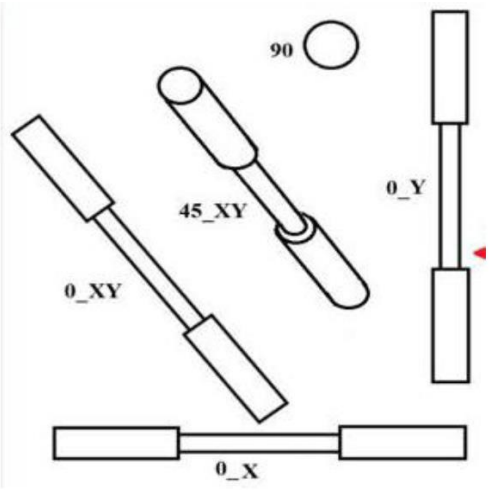
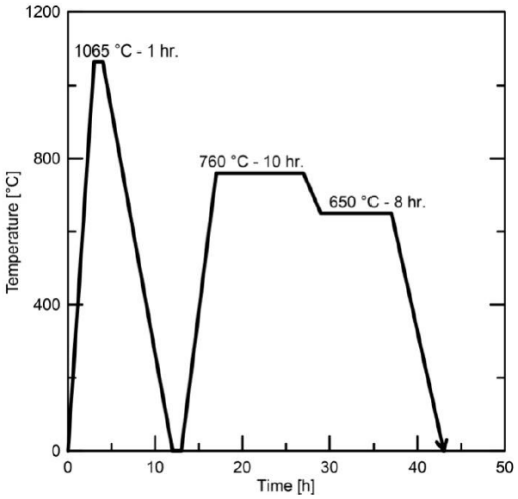


Obr. 1: Směry tisku



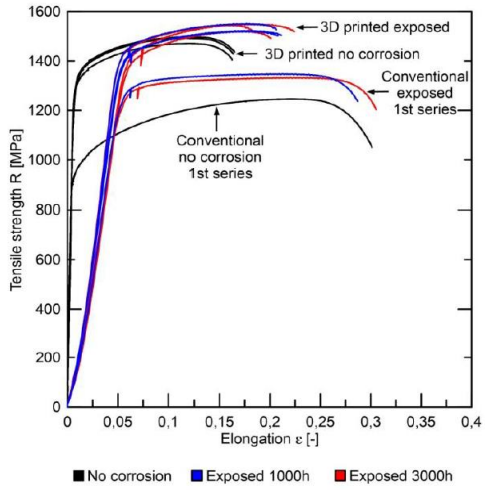
Obr. 2: Tepelné zpracování

Mechanické vlastnosti

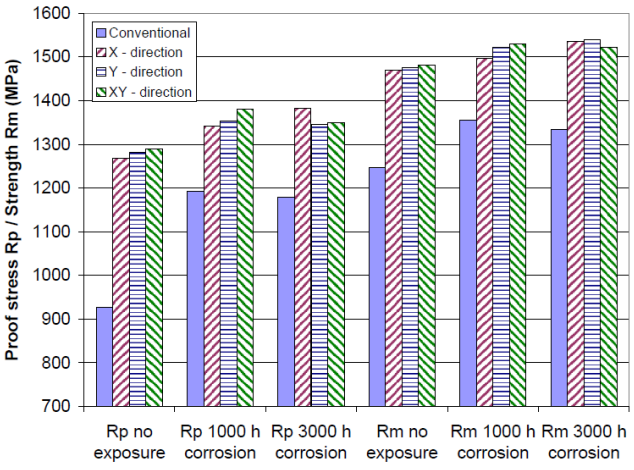
V rámci studia krátkodobých mechanických vlastností byl ověřován vliv expozice v korozní atmosféře při teplotě 650 °C na mechanické vlastnosti [1]. Korozní atmosféra byla směs páry s argonem. Doba expozice v korozní atmosféře byla 1 000 a 3 000 hodin.

Na obr. 3 jsou ukázány deformační křivky získané při tahové zkoušce prováděných při pokojové teplotě. Na obr. 4 jsou hodnoty meze pevnosti a meze kluzu pro jednotlivé skupiny vzorků. Z obou obrázků je zřejmé, že směr tisku neměl na výsledky téměř žádný vliv. Vliv je zřejmý, pokud jde o vzorky vystavené korozní atmosféře, hodnoty exponovaných vzorků jsou ve všech případech vyšší než u vzorků bez předchozí korozní expozice. Doba expozice v korozní atmosféře neměla na výsledky výrazný vliv. Stejný jev můžeme pozorovat u naměřených hodnot tvrdost HV30 – obr. 5. Výsledky korozně exponovaných vzorků mají výrazně vyšší tvrdost, ale směr tisku hodnotu nijak neovlivňuje.

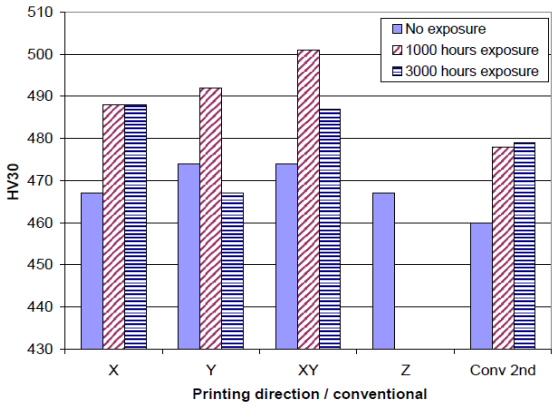
Výsledky jedné skupiny vzorků konvenčně vyráběné oceli jsou nezvykle nízké. Typická hodnota takovéto ocele je přibližně 1 300 MPa nebo vyšší. Tato skupina vzorků byla dodatečně tepelně zpracována – obr. 2, což je pravděpodobně příčina těchto výsledků.



Obr. 3: Deformační křivky získané při zkoušce tahem



Obr. 4: Porovnání mechanických vlastností



Obr. 5: Tvrdost HV30

Creepové vlastnosti

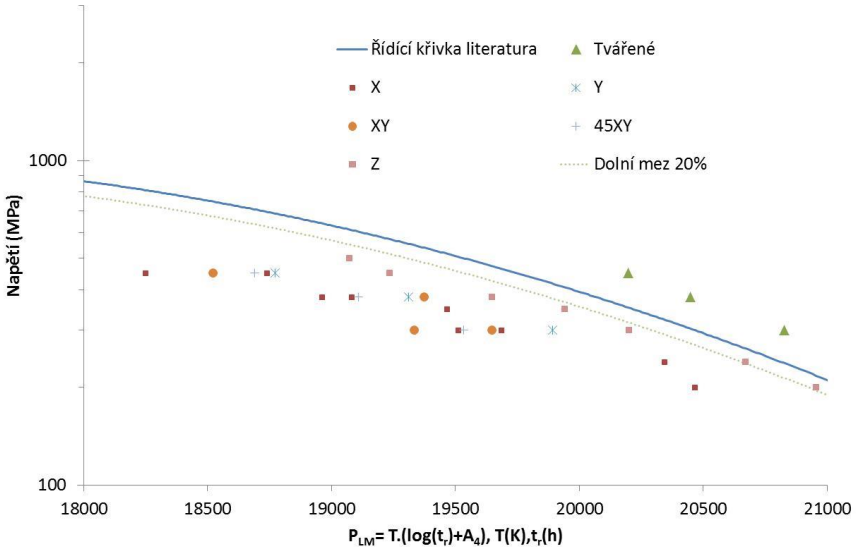
Cílem experimentů bylo porovnání creepových vlastností konvenčně tvářeného materiálu INC 718 a vzorků materiálu INC 718 získaného 3D tiskem s různou technologickou historií.

Pro stanovení parametrů zkoušek byla použita data materiálu HAYNES 718 alloy uvedená na internetových stránkách firmy HAYNES International [2]. Pro vyhodnocení literárních dat byl použit Seifertův model [3] s Larson–Milerovým parametrem, který lze zapsat ve tvaru:

