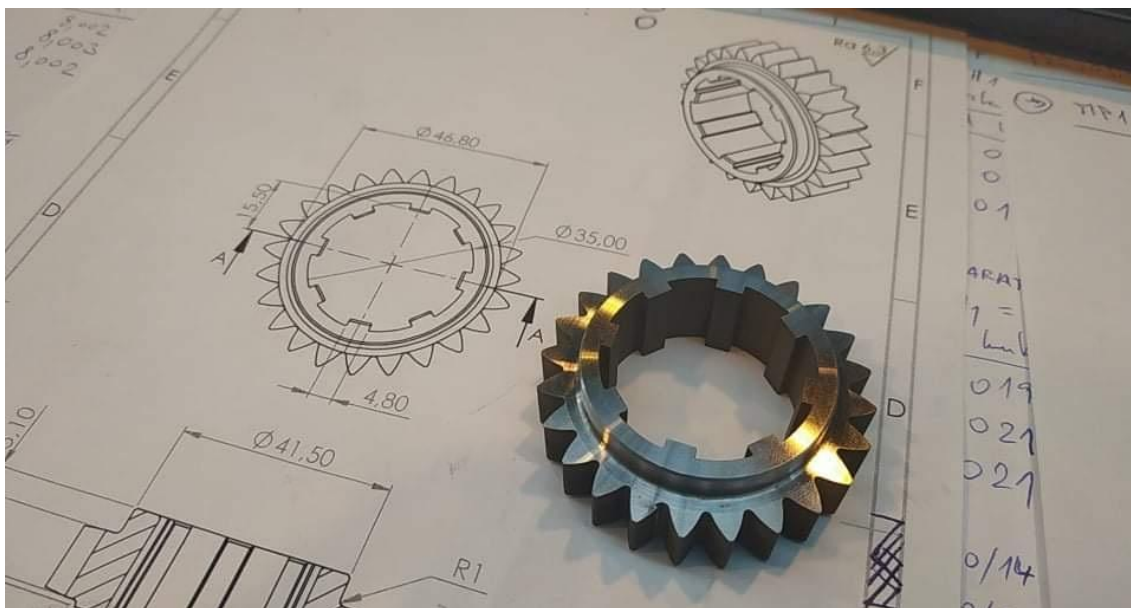


Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



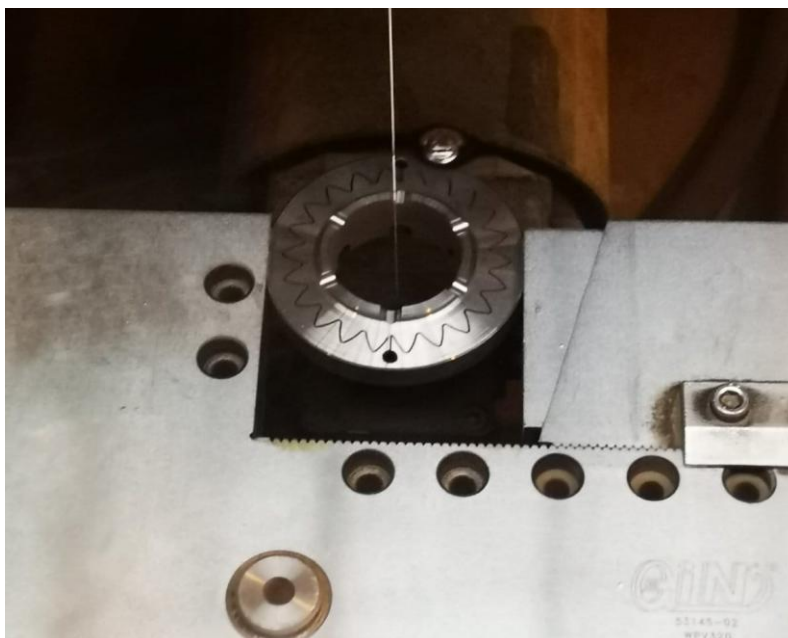
ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



Obrázok 1 Vyrobený ozubený komponent položený na výrobnom výkrese

2.1 Elektroerozívne obrábanie

Fotografia z výroby dokumentuje drôtové elektroerozívne rezanie vnútorného/vonkajšieho profilu. Táto technológia umožňuje vytvoriť presné tvarové prvky v elektricky vodivom materiáli bez pôsobenia významnej reznej sily na obrobok. Je vhodná pre prototypové a malosériové diely so zložitou geometriou. Pri hodnotení výsledku sa musí kontrolovať rozmer a tvar, drsnosť a integrita povrchu, pretože elektrické výboje môžu vytvoriť tepelne ovplyvnenú alebo pretavenú vrstvu.



