

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

Výstup: D6_1- Komplexný prehľad vhodných materiálov, technológií a tepelného spracovania pre výrobu komponentov prevodovky.

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 predmet výstupu

Materiálové riešenie trojhriadeľovej športovej sekvenčnej prevodovky TRI-GEAR TES vychádza z rozdelenia funkcií medzi cementačné ocele na ozubenie a zubové spojky, zušľachtenú oceľ na hriadele a vysokopevnú hliníkovú zliatinu na telesá. Základ predstavujú 16MnCr5, 18CrNiMo7-6, 42CrMo4 a EN AW-7075. Výber spája požiadavky na kontaktnú odolnosť, únosnosť jadra, presnosť a nízku hmotnosť; samotná vysoká povrchová tvrdosť na zabezpečenie funkčnosti nestačí.

Výstup D6_1 patrí do pracovného balíka WP6. Jeho predmetom je inžiniersky prehľad materiálov, výrobných technológií a tepelného spracovania s návrhom materiálových špecifikácií. Projektový opis oddeľuje tento prehľad od experimentálneho výstupu D6_2, ktorý sa venuje pevnosti a hmotnosti. D6_1 preto vytvára rozhodovací a technologický základ pre výrobu a následné porovnanie materiálových variantov.

1.1 Nadväznosť na doterajší vývoj

Výstupy D1_1 a D1_2 vymedzujú súvislosti vývoja sekvenčných prevodoviek. D2_1 až D2_3 rozpracúvajú skrátenie zostavy a trojhriadeľové usporiadanie. D3_1 sa zaoberá modifikovaným ozubením a jeho výrobou. D4_1 až D4_3 nadväzujú analýzou, návrhom a skúškami integrovanej zubovej spojky. Tieto časti určujú hlavné kontaktné a pevnostné požiadavky pre WP6.

Vývoj radenia sa v D5_2 posúva od mechanických valcov ku koncepcii štyroch lineárnych aktuátorov. D5_3 opisuje experimentálne ovládanie jedného aktuátora; koordinácia celej sústavy nadväzuje na WP7. Materiálový prehľad preto zahŕňa aj vedenia, vidličky a telesá aktuátorov. Materiály radiacich valcov zostávajú porovnávacím variantom, nie automaticky súčasťou aktuátorovej zostavy.

1.2 Spôsob hodnotenia

Materiály sa porovnávajú podľa mechanizmu zaťaženia, spracovateľnosti, rozmerovej stability, dostupnosti polotovaru a možnosti kontroly. Údaje z projektových správ sú identifikované odkazom na konkrétny výstup. Materiálové listy výrobcov poskytujú vlastnosti konkrétnych produktov a stavov- pri použití iného dodávateľa sa požadované hodnoty musia premietnuť do objednávky a kontroly dodávky. Odporúčané technologické postupy sú podkladom na kvalifikáciu procesu pre daný diel.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

2 Funkčné požiadavky na materiály

Ozubené kolesá sú namáhané cyklickým ohybom v päte zuba a opakovaným kontaktom na bokoch. Zubová spojka navyše zachytáva nárazy pri zaradení presuvníka a prenáša moment cez obmedzený počet kontaktných plôch. Pri oboch funkciách je potrebné hodnotiť tvrdú povrchovú vrstvu spolu s podporným jadrom, vrubmi a skutočným rozložením zaťaženia.

Hriadele prenášajú krútiaci moment a ohybové zaťaženie od ozubenia a uloženia. Rozhodujúce sú prechody priemerov, drážkovanie, mazacie otvory a ložiskové sedlá. Teleso zabezpečuje vzájomnú polohu ložísk, tesnosť a odvod tepla. Jeho materiál preto nemožno vyberať iba podľa pevnosti v ťahu - rovnako podstatná je tuhosť a tepelná rozťažnosť.

Tabuľka 1 Funkčné kritériá výberu materiálu

Skupina dielov	Dominantné požiadavky	Rozhodujúca kontrola
Ozubenie	Kontaktná a ohybová únava, odolnosť proti zadieraniu	Profil, tvrdosť a hĺbka vrstvy, integrita povrchu
Zubové spojky a presuvníky	Rázová odolnosť, húževnatosť jadra, presný záber	Hrany a korene zubov, vôľa, mikroštruktúra
Hriadele	Kombinovaný ohyb a krut, únavová odolnosť	Materiálový stav, súososť, prechody a sedlá
Telesá a veká	Tuhosť uloženia, nízka hmotnosť, tesnosť	Poloha otvorov, deformácia, stav polotovaru
Vidličky a vedenia	Ohybová tuhosť, klzné opotrebenie	Kontaktná dvojica, vôľa a kvalita povrchu

