

# Vliv segmentových strategií na mechanické vlastnosti velkoformátových dílů

David Chalupa  
Ústav konstruování



## VYMEZENÍ PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

**Hybridní technologie**

šnekový extruder + KUKA KR8 1620  
obráběcí vřeteno

**Typické aplikace**

Výroba trupů lodí    Formy kompozitních dílů

**PROBLÉM**  
Studený spoj

Tisk na vychladlý povrch

**Pevnost tisknutých velkoformátových dílů**

100%  
80%  
60%  
40%  
20%  
0%

Ve směru vrstev    Kolmo na vrstvy    Studený spoj

**ŘEŠENÍ**

Strategie obrábění a následné přetisknutí tvarové drážky

**CÍL PRÁCE**

Cílem práce bylo objasnit vliv výrobních strategií na pevnost segmentových spojů

PP30GF

Střídání tisku a obrábění umožňuje výrobu složitých velkoformátových dílů, ale při navazování výtisku na vychladlý povrch vzniká studený spoj s nízkou pevností. Práce proto řeší hybridní tvarový spoj mezi segmenty a hodnotí vliv jeho geometrie a parametrů přetisknutí na výslednou pevnost u výtisků z polypropylenu s příměsí skelných vláken.

## ÚPRAVY PRACOVÍŠTĚ

**MODULÁRNÍ TISKOVÁ PLATFORMA**

**ÚPRAVY EXTRUDERU**

Nová násypka    Automatická výměna nástroje  
Chlazení tepelné bariéry    Systém chlazení stopy

Aby bylo možné experimentálně ověřit segmentové strategie, bylo nutné upravit pracoviště, které během práce procházelo přestavbou z aditivního na hybridní aditivně-subtraktivní systém. Úpravy zahrnovaly návrh a realizaci modulární tiskové platformy, úpravy extruderu, chlazení a přípravu systému pro automatickou výměnu nástrojů.

## METODIKA A PRŮBĚH VÝZKUMU

**Modelové těleso**

Sekundární segment

Primární segment

**Segmentový spoj – zkoumané parametry**

**Hloubka drážky**  
Vzdálenost dna drážky od horního povrchu segmentu  
 $h_g$ : 2–4 mm

**Šířka drážky**  
Šířka drážky v úrovni dna drážky  
 $w_g$ : 3–4,5 mm

**Přeextruze**  
Poměr vtačeného objemu materiálu vůči objemu drážky  
 $c_p$ : 100–140 %

**Sady vzorků**

1 modelové těleso = 4 sady vzorků = 4 sady parametrů

**Výroba modelových těles a vzorků**

**Tahová zkouška**

Vzorky dle ISO 527-4

**Mikroskopická analýza**

Metodika byla založena na výrobě modelových segmentových těles s proměnnou šířkou drážky, hloubkou drážky a mírou přeextruze při jejím zaplnění. Z vyrobených těles byly vyrobeny sady zkušebních vzorků, jejichž pevnost byla ověřena tahovou zkouškou a u vybraných vzorků doplněna mikroskopickou analýzou kvality spoje.

## VLIV PARAMETRŮ NA PEVNOST SPOJE

**Vliv hloubky drážky**

Dno drážky ležící uvnitř tiskové stopy vede k vyšší pevnosti spoje

Průměr maximálního modelovaného napětí [MPa]

Výška stopy = 2 mm

Hloubka drážky [mm]

**Vliv šířky drážky**

Větší nosná šířka substrátu vede k vyšší pevnosti spoje

Šířka drážky [mm]

Šířka drážky [mm]

**Vliv cílené přeextruze**

Cílená přeextruze drážky vede k vyšší pevnosti spoje

Cílená přeextruze [%]

Nejvyšší pevnosti bylo dosaženo při poloze dna drážky přibližně uprostřed tiskové stopy. S rostoucí šířkou drážky pevnost klesala, protože se zmenšovala nosná plocha původního substrátu, ve kterém docházelo k porušení. Cílená přeextruze zvýšila tlak taveniny v drážce a zlepšila její zaplnění, čímž podpořila pevnost výsledného spoje.

## VLIV VÝROBNÍ NEPŘESNOSTI

**Mechanismus vzniku**

Tryska při plnění drážky doléhá na horní plochu segmentu. **Optimální stav**

Tryska je výškově vychýlena od horní plochy segmentu. **Nepřesnost - výšková odchylka**

**Velikost odchylky**

Maximální obecné napětí [MPa]

Výšková odchylka [mm]

**Mechanismy porušení**

S výškovou odchylkou    Bez výškové odchylky

**Vliv na pevnost**

Maximální obecné napětí [MPa]

Stejně parametry vzorků, odlišná pevnost v závislosti na velikosti odchylky.

**Mikroskopická analýza**

Během experimentu byla odhalena výrobní nepřesnost, která zásadně ovlivnila pevnost spoje. Při oddálení trysky od optimální polohy nebyla tavenina dostatečně zatlačena do drážky, nevznikl potřebný tlak a spoj se vytvořil nekvalitně. Odchylka byla měřitelná mikroskopickou analýzou a projevila se poklesem pevnosti i změnou mechanismu porušení.

## ZÁVĚR A POROVNÁNÍ

✓ Popsán vliv šířky a hloubky drážky na pevnost segmentového spoje

👍 Prokázán pozitivní vliv přeextruze na únosnost segmentového spoje

🎯 Identifikován zásadní vliv výrobní nepřesnosti na únosnost spoje

**65 %**  
Obnovení únosnosti kontinuálního tisku

**Porovnání pevností zkoumaných vzorků**

Maximální obecné napětí [MPa]

■ Kolmo na vrstvy    ■ Studený spoj    ■ Obroběný studený spoj    ■ Nejlepší sada

Studený spoj snížil pevnost rozhraní přibližně na 20 % pevnosti kontinuálního tisku. Navržená hybridní strategie obnovila u nejlepší sady asi 65 % původní únosnosti, tedy přibližně čtyřnásobek pevnosti běžného studeného spoje.