Obrázok 2 Drôtové elektroerozívne obrábanie vonkajšieho profilu



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



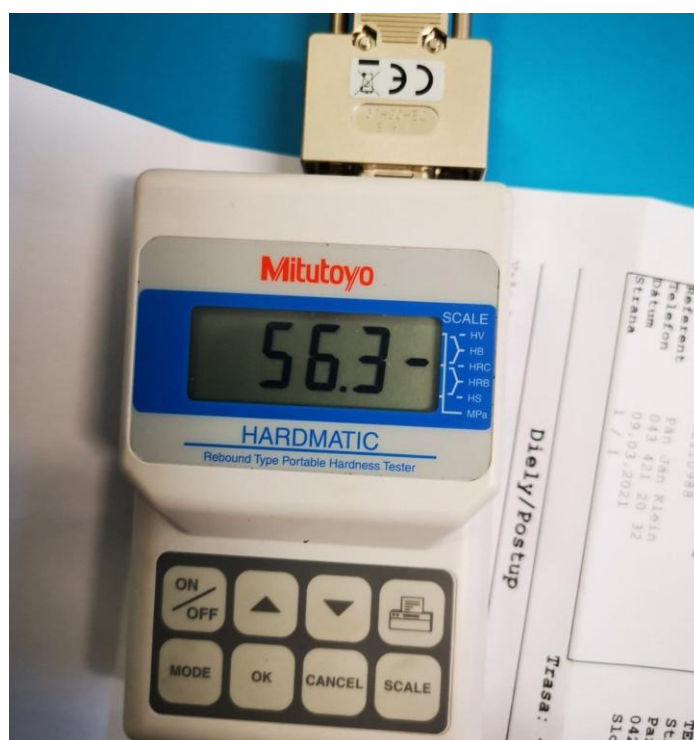
ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Pre konečnú výrobnú špecifikáciu sa odporúča evidovať počet dokončovacích rezov, použitý drôt a dielektrikum, prídavok na dokončenie a výsledok kontroly povrchu. Fotografia sa používa ako dôkaz vykonanej technologickej operácie.

3 Metodika dokumentovaného merania tvrdosti

Tvrdosť bola kontrolovaná prenosným odrazovým tvrdomerom Mitutoyo Hardmatic. Odrazová metóda vyhodnocuje odozvu nárazového telieska a výsledok môže zobrazovať priamo alebo po prevode do zvolenej stupnice. Na výsledok vplýva hmotnosť a tuhosť dielu, hrúbka skúšanej oblasti, zakrivenie povrchu, drsnosť, smer merania, typ nárazového zariadenia a nastavená materiálová skupina.

Na fotografiách sú čitateľné hodnoty 56,3 a 46,6. Označenie aktívnej stupnice nie je dostatočne zreteľné a nebol dodaný protokol s nastavením prístroja. Hodnoty sa preto v tomto výstupe označujú ako odčítania prístroja bez priradenia jednotky HRC, HB, HV alebo inej konverznej stupnice.



Obrázok 3 Odčítanie 56,3 na prenosnom tvrdomere



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



Obrázok 4 Odčítanie 46,6 pri meraní ozubeného komponentu

3.2 Posúdenie voči materiálovej koncepcii

Vyššie odčítanie 56,3 je kvalitatívne zlučiteľné s požiadavkou na tvrdý funkčný povrch cementovaného komponentu, iba ak bola zvolená príslušná stupnica a meranie bolo vykonané na vhodnej ploche. Nižšie odčítanie 46,6 môže predstavovať inú oblasť, iný diel alebo iný stav. Za experimentálne potvrdený výsledok sa preto považuje existencia rozdielnych odčítaní, nie ich metalurgická príčina.

Pre potvrdenie cieľového intervalu uvedeného v D6_1 je potrebné zopakovať meranie na označených miestach, uviesť stupnicu a vykonať viac odtlačkov alebo odrazov. Pri tenkej cementovanej vrstve má prenosná odrazová metóda obmedzenia- rozhodujúca kontrola profilu vrstvy vyžaduje metalografický výbrus a meranie mikrotvrdości v definovaných vzdialenostiach od povrchu.

4 Montážne overenie

Fotografia otvorenej prevodovej zostavy dokumentuje montáž ozubených komponentov do skúšobného mechanizmu. Je viditeľná fyzická kompatibilita ozubených členov s hriadeľmi a priestorom skrine. Montážna skúška je významná pre overenie kolízií, prístupnosti a základného záberu.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



Obrázok 5 Skúšobná montáž ozubených komponentov v prevodovej zostave

Po montáži sa odporúča vykonať ručné pretočenie bez zaťaženia, kontrolu axiálnych vôlí, kontrolu kontaktného obrazu a meranie radiálneho a čelného hádzania. Až následne je vhodné pokračovať skúškou pri nízkych otáčkach, teplotným ustálením a postupným zaťažovaním. Tieto kroky predstavujú odporúčanú nadväznosť.

5 Výsledky vo vzťahu k pevnosti

Dostupná dokumentácia podporuje záver, že zvolený materiálovo-technologický smer umožnil vyrobiť geometricky zložitý komponent a osadiť ho do skúšobnej zostavy. Meranie tvrdosti prinieslo dve samostatné hodnoty, ktoré naznačujú rozdielny stav meraných miest alebo dielov. Tvrdosť je dôležitým ukazovateľom odolnosti povrchu proti plastickej deformácii a opotrebeniu, ale nenahrádza skúšku pevnosti, húževnatosti ani únavovej životnosti.

Tabuľka 2 Súhrn experimentálneho stavu vo vzťahu k pevnosti

Hodnotená vlastnosť	Stav dôkazu	Záver
Vyrobiteľnosť tvaru	Fotograficky doložená	Vnútorňý a vonkajší profil bol vyrobený technológiou EDM
Povrchová tvrdosť	Dve odčítania bez potvrdenej stupnice	K dispozícii sú hodnoty 56,3 a 46,6; potrebné protokolárne opakovanie



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Hodnotená vlastnosť	Stav dôkazu	Záver
Pevnosť v ťahu a medza klzu	Nedoložená skúškou	Možno používať iba certifikované materiálové údaje, nie tvrdenie o meraní
Únavová pevnosť	Nedoložená skúškou	Vyžaduje cyklické zaťažovanie alebo prevádzkový test
Montážna kompatibilita	Fotograficky doložená	Diel bol osadený do prevodovej zostavy

6 Výsledky vo vzťahu k hmotnosti

Fotografie neobsahujú údaj z váženia komponentov. Hmotnostný prínos preto nemožno vyjadriť ako experimentálne nameranú hodnotu. Konštrukčný smer však vytvára tri zdroje potenciálnej úspory: integráciu spojkevej funkcie do ozubeného kola, odstránenie samostatných prvkov a využitie EN AW-7075 pre telesá. Pri oceľových variantoch má najväčší vplyv na hmotnosť geometria, pretože hustoty uvažovaných cementačných ocelí sú podobné.

Pre nadväzujúce váženie sa odporúča použiť kalibrovanú váhu a evidovať hmotnosť jednotlivého dielu, funkčne porovnateľného referenčného dielu a kompletnej zostavy. Percentuálna úspora sa má počítať iba medzi rovnakými hranicami systému. Ak sa porovná samotné integrované koleso s kolesom a oddelenou spojkou, musí byť v oboch prípadoch zahrnutý rovnaký súbor podloží, upevňovacích prvkov a presuvných častí.

Tabuľka 3 Odporúčaný plán doplnenia hmotnostných údajov

Položka budúceho váženia	Požadovaný záznam	Účel
Integrovaný ozubený diel	Hmotnosť v gramoch a identifikácia revízie	Porovnanie s referenčným kolesom a spojkou
Hriadele a ozubené členy	Hmotnosti jednotlivých dielov	Kontrola rozdelenia rotačných hmôt
Teleso EN AW-7075	Hmotnosť pred a po obrábaní	Vyhodnotenie využitia polotovaru
Kompletná prevodová zostava	Hmotnosť bez oleja a s definovaným príslušenstvom	Celkový projektový ukazovateľ



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

8 Odporúčaný protokol opakovacieho merania

Tabuľka 4 Minimálny obsah doplňujúceho skúšobného protokolu

Krok	Požiadavka
1 Identifikácia	Číslo dielu, revízia výkresu, materiál, tavba, tepelný cyklus a fotografia meracieho miesta
2 Prístroj	Typ sondy, sériové číslo, kalibračný etalón, materiálová skupina a zvolená stupnica
3 Podmienky	Orientácia, podopretie alebo spojenie s podložkou, drsnosť a teplota dielu
4 Opakovania	Najmenej päť meraní na každom definovanom mieste; uviesť všetky hodnoty
5 Vyhodnotenie	Priemer, smerodajná odchýlka, minimum, maximum a kritérium prijatia
6 Overenie vrstvy	Mikrotvrdosť na výbruse a efektívna hĺbka vrstvy v reprezentatívnej geometrii
7 Hmotnosť	Kalibrovaná váha, rovnaké hranice porovnávaných zostáv a zaznamenaná neistota



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Záver

Experimentálna etapa preukázala výrobnú realizovateľnosť ozubeného komponentu s integrovaným vnútorným profilom, použitie drôtového EDM a jeho fyzickú montáž do skúšobnej prevodovej zostavy. Prenosným tvrdomerom boli fotograficky zdokumentované odčítania 56,3 a 46,6. Ich absolútny rozdiel je 9,7 a nižšia hodnota dosahuje približne 82,8 % vyššej hodnoty. Výsledky podporujú pokračovanie s materiálovou koncepciou definovanou v D6_1, no nepostačujú na potvrdenie konkrétnej stupnice tvrdosti, homogenity vrstvy, pevnosti v ťahu alebo únavovej životnosti.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY