

KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli leida alumiiniumi otshõõrdkeevituse olulised parameetrid, mis mõjutavad kõige enam keevisliite kvaliteeti ning hinnata nende mõju ulatust ning tähtsust arvestades liidete defekte ning mehaanilisi omadusi. Lõpptulemuseks oli tuua kõige optimaalsemad parameetrid alumiiniumsulami AW6082 T6 otshõõrdkeevitamiseks. Neid parameetreid ei saa kasutada teiste materjalide keevitamise puhul samade tulemuste saamiseks, sest materjalid erinevad struktuuri ning lisandite poolest.

Otshõõrdkeevituse uuritavateks parameetriteks ning nende vahemik valiti arvestades teoreetilist käsitlust ja varasemalt tehtud katseid ning vastavalt olemasoleva aparatuuri võimekusele. Katsete käigus ei olnud võimalik arvestada allasurumisjõu, erinevate otsikute kuju ja geomeetriaga seega tuleks edaspidiste uuringute käigus võimalusel neid eraldi uurida. Antud töös olid uuritavateks parameetriteks tööriista pöörlemiskiirus ning kaldenurk, freespingi ettenihe ning keevitamise sügavus. Parimate parameetrite väljaselgitamiseks tehti tõmbekatsed, kus järeldus, et keevitusprotsess ise vähendas oluliselt tõmbetugevust, kuid erinev parameetrite valik ning defektid ei omanud mõju tõmbetugevusele. Tõmbekatse analüüsist järeldus, et mida väiksem on valitud pöörlemiskiirus seda hapram on metall ning väiksem katkevenivus. Kõik katsekehad purunesid termilise ja termomehaanilise mõju tsooni piiril, kus defektiga katsekeha purunes kõige lähemalt keevitusele, sest seda võis mõjutada nõrgem side keevisõmbluse ning termomehaanilise tsooni vahel ehk osakesed olid vähem difundeerunud ühest tsoonist teise.

Arvestades antud katsete ja andmetöötluse analüüsi leiti iga üksiku parameetri mõju defekti laiustele ning kõrgustele. Defektide tekkimisel oli oluline välja selgitada nende potentsiaalne tekkepõhjus ning võimalikud abinõud nende vältimiseks. Vastavalt defektide suurustele järjestati parameetrid olulisuse järjekorras. Leiti, et kõige olulisemaks defektide laiuse ja kõrguse suuruse mõjutajaks oli kaldenurk. Ilma kallutusnurgata liikumisel on madalam keevitamistemperatuur mille tõttu ei pehmene materjal piisavalt. Suurema kaldenurga abil tekib suurem hõõrdumine õla all, mis tekitab kõrgema temperatuuri, mis omakorda tekitab vähem viskoosema materjali. Pehme materjal voolab ühtlasemalt ning liigub kiiremini mistõttu täidetakse tööriista poolt tehtud keevitusvagu lihtsamini.

Tähtsuset teiseks parameetriks oli sügavus, mis on üldjuhul sõltuvuses pöörlemiskiirusest ning ettenihkest. Mida kiiremini tööriist pöörleb seda väiksem on võimalik valida sügavus. Kui on valitud

suur ettenihe, siis peab olema ka suur allasurumisjõud, kuid võib valida väiksema sügavuse. Katsete analüüsist järelalus, et mida suurem on sügavus, seda väiksemad olid vaadeldavad defektid. Põhjuseks on suurema sügavuse korral suurem rakendatav allasurumisjõud, mille tõttu materjal täidab paremini keevisvanni. Teisest küljest ei tohiks valida liiga suurt sügavust, sest õlg ei tohi olla sügavamal kui 0,2 millimeetrit detaili ülemisest pinnast, muidu tekib liiga palju lisamaterjali keevituse pinnale, mis vajab järeltöötlust.

Ettenihke erinevatel väärtustel oli oluline mõju defektide laiustele, kuid väike mõju defektide kõrgustele. Analüüsi tulemusel selgus, et valida tuleks suurem ettenihe. Keskmise tera suurus väheneb ettenihke suurenedes, mis vähendab defektide suurust. Samas võivad liiga suurel ettenihkel koos valesti valitud kaldenurgaga tekkida tunneli defektid. Valides liiga aeglane ettenihe võivad tekkida augud ja tühimikud lihtsamini, sest materjal ei segune ühtlaselt. Need väikesed tühimikud vähendavad soojuse ülekandumist ja muudavad mikrostruktuuris tera suuruse suuremaks. Lõpptulemusena leiti, et optimaalne ettenihe on väärtustel 250 kuni 400.

Pöörlemiskiiruse mõju defektide suurustele oli parameetritest kõige väiksem. Optimaalsemaks oli suurem pöörlemiskiirus, sest kvaliteetse keevitusliite tekitamiseks on vajalik, et tööriista ümber olev materjal on piisavalt kuum, et tekkiks laialdane plastne voolamine, mis täidaks keevitusvaio. Pöörlemiskiirus oli ettenihkega tihedalt seotud. Valides liiga kiire ettenihke väiksema pöörlemiskiirusega võivad tekkida tühimikud ning suuremad defektid. Samas võib väga suurte pöörlemiskiirustel kasvada tera suurus keevises seega tuleks valida optimaalne pöörlemiskiirus. Analüüsi tulemusena oli selleks 1400 pööret minutis.

Töös toodi välja negatiivsete kombineeritud parameetrite omavahelised suhted, mis valesti valitud parameetrite valikul võimendasid defektide suuruseid. Tehti korrelatsioonianalüüs, mille tulemused kattusid suurel määral varasema üksikute parameetrite analüüsiga. Samuti tehti analüüs positiivsete kombineeritud parameetrite korral, kus leiti, et ettenihe oli vähemoluline parameeter, kuid arvestades eelneva analüüsi tulemusi omas siiski arvestatavat mõju. Lõpptulemusena leiti optimaalsed kombineeritud parameetrid alumiiniumsulami AW6082 T6 otshõõrdkeevitusel. Nendeks olid ettenihe 250 kuni 400 mm/min, kaldenurk 2 kraadi, tööriista pöörlemiskiirus 1400 pööret minutis ning tööriista sügavus 3,5 millimeetrit.

SUMMARY

The purpose of this study is to determine optimal friction stir welding parameters for welding aluminium and to find out which impacts the weld quality the most. The research evaluates the impact and importance of these parameters based on the defects of joint and mechanical properties. The goal of this study is to find the most optimal parameters for welding aluminium alloy AW6082 T6 with friction stir welding method. Due to the fact that the materials have different properties, the welding parameters are also different.

The parameters and their range were chosen by taking into account theoretical knowledge, previous experiments and the capability of available devices. Plunge force, different pin shapes and their geometry were not considered and should be researched in future experiments. The impact of the rotational speed of the tool, tool tilt, tool traverse speed and plunge depth were investigated. Tensile tests were carried out to find the most optimal parameters which indicated that welding process itself decreased tensile strength by a big margin. Different parameters and defects had no effect on tensile strength. The tensile strength tests showed that choosing slower rotation speed changes the material more brittle and decreases the elongation. All samples broke from the boundary of heat-affected and thermomechanically affected zone, except the test sample with the defect, which broke the closest to the weld nugget. This could have been caused by a weaker bond between weld nugget and thermomechanically affected zone which means that the materials were less diffused between these zones.

The impact to defects width and height of every single parameter was found by considering the test results and data analysis. It was very important to pinpoint the reason of defect formation and to suggest solutions to avoid them. Based on the size of the defects the parameters were sorted from the most important to least important. The study found out that the most important and impactful parameter for decreasing defect sizes was tool tilt. Without tool tilt the welding temperature was lower and the material was not plasticized enough. Bigger tool tilt creates increased friction under the shoulder that creates higher temperature. This means that the material becomes less viscous. Plasticized material flows more uniformly and rapidly and fills the weld.

The second most important parameter was plunge depth, which was dependant on rotation speed and traverse speed. It is possible to choose lower plunge depth as the tool is rotating faster. If the traverse speed is high then the plunge force has to be high as well, but the plunge depth could be

chosen smaller. Test results showed that when choosing larger plunge depth, the defects became smaller, due to the larger plunge force at deeper plunge depth which caused better filling of the weld. On the other hand, too large plunge depth is not optimal because if the shoulder is deeper than 0,2 millimetres from the material upper surface, then flash is created to the surface of the weld which needs postprocessing.

Different traverse speed values had an important effect on defects width but a small effect on its height. The experiment indicated that choosing larger traverse speed had better results. The average grain size is reduced with increasing traverse speed, which in turn lowers the size of the defects. On the other hand, by choosing high traverse speed with incorrectly chosen tool tilt the probability of tunnel effect is increased. By choosing slower traverse speed the holes and voids form easier because the material does not mix uniformly. These small voids decrease the heat transfer and increase the grain size in the microstructure. The final optimal proposed traverse speed was 250 to 400 mm/min.

Rotational speed had the lowest effect on defect size. Higher rotational speed values were optimal, because in order to make high quality weld the material surrounding the tool has to be hot enough to make wide-spread plasticized flow that fills the weld. Rotational speed is closely affected by traverse speed. In case of large traverse speed with slower rotational speed the defects are larger and voids may appear in the weld. Very high rotational speed increases the grain size in the weld, which means that optimal rotational speed must be chosen. The analysis revealed optimal rotational speed to be 1400 revolutions per minute.

The study brought out the connections between negatively combined parameters which magnified the defect sizes. Correlation analysis was carried out and its results coincided within a large margin with previous findings from the analysis of single parameters. Also, the analysis of positive combined parameters was conducted, which indicated that traverse speed is not that impactful parameter but according to previous findings has reasonable effect. After analysis and consideration, the most optimal parameters were determined for friction stir welding aluminium alloy AW6082 T6. The optimal parameters were traverse speed between 250 to 400 mm/min, with tool tilt of two degrees, rotational speed of 1400 revolutions per minute and plunge depth of 3,5 millimetres.