

Automatické navádění robotu v aplikaci laserového navařování náběžných hran lopatek parních turbín

Ondřej Vaníček¹

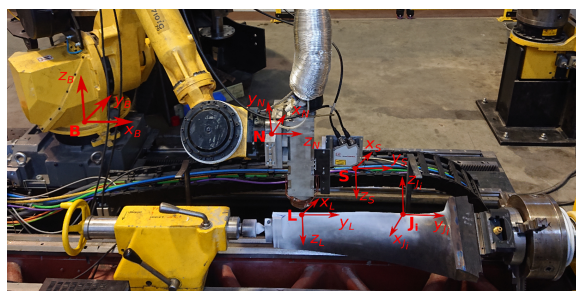
1 Úvod

Obsahem tohoto příspěvku je stručný popis modulu automatického generování trajektorií robotu v úloze laserového navařování oběžných lopatek parních turbín, který je součástí našeho dlouhodobě vyvíjeného systému navádění robotů v laserových aplikacích. Cílem tohoto modulu je vygenerování sady trajektorií robotického systému o sedmi stupních volnosti, které zaručí aplikaci kompaktní vrstvy materiálu na specifickou část povrchu oběžné lopatky parní turbíny.

Základní materiál, z něhož jsou vyráběny turbínové lopatky, nevykazuje dostatečnou erozní odolnost zejména pro použití v těch částech parní turbíny, kde již pára obsahuje větší kapky vody (v nízkotlaké části až několik desetin milimetru v průměru), a postupem času lopatky vykazují značné opotřebení. V rámci tohoto projektu byl vytvořen systém, jenž zajišťuje řízení robotického systému, jehož snímek je na Obrázku 1, během procesu laserového navařování kobaltového stellite na definované okolí náběžné hrany oběžné lopatky za účelem zvýšení její erozní odolnosti s minimálním vlivem na její tuhostní a únavové vlastnosti. Trajektorie jsou generovány na základě 3D modelu vytvořeného skenováním obrobku laserovým profilometrem umístěným přímo na procesní laserové navařovací hlavě.

2 Algoritmus automatického plánování trajektorií na základě 3D měření

Prvním předpokladem pro úspěšné navádění robotu na základě měření je maximálně přesná znalost vzájemné polohy jednotlivých funkčních komponent robotického systému. V případě diskutovaného systému se jedná zejména o přesnou kalibraci souřadných systémů profilového snímače (s.s. S na Obr. 1), jednoosého polohovadla, v němž je upevněna navařovaná lopatka (s.s. P na Obr. 1), a také laserové navařovací hlavy (s.s. L na Obr. 1) viz. Vaníček et al. (2020).



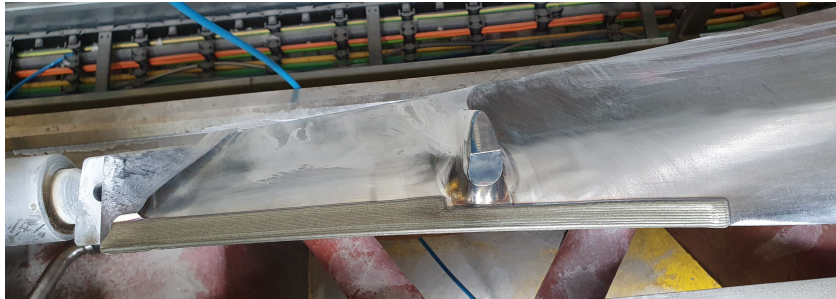
Obrázek 1: Cílový robotický systém

Dalším krokem je vytvoření 3D modelu lopatky určené pro navařování. Za účelem minimalizace vlivu absolutní chyby robotického ramene jsou jednotlivé profily snímány v rámci několika lineárních přejezdů nad definovanou oblastí obrobku s různým natočením polohovadla tak, aby byla vždy lopatka vhodně orientována pod profilovým snímačem. Výsledný 3D model je získán transformací změřených profilů do souřadnic polohovadla, jejich filtrací a interpolací. Výsledný povrch lopatky je reprezentován množinou jejích řezů s definovaným odstupem, na nichž jsou následně plánovány jednotlivé průjezdní body jednotlivých návarů.

¹ student doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Kybernetika, specializace Modelování, řízení a diagnostika strojů a procesů, e-mail: ovanicek@students.zcu.cz

V dalším kroku jsou nejprve detekovány body náběžné hrany v každém řezu. Následně jsou tyto body použity jako první referenční trajektorie, jejímž posunem po povrchu 3D modelu na obě strany o definovaný odstup jednotlivých návarů je vytvořena primární sada navařovacích trajektorií v souřadnicích polohovadla.

Primární sadu navařovacích trajektorií je dále nutné modifikovat pro naplnění dvou stěžejních požadavků procesu laserového navařování. Prvním z těchto požadavků je stálá svislost laserové navařovací hlavy z důvodu zajištění optimálního dopravení a rozmístění aditivního materiálu ve formě prášku do pracovního bodu procesní hlavy. V první řadě je tedy nutné jednotlivé trajektorie transformovat tak, aby byl navařovaný povrch v každém bodě trajektorie kolmý k ose procesní hlavy resp. laserovému paprsku. Toho je dosaženo otočením každého průjezdního bodu primární navařovací trajektorie v souřadnicích jednoosého polohovadla tak, aby příslušná normála průjezdního bodu směřovala svisle vzhůru. Druhým zásadním požadavkem je vyhnutí se možným kolizím procesní hlavy a navařovaného objektu, ke kterým může v případě lopatek parních turbín docházet zejména v oblasti vazebních prvků, jako je bandáž na konci lopatek či tzv. tie-boss na těle lopatek. V těchto oblastech by totiž při splnění požadavku na kolmost laserového paprsku docházelo ke kolizi mezi procesní hlavou a povrchem lopatek. Pro účely generování nejlepší realizovatelné navařovací trajektorie byl vyvinut tzv. kolizní modul, který na základě detekovaného kolizní povrchu v 3D modelu a



Obrázek 2: Navařená lopatka s vazebním prvkem "tie-boss"

známé geometrie procesní hlavy upravuje směrnici bodů navařovací trajektorie tak, aby se procesní hlava vyhlá kolizi při minimální odchylce od kolmého směru.

Posledním krokem algoritmu generování trajektorií je vyhlazení vygenerovaných trajektorií s důrazem na plynulý vývoj souřadnice natočení jednoosého polohovadla, které zajišťuje postupné natáčení lopatky během procesu navařování na základě vypočtených směrových vektorů průjezdních bodů navařovacích trajektorií.

3 Závěr

Během samotného procesu navařování je celý systém řízen naším softwarem pro navádění robotů, v němž je možné definovat pořadí aplikace jednotlivých návarů a následně spustit celý proces navařování v automatickém režimu. Popsaný systém v současné době již funguje v rámci standardního výrobního procesu firmy Doosan Škoda Power s.r.o. a do současné doby bylo takto navařeno několik set kusů oběžných lopatek různé velikosti i tvaru.

Poděkování

Příspěvek byl podpořen grantovým projektem SGS-2022-022.

Literatura

Vaníček, O., Chaluš, M., Liška, J. (2020) Automatic Navigation System for 3D Robotic Laser Cladding. *IEEE International Carpathian Control Conference (ICCC)*. Poprad, Slovakia.