

SUMMARY

This thesis has discussed various AM processes such as PBF, DED, and FDM utilized in manufacturing. While the PBF processes, in particular SLM, are the most extensively employed due to their superior resolution, the DED processes are not constrained by part size, and can be utilized for repairs. The FDM processes may be as widespread as SLM, but employ only polymers, and instead of high resolution, offer simplicity, reliability, high speed, and low cost. Most common materials utilized in AM include AlSi10Mg, AlSi12, titanium alloys, austenitic and martensitic stainless steel alloys, and carbon fiber reinforced polymers. The recent materials of interest are Inconel 625 alloy and Ultem 9085 polyetherimide, both of which excel in mechanical properties, compared to their analogies. Furthermore, this thesis has discussed the predominant applications of AM in aerospace, such as brackets, structures, engine components, and part consolidation. In addition to these applications, AM can be employed to repair high value components with less damage than conventional manufacturing, and perhaps, further developments of AM can result in digitalization of spare parts. The utilization of AM has resulted in mass, cost, and lead time reduction, however, the limitations of CAD systems and certifications deficiency hinder its widespread utilization and developments. In order to exhibit one of the utilizations of AM technology in aerospace, this thesis has conducted the case study of airplane throttle fixture. An overview of the advanced technologies in aerospace has been provided, as well as the current utilization of additive manufacturing in this industry, including employed materials, and companies associated with aerospace in Estonia. Restrictions and possibilities in the aerospace sector have been researched and presented in a simplified form. A case study has been conducted, which exhibited the implementation of a 3D printed part in an airplane. At the end of this chapter, a conclusion has been drawn along with recommendation for the aerospace industry.

It should be noted that this thesis has been primarily concerned with the manufacturing side of AM, and not all AM processes have been covered. Moreover, as has already been mentioned, AM covers a wide range of topics and is constantly developing, so the information in this thesis may become outdated over time. In addition, the results of Ansys simulations can be inaccurate, due to the above-mentioned structure of 3D printed parts, and to the inexperience of the author in conducting such simulations.

The overall results indicate that the implementation of AM in the aerospace manufacturing sector enables the printing of high-complexity components, which leads to the benefits listed above. Nevertheless, certification issues and AM reliability issues discourage companies from investing significant funds in this technology. As a conclusion to this thesis,

the aerospace industry should not avoid AM technology that is still not mature, but to implement it steadily and to stay abreast of new developments, since when AM reaches the same level as conventional manufacturing does now, the first company to extensively adopt AM will gain a significant competitive edge over its competitors.

KOKKUVÕTE

Selles lõputöös on käsitletud erinevaid tootmises kasutatavaid AM-protseesse, nagu PBF, DED ja FDM. Kuigi PBF-protsess, eriti SLM-i, kasutatakse nende suurepärase eraldusvõime tõttu kõige laialdasemalt, ei piira DED-protseesse osade suurus ja neid saab kasutada remondiks. FDM-i protsessid võivad olla sama laialt levinud kui SLM, kuid kasutavad ainult polümeere ja pakuvad kõrge eraldusvõime asemel lihtsust, töökindlust, suurt kiirust ja madalat hinda. Kõige tavalisemad AM-s kasutatavad materjalid on AlSi10Mg, AlSi12, titaani sulamid, austeniitsed ja martensiitsed roostevabast terasest sulamid ning süsinikkiuga tugevdatud polümeerid. Hiljutised huvipakkuvad materjalid on Inconel 625 sulam ja Ultem 9085 polüeteerimiid, mis mõlemad paistavad oma analoogidega võrreldes mehaaniliste omaduste poolest silma. Lisaks on selles lõputöös käsitletud AM-i valdavaid rakendusi lennunduse tööstuses, nagu kronsteinid, konstruktsioonid, mootori komponendid ja osade ühendamine. Lisaks nendele rakendustele saab AM-i kasutada väärtuslike komponentide parandamiseks, mille kahjustused on tavalisest tootmisest väiksemad, ja võib-olla võib AM-i edasine arendamine kaasa tuua varuosade digitaliseerimise. AM-i kasutamine on kaasa toonud massi, kulude ja teostusaja vähenemise, kuid CAD-süsteemide piirangud ja sertifikaatide puudused takistavad selle laialdast kasutamist ja arendusi. Selleks, et eksponeerida üht AM-tehnoloogia kasutusvõimalusi lennunduse tööstuses, on käesolevas lõputöös läbi viidud lennuki gaasihoovastiku juhtumiuuring. Antud on ülevaade arenenud tehnoloogiad lennunduses, lisaainete tootmise praegusest kasutusest selles tööstusharus, sh kasutatud materjalidest ning lennunduse valdkonnaga seotud ettevõtetest Eestis. On uuritud ja lihtsustatud kujul esitatud piiranguid ja võimalusi lennundussektoris. Läbi on viidud juhtumiuuring, mis näitas 3D prinditud detaili rakendamist lennukis. Selle peatüki lõpus on tehtud järeldus koos soovitusena lennundustööstusele.

Tuleb märkida, et käesolev lõputöö on käsitletud eelkõige AM-i tootmiskülge ning kõiki AM-protseesse pole käsitletud. Pealegi, nagu juba mainitud, hõlmab AM väga erinevaid teemasid ja areneb pidevalt, mistõttu võib selles lõputöös sisalduv teave aja jooksul vananeda. Lisaks võivad Ansysi simulatsioonide tulemused olla ebatäpsed, tingituna ülalmainitud 3D-prinditud osade ülesehitusest ja autori kogematusel selliste simulatsioonide läbiviimisel.

Üldised tulemused näitavad, et AM rakendamine lennunduse tööstuses võimaldab trükkida väga keerukaid komponente, mis toob kaasa ülaltoodud eelised. Sellegipoolest heidutavad sertifitseerimise probleemid ja AM usaldusvärsuse probleemid ettevõtteid sellesse tehnoloogiasse märkimisväärseid vahendeid investeerimist. Lõputöö kokkuvõtteks võib öelda, et lennunduse tööstus ei peaks vältima veel mitteküps AM-tehnoloogiat, vaid seda

järjekindlalt juurutama ja olema kursis uute arengutega, sest kui AM jõuab tavatootmisega samale tasemele, on esimene ettevõtte. AM-i ulatuslik kasutuselevõtt saavutab oma konkurentide ees märkimisväärse konkurentsieelise.