Pri trojhriadeľovej koncepcii sa zaťaženie určuje pre konkrétny zaradený stupeň a jeho prenosovú cestu. Samotná existencia dvoch výstupných vetiev neoprávňuje deliť prenášaný moment na polovicu. Materiálový návrh musí vychádzať z kinematiky, prevodových pomerov a reakcií v ložiskách. Uvedená zásada je dôležitá pri prenose koncepčných úvah z WP2 do pevnostného návrhu.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

3 Ocele pre ozubenie spojky a hriadele

3.1 Cementačná oceľ 16MnCr5

16MnCr5 je základným materiálom samostatných ozubených kolies v nadväznosti na D2_3 a D3_1. Cementovanie s následným kalením a popúšťaním umožňuje vytvoriť tvrdý povrch pri zachovaní menej tvrdého jadra. Materiálový list Ovako ju zaraďuje medzi cementačné ocele. Vhodnosť konkrétneho polotovaru treba posudzovať aj podľa jeho rozmeru a požadovaného prekalenia.

D3_1 uvádza pre vyrobené kolesá tvrdosť po cementácii a kalení 58-60 HRC. Tento interval je projektovým východiskom pre daný typ dielu, nie všeobecnou charakteristikou všetkých súčiastok z 16MnCr5. Výrobná špecifikácia musí doplniť meracie miesto, požadovanú efektívnu hĺbku vrstvy a konečný stav po dokončovacom obrábaní.

3.2 Cementačná oceľ 18CrNiMo7-6

Pre integrované koleso so zubovou spojkou je v D4_2 zvolená 18CrNiMo7-6. Ovako ju charakterizuje ako cementačnú oceľ s vysokou húževnatosťou a ponúka aj varianty so zvýšenou čistotou. Pri únavovo namáhaných dieloch je preto vhodné špecifikovať nielen označenie ocele, ale aj požadovanú kvalitu polotovaru.

Ak sú ozubenie a spojkové zuby vyrobené z jedného kusu, celý diel má spoločný základný materiál. Označenie 16MnCr5 pre ozubenie a 18CrNiMo7-6 pre spojkou sa v takom prípade nesmie interpretovať ako dva materiály v jednom monolitickom kolese. Pre integrovaný variant sa vychádza z 18CrNiMo7-6 podľa D4_2; 16MnCr5 zostáva riešením samostatných kolies alebo porovnávacím variantom. Odlišné požiadavky na jednotlivé plochy možno riešiť selektívnym spracovaním, ak je technologicky overené.

D4_2 uvádza tvrdosť 60 ± 2 HRC, vrstvu 1,0-1,2 mm a DLC povlak 2-3 μm . Tieto hodnoty treba pri prenose do výkresu spojiť s jednoznačnou definíciou vrstvy a kontrolným postupom. Najmä hrúbka metalograficky pozorovanej vrstvy a efektívna hĺbka odvodená z tvrdostného profilu nie sú zameniteľné veličiny.

3.3 Oceľ 42CrMo4 pre hriadele

42CrMo4 je oceľ na zušľachtovanie- v stave po kalení a popúšťaní poskytuje kombináciu pevnosti a húževnatosti. Predstavuje základ pre hriadele podľa D2_3. Požadované mechanické vlastnosti sa určujú pre príslušný rozmer a stav dodávky, nie iba podľa názvu ocele.

Lokálne opotrebované plochy možno podľa konštrukcie riešiť indukčným kalením alebo nitridovaním. Tieto procesy predstavujú samostatné varianty s vlastným návrhom vrstvy a následnou kontrolou. 42CrMo4 sa v tejto koncepcii nezaraďuje medzi základné



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

cementačné ocele pre ozubené kolesá. Pri použití nitridovania sa musí zosúladiť jeho tepelný cyklus s predchádzajúcim popúšťaním.

4 Ľahké zliatiny a porovnanie alternatív

4.1 EN AW-7075 pre telesá

EN AW-7075 je základnou zliatinou pre telesá v projektovej koncepcii. Materiálový list Constellium uvádza dobrú obrábatelnosť, vhodnosť na ochranné a tvrdé eloxovanie a nevhodnosť na zváranie. Rozlišuje stavy T6 a T7 - pri prestarnutých stavoch zdôrazňuje odolnosť proti korózii pod napätím. Voľba stavu musí byť súčasťou objednávky polotovaru.

Na obrábané teleso sa odporúča posúdiť polotovar s riadenými zvyškovými napätiami, vhodný pre rozsiahly úber materiálu. Označenie T651 alebo iného stavu možno použiť iba v zhode so skutočnou formou a certifikátom dodávky. Katalógové hodnoty pre tyč sa nemajú automaticky prenášať na hrubú dosku alebo výkovok.

Pre ložiskové uloženia treba zohľadniť rozdielnú roztlačnosť ocele a hliníka. Zmenu presahu ovplyvňuje priemer, teplotné pole a uloženie. Oceľová vložka môže byť vhodná pri opakovanom servise alebo vysokom miestnom namáhaní, musí však mať vyriešené zaistenie, styk s telesom a tepelnú dilatáciu. Ide o odporúčanie pre konštrukčné posúdenie, nie o univerzálnu potrebu všetkých ložiskových sediel.

4.2 Alternatívy a hranice ich použitia

EN AW-6082 predstavuje porovnávaciú alternatívu pre veká, držiaky a telesá, kde postačuje nižšia úroveň pevnosti. List Hydro ukazuje závislosť vlastností od stavu a hrúbky profilu. Jeho údaje preto slúžia na predbežný výber; konečné dimenzovanie vyžaduje vlastnosti skutočne objednaného polotovaru.

Aditívne spracovateľný AlSi10Mg je alternatívou pre tvarovo zložité držiaky alebo mazacie prvky. EOS uvádza vlastnosti viazané na konkrétny výrobný a tepelný režim. Taký diel vyžaduje posúdenie pórovitosti, orientácie stavby, dokončenia funkčných plôch a čistoty kanálov. Zliatina ani technológia sa tým nestávajú priamou náhradou frézovaného telesa EN AW-7075.

Titánové a kompozitné riešenia spomínané v projektovom opise zostávajú rozvojovými alternatívami. Pre nosné ozubenie a zubové spojky sa v základnom variante zachovávajú ocele. Zavedenie iného materiálu by vyžadovalo samostatné overenie kontaktnej odolnosti, tuhosti, výroby a spojenia s ostatnými dielmi.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Tabuľka 2 Materiálová rozhodovacia matica

Materiál	Prednostné použitie v koncepcii	Podmienka alebo obmedzenie
16MnCr5	Samostatné ozubené kolesá	Cementovaná vrstva a jadro podľa rozmeru
18CrNiMo7-6	Integrované kolesá a zubové spojky	Kontrola čistoty, jadra a vrstvy na oboch funkciách
42CrMo4 +QT	Hriadele	Pevnosť podľa prierezu, kontrola vrubov a deformácie
EN AW-7075	Obrábané telesá	Stav dodávky, tepelná stabilita a uloženia
EN AW-6082	Alternatívne veká a držiaky	Overenie dostatočnej pevnosti a tuhosti
AlSi10Mg pre aditívnu výrobu	Alternatívne tvarovo zložité diely	Kvalifikácia výroby a dokončenia

5 Tepelné a chemicko tepelné spracovanie

5.1 Cementovanie kalenie a popúšťanie

Pre 16MnCr5 a 18CrNiMo7-6 je základnou cestou cementovanie, kalenie a následné popúšťanie. Požadovaný výsledok sa má zadať tvrdosťou povrchu, vlastnosťami jadra, hĺbkou vrstvy a rozmerovou prípustnosťou. Presný čas a teplotu procesu stanovuje technologický predpis pre konkrétnu geometriu, materiál a zariadenie.

Nízkotlakové cementovanie vo vákuovej peci predstavuje alternatívu k atmosférickému procesu. Bodycote ho uvádza pre prevodové kolesá a hriadele, s prínosom pre rovnomernosť vrstvy a obmedzenie deformácií. Ani tento proces však nezaručuje nulovú deformáciu. Pri plynovom kalení treba osobitne overiť, či sa dosiahne požadovaná štruktúra v rozhodujúcom priereze dielu.

Pri malých zuboch alebo tenkých spojkových výstupkoch môže byť vrstva navrhnutá pre väčší diel neprimeraná. Hĺbka sa preto stanovuje v súvislosti s hrúbkou zuba a kontaktom; nesmie sa bez posúdenia prevziať interval 1,0-1,2 mm z D4_2 pre všetky diely. Pri obojstrannej spojke sa kontrolujú obe strany a oblasti pri koreňoch. Na výkrese treba vyznačiť plochy, ktoré sa majú chrániť pred cementovaním.

Efektívna hĺbka sa hodnotí na priečnom výbruse prostredníctvom profilu tvrdosti podľa príslušnej metodiky. Norma ISO 18203 sa venuje stanoveniu hrúbky povrchovo



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

vytvrdených vrstiev- objednávka kontroly má uvádzať dohodnuté vydanie, definíciu hodnotenej vrstvy a podmienky merania.

5.2 Zušľachťovanie a nitridovanie

Pri hriadeľoch z 42CrMo4 sa najprv zabezpečujú vlastnosti jadra zušľachtením. Hrubovanie, tepelný cyklus a dokončenie sa usporiadajú tak, aby sa konečné sedlá a súososť kontrolovali po operáciách spôsobujúcich deformáciu. Pri dlhých alebo dutých hriadeľoch treba sledovať aj priamkovitosť a stabilitu po odopnutí.

Nitridovanie sa uplatní na vybraných klzných alebo opotrebovaných plochách ako variant doplnkového vytvrdenia. Bodycote uvádza typickú procesnú teplotu približne 520 °C a odporúča východiskový zušľachtený stav. Výsledná vrstva pozostáva zo zlúčeninovej a difúznej oblasti; ich požiadavky sa určia podľa kontaktu a zaťaženia.

Teplota nitridovania sa musí posúdiť voči predchádzajúcemu popúšťaniu, aby proces nezmenil požadované vlastnosti jadra. Nitridovanie sa preto nepridáva automaticky na nízkopopustený cementovaný diel. Pre každý variant treba stanoviť prípadné maskovanie, konečnú drsnosť a prípustnú zmenu rozmeru.

6 Povrchové úpravy a tribologická kompatibilita

6.1 DLC a ďalšie tenké povlaky

DLC predstavuje nadväzujúci variant povrchovej úpravy zubovej spojky podľa D4_2. Povlak sa posudzuje ako súčasť sústavy podklad-vrstva-protikus-mazivo. Nemôže nahradiť nedostatočnú únosnosť jadra ani poškodenú povrchovú vrstvu. Výrobca Oerlikon rozlišuje viaceré uhlíkové povlaky a technológie ich nanášania- označenie DLC preto samo osebe nie je úplnou výrobnou špecifikáciou.

Pre diel sa určí konkrétny povlak, hrúbka, medzivrstva, príprava podkladu, maskovanie a spôsob overenia adhézie. Projektom uvedených 2-3 µm je východisko z D4_2. Pri dvoch protiľahlých povlakovaných plochách sa nárast rozmeru premieta do vôle, preto sa tolerancia posudzuje v konečnom povlakovanom stave.

Osobitne sa kontroluje teplota nanášania. Oerlikon uvádza pri vybraných povlakoch proces pod 250 °C, čo ešte samo osebe nepotvrdzuje kompatibilitu s konkrétnym nízkopopusteným dielom. Dodávateľ musí kvalifikovať cyklus tak, aby zostala zachovaná tvrdosť, mikroštruktúra a rozmer. Údaj o maximálnej prevádzkovej teplote povlaku nie je údajom o dovolenej teplote podkladu.

Koeficient trenia sa nepreberá ako univerzálna konštanta. Závisí od protikusu, oleja, teploty a režimu kontaktu. Katalógové trenie za sucha sa nedá priamo porovnať s mazanou spojkou. Prínos povlaku sa má pre D6_2 overiť voči nepovlakovanému dielu pri zhodnej geometrii a tepelnom spracovaní.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

TiN a CrN spomínané vo WP4 a WP5 možno zaradiť do porovnania, ak pre ne existuje kvalifikovaný teplotný režim a dôvod použitia. Bez porovnateľnej skúšky sa im nepriraduje rovnaký účinok ani zaručené predĺženie životnosti.

6.2 Tvrdé eloxovanie hliníkových dielov

Tvrdé eloxovanie je vhodným smerom ochrany vybraných povrchov EN AW-7075, čo podporuje materiálový list výrobcu. V technologickom predpise sa musí riešiť hrúbka, maskovanie a konečný rozmer otvorov či vedení. Pri ložiskových sedlách a tesniacich plochách sa vhodnosť vrstvy posúdi podľa uloženia a požadovanej drsnosti.

Kontaktné plochy vidličiek nemožno navrhnuť len požiadavkou na vysokú tvrdosť. Dôležitý je protikus, tlak, mazanie a spôsob obnovy opotrebovaných plôch. Vymeniteľná kontaktná vložka je možným konštrukčným riešením- jej materiál a upevnenie sa určujú samostatne podľa výsledkov skúšok.

7 Výrobné technológie a poradie operácií

7.1 Ozubenie a integrované spojky

Pre bežné dostupné profily sa porovná odvaľovacia výroba s tvarovým obrábaním. Pri profiloch z D3_1 a vnútorných spojkových tvaroch z D4_2 sa zohľadní elektroerozívne obrábanie. Drôtové rezanie vyžaduje priechodnú dráhu drôtu- pri nepriechodnej dutine sa posudzuje hĺbenie elektródou alebo iná dostupná technológia.

EDM je tepelný proces a na povrchu môže vytvárať pretavenú vrstvu a mikrodefekty. Odborné práce sa preto venujú priamo integrite povrchu ozubených kolies po WEDM. Odporúčaný výrobný postup zahŕňa kvalifikované dokončovacie rezy a podľa výsledku odstránenie ovplyvnenej vrstvy. Samotná nízka drsnosť nepotvrďuje neprítomnosť trhlín.

Pri obrábaní pred cementovaním treba počítať s deformáciou a prídavkom na dokončenie. Pri obrábaní po cementovaní sa zasa kontroluje, koľko vytvrdenej vrstvy sa odoberie. Žiadne poradie nie je univerzálne: rozhoduje prístupnosť profilu a zachovanie požadovanej vrstvy na hotovom diele. Po brúsení sa posudzuje lokálne tepelné poškodenie; pred povlakovaním sa overí čistota, hrany a povrchová integrita.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Tabuľka 3 Návrh výrobných ciest pre kvalifikáciu konkrétneho dielu

Skupina	Odporúčané poradie hlavných operácií
Cementované koleso	Kontrola polotovaru → hrubovanie a profil → cementovanie, kalenie, popúšťanie → dokončenie → kontrola vrstvy a geometrie
Integrovaná spojka	Polotovar → vonkajší a vnútorný tvar → kvalifikovaný tepelný cyklus → dokončenie oboch strán → kontrola → prípadný DLC → konečná kontrola
Hriadeľ 42CrMo4	Polotovar → hrubovanie a zušľachtenie podľa stavu dodávky → dokončenie → prípadné lokálne vytvrdenie → kontrola
Teleso EN AW-7075	Overenie stavu → postupné hrubovanie → kontrola deformácie → dokončenie uložení a plôch → povrchová úprava → konečná kontrola

7.2 Telesá a pomocné komponenty

Pri frézovaní telesa je vhodné rozdeliť veľký úber materiálu na etapy, meniť upnutie kontrolovaným spôsobom a merať deformáciu po uvoľnení. Ložiskové otvory sa dokončujú vo väzbe na spoločné základne. Ak sa obrábajú v zostave s vekom, výrobná dokumentácia musí určiť podmienky spojenia a následnej montáže.

Pri aditívnych alternatívach sa do výrobnéj cesty pridáva odstránenie podpier a prášku, kvalifikované tepelné spracovanie a dokončenie funkčných plôch. Vnútorný mazací kanál musí byť nielen vyrobiteľný, ale aj čistiteľný a kontrolovateľný. Pre základné oceľové kolesá a hriadele zostáva východiskom konvenčný polotovar s obrábaním a tepelným spracovaním.

8 Návrh materiálových špecifikácií

Výkres a technologický predpis majú vytvoriť jednoznačnú väzbu medzi označením dielu, materiálom, stavom polotovaru, spracovaním a kontrolou. Tabuľka 4 uvádza minimálny obsah špecifikácií. Tam, kde je uvedená číselná hodnota z projektovej správy, ide o prevzaté východisko pre daný diel- konečné tolerancie a kontrolné miesta sa určia na výkrese.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Tabuľka 4 Obsah materiálových a technologických špecifikácií

Diel a materiál	Východisko spracovania	Čo musí doplniť špecifikácia
Samostatné koleso 16MnCr5	Cementovanie a kalenie; D3_1 uvádza 58-60 HRC	Efektívna hĺbka po dokončení, jadro, kontrolné miesta a geometria
Integrované koleso 18CrNiMo7-6	D4_2 uvádza 60 ± 2 HRC a vrstvu 1,0-1,2 mm	Definícia vrstvy, požiadavky na obe strany a jadro, maskované plochy
Povlak spojky	D4_2 uvádza DLC 2-3 μ m	Typ, teplota nanášania, hrúbka, adhézia a konečná vôľa
Hriadeľ 42CrMo4 +QT	Zušľachtený stav podľa D2_3	Mechanické vlastnosti pre rozmer, drážky, sedlá, prípadná lokálna vrstva
Teleso EN AW-7075	Obrábaný polotovár; stav sa určí v objednávke	Forma a stav dodávky, stabilita, uloženia a maskovanie pri eloxovaní
Vidlička alebo vedenie	Materiál podľa samostatného výkresu	Tuhosť, kontaktný materiál, mazanie, vôľa a výmenné plochy