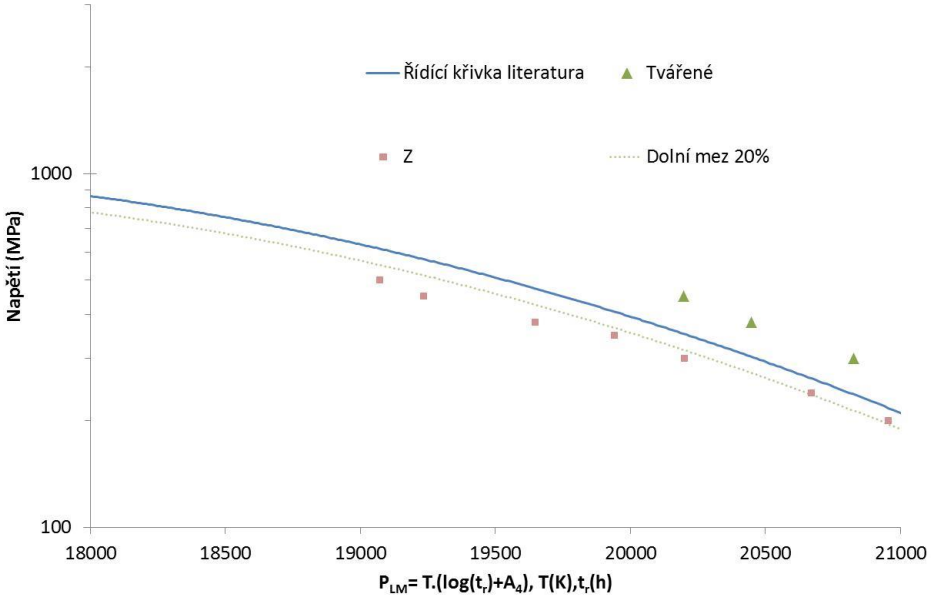
$$\log\sigma = A_1 + A_2 P_{LM} + A_3 P_{LM}^2 , \qquad (1)$$

kde $P_{LM} = T \cdot (\log(t_r) + A_4)$, σ je napětí (MPa), T je teplota (K), t_r je doba do lomu (h), A_1 až A_4 jsou materiálové konstanty.

Zkoušky tečení probíhaly při teplotách 650 a 700 °C a při napětí v rozmezí 200 až 450 MPa. Na obr. 6 jsou uvedeny všechny výsledky zkoušek v porovnání s křivkou literárních dat a s výsledky konvenčně vyráběného materiálu. Z uvedených výsledků je zřejmé, že pevnost při tečení vzorků získaných 3D tiskem je nižší, než jsou literární data a výrazně nižší než pevnost při tečení konvenčně vyráběné slitiny. Varianta vzorků tištěných v ose Z, se jeví jako nejlepší ze sledovaných variant. Na obr. 7 jsou vyneseny pouze výsledky vzorků Z.



Obr. 6: Porovnání výsledků všech zkoušek s literárními daty



Obr. 7: Porovnání výsledků zkoušek vzorků se směrem tisku Z s literárními daty

Závěr

V článku byly předloženy výsledky experimentálního programu zaměřeného na studium mechanických vlastností materiálu INC 718 vyrobeného metodou DMLS (Direct Metal Laser Sintering). Výsledky byly porovnávány z hlediska směru tisku a v kontextu s vlastnostmi konvenčně vyráběného materiálu.

Krátkodobé mechanické vlastnosti a tvrdost materiál nebyly výrazně ovlivněny směrem tisku, ale byly výrazně ovlivněny předchozí korozní expozicí. Vzorky tištěného materiálu dosahovaly lepších mechanických vlastností než vzorky konvenčně vyrobeného materiálu.

Creepové vlastnosti dosahovaly u tištěného materiálu výrazně nižších hodnot než u tvářeného materiálu. Pouze u vzorků se směrem tisku Z (směr kolmý na základní rovinu) se výsledky zkoušek tečení blížily k literárním hodnotám.

Literatura

[1] Černý, I., Kec, J., Poloch, A., Zetek, M. (2020): *Mechanical Properties and High-Cycle Fatigue-strength of 3D Printed Inconel 718 Alloy and Effects of High Temperature Exposure to Corrosive Atmosphere*.

[2] HAYNES International (2020): *Creep and Stress-Rupture Strengths, HAYNES® 718 Sheet, Age-Hardened*, [online]. Available at: http://www.haynesintl.com/alloys/alloy-portfolio_/High-temperature-Alloys/haynes718-alloy/creep-and-stress-rupture-strengths.aspx

[3] Seifert, W., Melzer, B. (1992): *Rechnerische Auswertung von Zeitstandversuchen am Beispiel des Stahles 13CrMo4-4.15*. Vortragveranstaltung „Langezeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe“, Düsseldorf.