Na každej výrobnej dávke sa uchová identifikácia tavby alebo šarže, dodávateľský doklad, záznam tepelného spracovania a výsledok konečnej kontroly. Pri povlakovaní sa doplní identifikácia procesu a referenčnej vzorky. Zmena dodávateľa, stavu polotovaru alebo poradia operácií sa posudzuje ako zmena výrobnej cesty, aj keď označenie základného materiálu zostáva rovnaké.

9 Kontrola kvality a nadväznosť na D6_2

Kontrola sa začína overením materiálovej identity a stavu dodávky. Po spracovaní sa sledujú rozmery, tvrdosť, mikroštruktúra a prípadné poškodenie. Referenčná vzorka spracovaná spolu s dielom podporuje kontrolu dávky, ale nemusí sama vystihovať vrstvu v neprístupnom koreni zuba. Pri kvalifikácii sa preto vyberajú reprezentatívne miesta skutočnej geometrie.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Tabuľka 5 Odporúčané kontrolné etapy

Kontrolná etapa	Hodnotený znak	Záznam pre prijatie
Vstup materiálu	Označenie, stav, rozmer a šarža	Dodávateľský doklad previazaný na diel
Po tepelnom spracovaní	Povrchová a jadrová tvrdosť, profil vrstvy	Meracia metóda, zaťaženie, miesta a výsledky
Po dokončení	Profil, súososť, drsnosť, povrchové chyby	Rozmerový protokol a kontrola integrity
Po povlakovaní	Hrúbka, pokrytie, adhézia a vôľa	Záznam povlakovania a konečná kontrola
Pred montážou	Čistota, priechodnosť kanálov a identita dielov	Kontrolný list zostavy

Tvrdosť sa zaznamenáva spolu s použitou stupnicou a skúšobnými podmienkami. Hodnoty HRC, HV0,05 a iné Vickersove zaťaženia sa bez zdôvodnenia nezamieňajú. Pevnosť v ťahu sa uvádza v MPa, zatiaľ čo húževnatosť sa musí doložiť zodpovedajúcou skúškou; hodnota pevnosti sama osebe nepotvrďuje odolnosť proti lomu.

Pre D6_2 sa odporúča porovnávať varianty pri rovnakej geometrii, zaťažení a mazaní. Základnými porovnaniami sú materiálové varianty cementovaných kolies a stav spojky bez povlaku oproti zvolenému DLC. Pri každej vzorke sa eviduje hmotnosť, tepelný cyklus, tvrdostný profil, geometria pred a po skúške, opotrebenie a spôsob porušenia. Počet opakovaní a podmienky prijatia sa určia pred začiatkom skúšok.

Hmotnostný prínos sa hodnotí pre funkčne porovnateľný diel alebo zostavu. Zmena ocele pri zachovaní geometrie sama osebe neprináša zásadnú úsporu hmotnosti; jej prínos môže umožniť následnú geometrickú optimalizáciu. Úspora dosiahnutá odstránením mechanických valcov sa eviduje ako konštrukčná zmena, nie ako dôkaz účinku materiálu.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Záver

Pre základný návrh TRI-GEAR TES sa zachováva 16MnCr5 pre samostatné ozubené kolesá, 18CrNiMo7-6 pre integrované kolesá so zubovými spojkami, 42CrMo4 v zušľachtenom stave pre hriadele a EN AW-7075 pre telesá. Toto rozdelenie nadväzuje na WP2 až WP5 a umožňuje priradiť materiál ku konkrétnemu mechanizmu zaťaženia.

Prioritou výroby je riadenie vlastností hotového dielu: primeraná hĺbka cementovanej vrstvy, únosné jadro, nepoškodený povrch po EDM a brúsení a zachovanie geometrie po tepelnom spracovaní. DLC a tvrdý elox dopĺňajú základné materiálové riešenie tam, kde sú zosúladené s kontaktom, teplotným režimom a toleranciami.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY