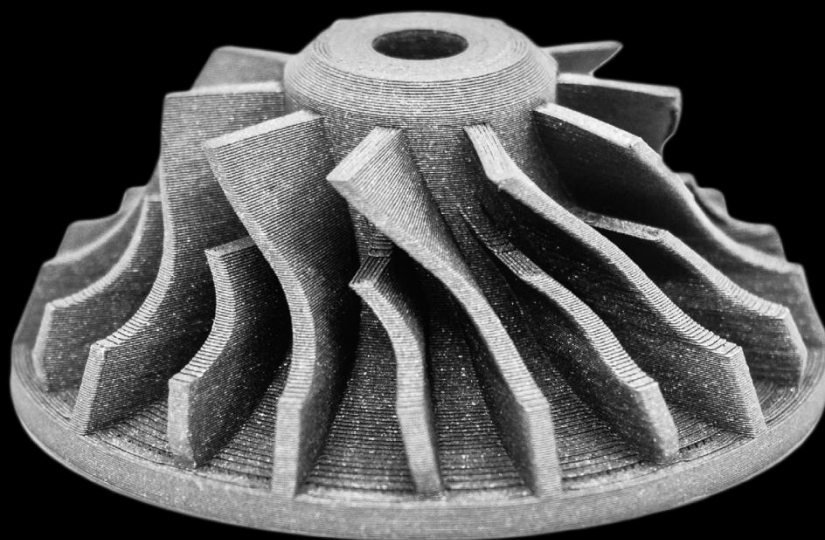




Průvodce k navrhování pro 3D tisk s kovy

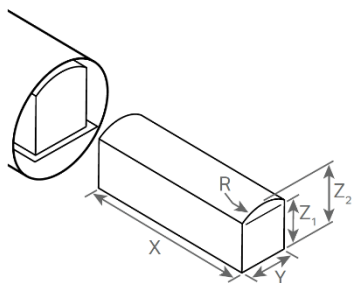


Referenční přehled k navrhování pro kov X

Není-li uvedeno jinak, uvedené rozměry jsou takové, jak jsou navrženy pro váš konečný díl. Tyto příručky slouží jako doporučení a nemusí odrážet všechny implementace, protože 3D tisk je proces závislý na geometrii.

Maximální konečná velikost dílu

Jedná se o maximální rozměry jednoho dílu vyráběného systémem Metal X po spékání, včetně měřítkových faktorů, objemu tisku, podpůrné plochy (raftu) dílu a držáku pouzdra.

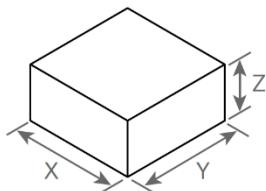


	Konfigurace složeného pouzdra Sinter-2		Konfigurace jednoduchého pouzdra Sinter-2	Sinter-1
	Složená horní deska pouzdra	Složená dolní deska pouzdra	Samotná spodní deska pouzdra	Standardní deska pouzdra
X:	235,0 mm (9,25")	235,0 mm (9,25")	235,0 mm (9,25")	235,0 mm (9,25")
Y:	181,6 mm (7,15")	75,0 mm (2,95")	123,3 mm (4,85")	68,3 mm (2,69")
Z2:	93,9 mm (3,70")	56,0 mm (2,20")	161,9 mm (6,37")	80,9 mm (3,19")
Z1:	37,9 mm (1,49")	Netýká se	141,3 mm (5,56")	69,2 mm (2,72")
R:	102,5 mm (4,04")	Netýká se	102,5 mm (4,04")	55,5 mm (2,19")



Konfiguraci složeného pouzdra používejte pro série částí a širokých dílů a konfiguraci jednoho pouzdra používejte pro vysoké díly.

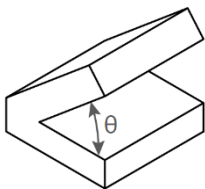
Minimální rozměry dílu



X: 2,0 mm (0,079")
Y: 2,0 mm (0,079")
Z: 1,3 mm (0,049")

Minimální velikost dílu je omezena na šířku a výšku extruze každého extrudovaného vlákna. Rozměry jsou odvozeny od minimálního počtu horních vrstev, spodních vrstev a vnějších stěn potřebných pro úspěšný tisk dílu.

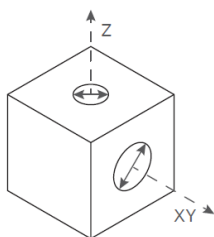
Nepodepřený převis



17-4 PH, A2, D2, H13 Inconel, měď
 θ : 45° θ : 50°

Jedná se o minimální úhel k vodorovné rovině, při kterém lze prvek dílu tisknout, aniž by jej bylo nutné přidržovat podpěrami. Eiger bude generovat podpěry pro všechny převisy s úhly nižšími než θ .

Minimální průměr otvoru



XY: 1,5 mm (0,059")
Z: 1,0 mm (0,039")

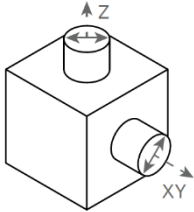
Otvory s příliš malým průměrem se mohou při tisku zavřít nebo vytisknout nepřesně. Horizontální povrchové otvory (Z) se tisknou přesněji než vertikální povrchové otvory (XY).

Referenční přehled k navrhování pro kov X

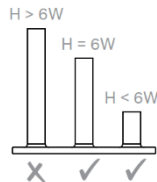
Minimální průměr sloupku

XY: 3,0 mm (0,118")

Z: 3,0 mm (0,118")



Sloupky s příliš malým průměrem se nemusí vytisknout nebo spéci přesně. Zvažte přidání zaoblení rohů do základů sloupků, abyste snížili potenciál ke smyku v surovém stavu.



Důležitá poznámka: Vyvarujte se volně stojících prvků s výškou (V) větší než šestinásobek jejich šířky (Š). Ty jsou více náchylné k naklánění během spékání. Pro jejich podepření zabudujte přirozeně stabilní prvky, jako například žebra nebo úhly zkosení.

Minimální gravírované prvky

Prvky vrstvy Z

H: 0,13 mm (0,005")

Š: 0,50 mm (0,019")

Horizontální prvky XY

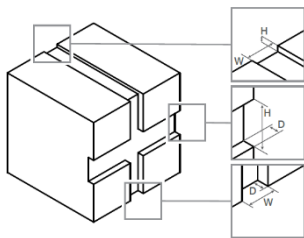
V: 1,5 mm (0,059")

H: 0,5 mm (0,019")

Vertikální prvky XY

Š: 0,5 mm (0,019")

H: 0,5 mm (0,019")



Gravírovaný prvek je prvek, který je zapuštěný pod povrchem modelu. Mezi běžné příklady patří písmo a textura. Gravírované prvky se mohou smísit se zbytkem modelu, pokud jsou příliš malé.

Minimální reliéfní prvky

Prvky vrstvy Z

V: 0,13 mm (0,005")

Š: 1,0 mm (0,059")

Horizontální prvky XY

V: 1,3 mm (0,049")

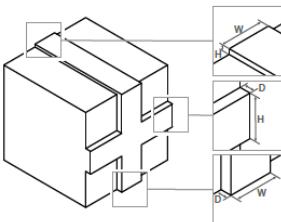
H: 0,5 mm (0,019")

Vertikální prvky XY

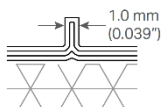
Š: 1,0 mm

(0,059")

H: 0,5 mm (0,019")



Reliéfní prvek je prvek, který vystupuje nad povrch modelu. Mezi běžné příklady patří písmo a textura. Reliéfní prvky se mohou smísit se zbytkem modelu, pokud jsou příliš malé.



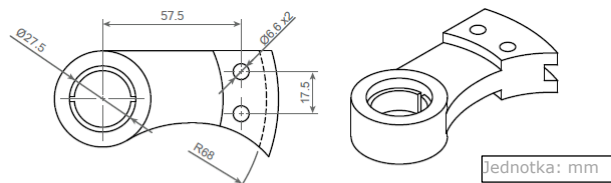
Důležitá poznámka: Aby se zabránilo mezerám v prvcích o šířce menší než 2,0 mm (0,079"), navrhujte reliéfní prvky tak, aby se rovnaly sudým násobkům 0,25 mm (0,01) šířky jednoho vytlačení kovu po spékání.

Optimalizace pro tisk

Při navrhování svého dílu zvažte, jak jej lze optimalizovat pro proces tisku. Níže jsou uvedeny čtyři faktory, které je třeba mít na paměti při navrhování:

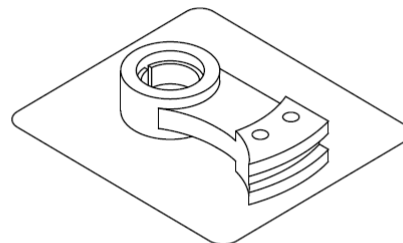
1. Určení rozhodujících rozměrů

3D tiskárny mají vyšší přesnost v rovinách rovnoběžných s tiskovou deskou. Jaké jsou vaše kritické rozměry nebo prvky?



2. Maximalizace kontaktu s tiskovou plochou

Větší povrchová výměra na tiskové ploše minimalizuje podpěry a zlepšuje adhezi tiskové plochy. Které čelo vašeho dílu je v kontaktu s tiskovou plochou?



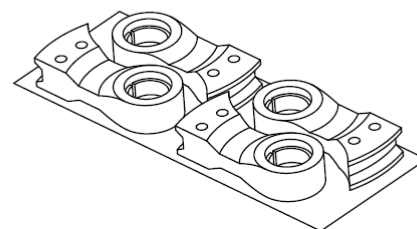
3. Snížení počtu podpěr

Méně podpěr zkracuje dobu tisku a zpracování. Jak můžete připravit návrh, abyste minimalizovali počet podpěr? Jsou ve vašem dílu přístupné podpěry?



4. Optimalizujte svůj výrobní postup

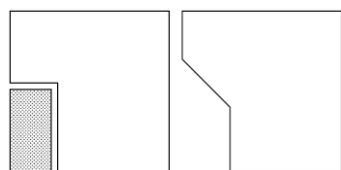
Zvažte celkový výkon. Jak budou díly baleny v peci, aby se snížily náklady na dávku? Dokáže váš harmonogram výroby zahrnout mnohem delší časy tisku/mytí/sušení u plných výplňových dílů? Kdy začít s procesy tisku / spékání, abyste optimalizovali výkon?



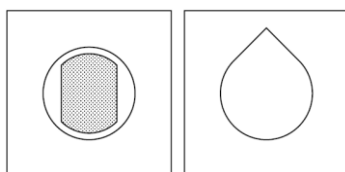
Úprava převisů tak, aby se optimalizoval počet podpěr

Podpěry jsou nutné, aby se zabránilo zhroucení převisu během tisku a spékání. Zvažte, kde budou vaše díly vyžadovat podpěry a co můžete udělat, abyste minimalizovali počet podpěr a zkrátili dobu tisku. Zkontrolujte, zda podpěry na vašem dílu lze před tiskem snadno odstranit. Pokud ne, zvažte úpravu převisů, abyste zlepšili odstraňování podpěr, nebo použijte oddělitelné podpěry AlphaFeature (viz příručka ke konstrukcím podpěr Alpha), abyste podpěry rozlomili a usnadnili vyjmutí každého segmentu.

Odstranění podpěr

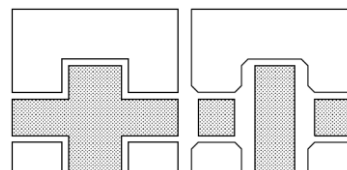


Zkosení malých převisů
Viz maximální nepodepřený převis, str. 2

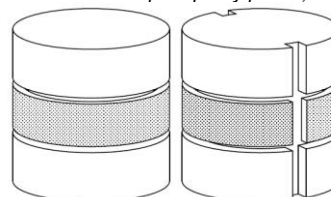


Otvory TeardropXY pro uvolnění kanálů

Zjednodušení demontáže podpěr

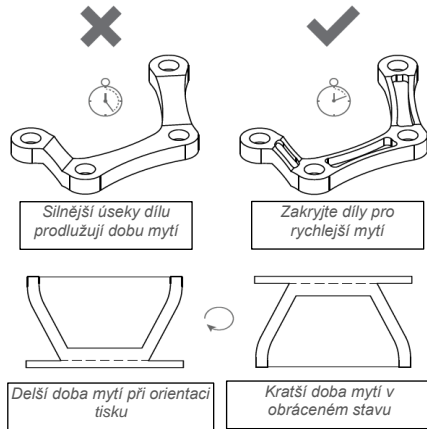


Rozlomení podpěr se zkosením na hranách
Viz maximální nepodepřený převis, str. 2



Přidejte štěrbinu do jednotlivých segmentů

Optimalizace pro mytí



Snižte tloušťku silných dílů

Čím je váš díl silnější, tím delší dobu bude trvat jeho mytí. Snižte velké objemy a zvětšete plochu tak, aby se minimalizovala doba, po kterou vaše díly budou v mytí. Pokuste se udržovat stále stejnou tloušťku stěny v celém vašem dílu.

Mytí dílů ve tvaru misky vzhůru nohama

Díly ve tvaru misky se myjí vzhůru nohama (nemusí se měnit orientace tisku). Mycí rozpouštědlo je lehčí než pojivový materiál. Rozpouštědlo proniká do misky, když je vzhůru nohama, což vede ke kratší době mytí.

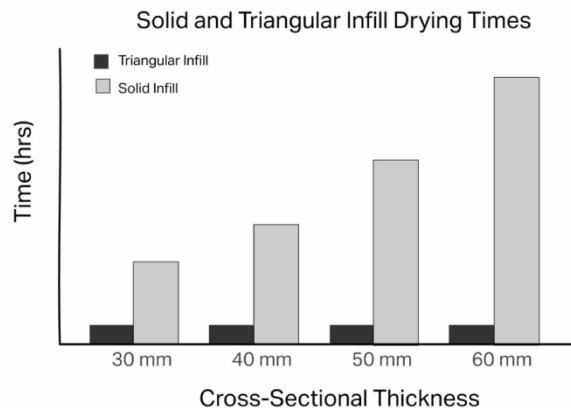
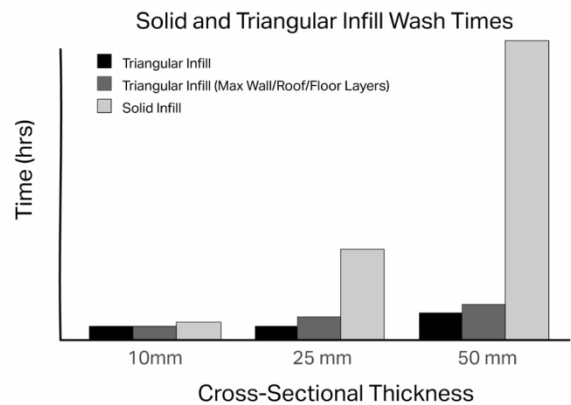
Trojúhelníková vs. plná výplň vs. silné stěny

Nastavení tisku rovněž ovlivní dobu mytí a sušení. Sušení silnějších stěn a spodních vrstev bude trvat déle než u standardních trojúhelníkových výplňových dílů, ale mytí plných výplňových dílů trvá značně déle než u obou těchto typů; software Eiger při odhadování doby mytí počítá s tloušťkou dílu a výplní. Při plánování výroby dílů s plnou výplní vždy ve vašem časovém rámci počítejte s prodlouženým cyklem mytí/sušení. Doby mytí jsou silně závislé na prvku s nejsilnějším příčným průřezem surového dílu. Graf doby mytí vpravo poskytuje přehled toho, jak bude plocha příčného průřezu standardních trojúhelníkových výplňových dílů ovlivňovat váš pracovní postup ve srovnání s nestandardními nastaveními. Plné výplňové díly výrazně prodloužují dobu mytí se zvětšováním této plochy.

Graf v pravé dolní části ukazuje, jak je doba sušení ovlivňována odchylkou od výchozích nastavení. Doba sušení trojúhelníkových výplňových dílů je nezávislá na rozměru dílu, ale výběr plné výplně může dobu sušení výrazně prodloužit, zejména u větších dílů.

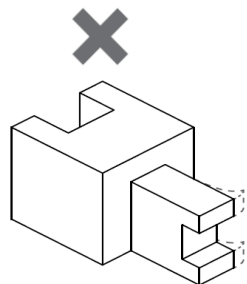
Více informací o procesu mytí naleznete v naší podpůrné dokumentaci.

(Upozorňujeme, že tyto grafy nejsou v měřítku. Vždy dodržujte dobu mytí a sušení stanovenou systémem Eiger.)

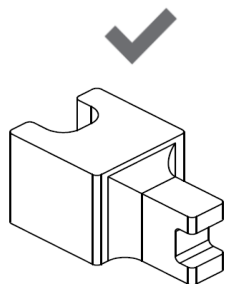


Solid and Triangular Infill Wash Times	Doby mytí plných a trojúhelníkových výplní
Triangular Infill	Trojúhelníková výplň
Triangular Infill (Max Wall/Roof/Floor Layers)	Trojúhelníková výplň (max. stěna / horní vrstva / spodní vrstvy)
Solid Infill	Plná výplň
Time (hrs)	Čas (h)
Cross-Sectional Thickness	Tloušťka průřezu
Solid and Triangular Infill Drying Times	Doby sušení plných a trojúhelníkových výplní

Optimalizace pro spékání



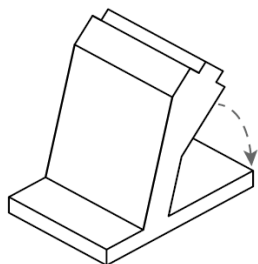
Ostré hrany mohou způsobit deformaci během spékání



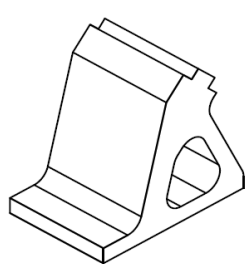
Hladké přechody omezují deformace

Snížení koncentrací napětí

Díly jsou při spékání vystaveny tepelným napětím, protože se při smršťování samy stahují k sobě. Snižte koncentrace napětí zaoblením okrajů a navržením postupných změn tloušťky.



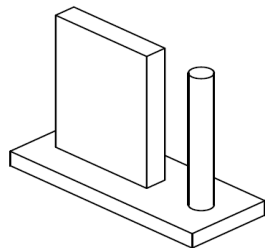
Konzolové prvky se mohou při spékání zhroutit



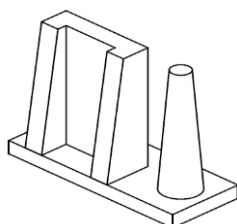
Vyvážené prvky zůstávají během spékání podepřené

Zajistěte, aby prvky byly dobře vyvážené

Při průchodu procesem spékání teplo vyvolává jílovitý stav, takže může dojít k jejich poškození. Pokud vaše díly nepotřebují podpěry, ujistěte se, že jsou ve své tištěné orientaci v podstatě přirozeně stabilní. Vyvarujte se konzolových nebo vysokých a tenkých prvků a prvků s těžkým vrškem.



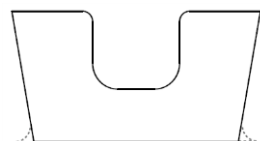
Vysoké samostatné prvky se mohou při spékání naklonit nebo zborstit



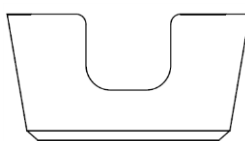
Žebra a úhly zkosení poskytují přirozenou stabilitu

Podepřete volně stojící prvky

Vysoké, tenké prvky o výšce větší než šestnásobek své výšky se mohou při spékání naklonit nebo zborstit. Podepřete volně stojící prvky přidáním úhlů zkosení nebo žebra, aby se zvýšila jejich pevnost a přirozená stabilita během spékání.



Rovné hrany dna se mohou během spékání roztáhnout



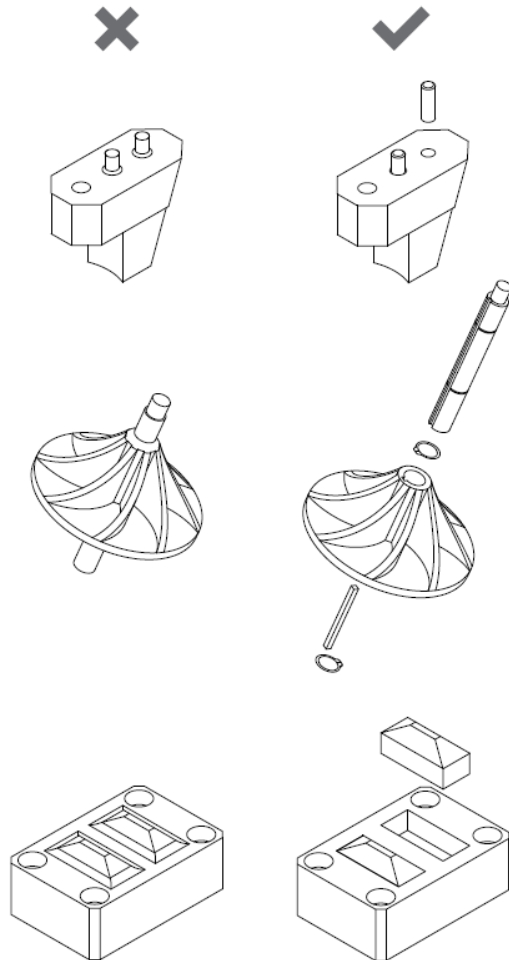
Roztažení se zabrání pomocí zkoseného spodního okraje

Zkoste dolní hrany

Dolní hrana vašeho dílu se může během spékání roztáhnout. Přidáním zkosení 0,5–1 mm (0,02"–0,04") k dolním hranám vašeho dílu zabráníte roztaženým hranám, zejména u malých prvků, jako jsou otvory a kanály.

Strategické postupy tisku kovů

Přemýšlejte kriticky o tom, které aspekty vašeho návrhu je třeba vyrobit 3D tiskem. Některé prvky by mohly být realizovány efektivněji jinými výrobními metodami. V případě potřeby do svého návrhu zabudujte další díly, abyste ušetřili dobu tisku, složitost návrhu a náklady. Některé příklady jsou uvedeny níže:



Používejte kolíky pro vyrovnání prvků

Zvyšte přesnost vyrovnání a ušetřete materiál a dobu tisku zalisováním hmoždinek do vašich dílů nebo použitím osazených šroubů pro polohování. Hmoždinky zalisované do této upínací čelisti ji nastavují do polohy na robotickém ramenu. Tato konstrukční změna snižuje počet podpěr a zjednodušuje orientaci tisku.

Vytiskněno odděleně od jednoduchých prvků

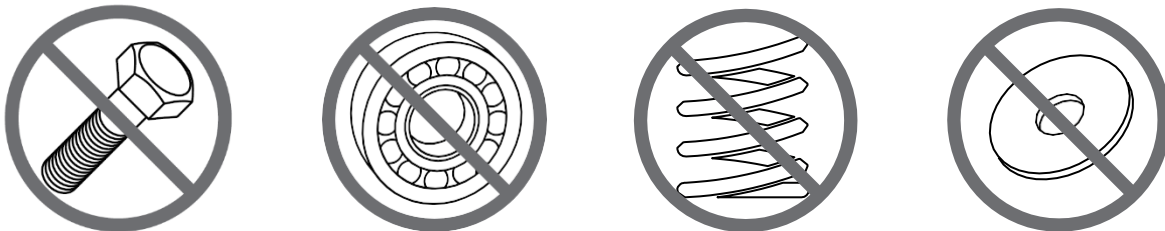
Oddělte složité prvky dílu pro 3D tisk kovu. Tisk oběžného kola s integrovaným hřídelem bude na úkor optimálního tisku orientace pro orientaci v peci – může zapadnout stanice do Sinter-1 pouze bokem. Místo toho lze oběžné kolo tisknout odděleně od obrobeného hřídele, aby se zkrátila doba tisku a snížila složitost dílu. Pojistné kroužky usazují oběžné kolo na hřídeli a pero působí jako stříhový bod, který lze vyměnit, pokud selže.

Izolujte vlastnosti s modulárními prvky

Toto razítko plechu se skládá z předlisku s tištěnými kovovými vložkami. Izolace kovových vložek jako samostatných dílů lokalizuje kovové vlastnosti pouze do oblastí, kde jsou požadovány, takže nemusíte tisknout zcela nový nástroj pro každou revizi. To také usnadňuje údržbu a opravy nástrojů.

NETISKŇTE SI KOVOVÉ VÝROBKÝ

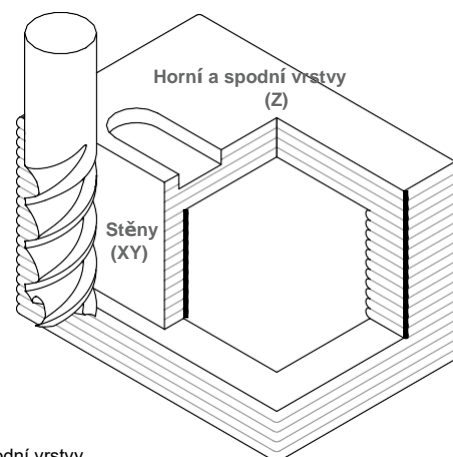
Tisk kovových výrobků představuje špatné využití systému Metal X – nákup standardních kovových výrobků je téměř vždy nákladově a časově účinnější a přináší lepší výsledky. Kovové výrobky, jako jsou pouzdra, ložiska a pružiny, se vyrábějí pomocí specializovaných výrobních procesů a při tisku se nebudou chovat stejným způsobem. Podložky, matice, svorníky a podobné kovové výrobky jsou levnější a jejich nákup je efektivnější než tisk.



Kovové díly pro následné zpracování

Obrábění a leštění spékáných dílů

Pokud máte v úmyslu vaše díly po spékání obrábět nebo leštit, důrazně doporučujeme zvýšit tloušťku stěny vašeho dílu, což vám poskytne více prostoru pro vyhlazení vašich dílů. Použijte níže uvedenou tabulku pro vyhledání ideálního množství materiálu k odstranění. Neodstraňujte více, než je uvedená tloušťka stěny, nebo proříznete vnější stěny a odkryjete výplň. Nástrojové oceli musí být před obráběním žháný.



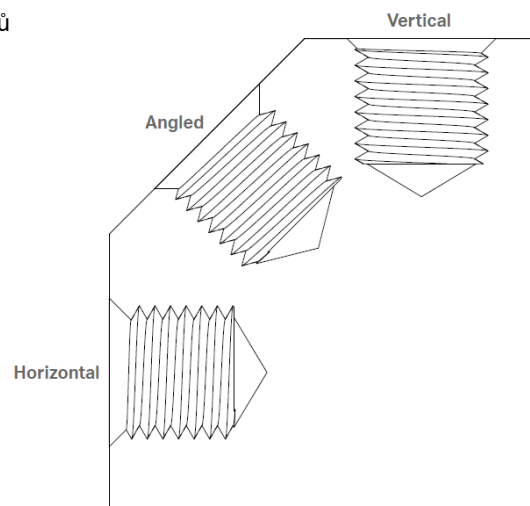
Nastavení vnější stěny	Tloušťka vnější stěny Stěny	Horní/spodní vrstvy	Doporučené odstranění Stěny	Horní/spodní vrstvy
Výchozí nastavení	1,0 mm (0,039")	0,5 mm (0,020")	0,3 ±0,15 mm (0,12 ±0,005")	0,2 ±0,1 mm (0,08 ±0,004")
Doporučeno pro obrábělnost	1,5 mm (0,059")	1,5 mm (0,059")	0,5 ±0,2 mm (0,02 ±0,008")	0,5 ±0,2 mm (0,02 ±0,008")

Neodstraňujte více než polovinu tloušťky vnější stěny, v opačném případě by to ohrozilo pevnost dílu. Systém Eiger umožňuje zvýšení tloušťky vnější stěny až do maxima 2,01 mm.

Závity

Používejte níže uvedenou tabulku k určení toho, jaké závitové otvory by měly být při navrhování vašeho dílu vyřezány nebo vytištěny. Pro velikost závitových otvorů použijte záběr závitů 50 %. Tištěné závity možná bude třeba řezat závitníkem, nebo budou pro rovnoměrný závit vyžadovány lapovací prostředky.

Velikost závitů	Orientace závitů	Doporučení
<M3 (nebo < #5–40)	Vertikální	Řezání
	Pod úhlem nebo horizontální	Řezání
M3–M8 (nebo #5–40 až 5/16"–18)	Vertikální	Řezání nebo tisk
	Pod úhlem nebo horizontální	Řezání
M8–M10 (nebo 5/16"–18 až 3/8"–16)	Vertikální	Řezání nebo tisk
	Pod úhlem nebo horizontální	Tisk
>M10 (nebo > 3/8"–16)	Vertikální	Tisk
	Pod úhlem nebo horizontální	Tisk



Vertical	Vertikální
Angled	Pod úhlem
Horizontal	Horizontální

Pískování v surovém stavu

Mokrě pískování surových dílů pod teplou vodou brusným papírem 240–320 nebo přípravkem Scotch-Brite zanechává po spékání matný povrch. Surové díly jsou křehké, proto je třeba dbát zvýšené opatrnosti, protože jakékoliv úpravy mohou ovlivnit přesnost nebo účinnost spékání. Pískování provádějte nad nádobou nebo filtrem, aby nedošlo k ucpání dřezu a používejte správné OOP.

Upevnění některých kovových tištěných dílů pro obrábění nebo řezání závitů může být obtížné kvůli jejich složité geometrii. Můžete použít kompozitní tiskárny Markforged pro vytvoření shodného upínacího přípravku kovových dílů v těchto případech.

Výběr materiálu

Jak si s rostoucím seznamem kovů, které lze tisknout, zvolíte ten správný? Sestavte seznam funkčních požadavků na díl, které vás dovedou k optimálnímu materiálu pro práci. V jakém prostředí bude díl pracovat? S čím bude v kontaktu a jak? Jaké chování by se mělo projevat pod napětím nebo teplem? Odpovězte na tyto otázky, abyste mohli vybrat materiál, který potřebujete.

Nerezové oceli

Nerezové oceli jsou všestranné kovy charakteristické svou výbornou jednotnou odolností vůči korozi, vysokou pevností a dobrou povrchovou úpravou. Vzhledem k vysokému obsahu chromu a nízkému obsahu uhlíku vyžadují pouze malou údržbu a snadno se svařují.

Nerezová ocel 17-4 PH je běžnou martenzitickou nerezovou ocelí a může se vytvrzovat srážením, aby bylo možné upravit mechanické vlastnosti podle vaší aplikace. Díky tomu je ocel 17-4 PH neuvěřitelně univerzálním materiálem, který lze vyladit pro různé aplikace, včetně kovoobráběcího, leteckého, petrochemického a zdravotního průmyslu.

Nerezová ocel 316L (brzy bude k dispozici) je austenitická nerezová ocel se zvýšenou lokalizovanou odolností vůči korozi navíc k tomu, co již má mnoho nerezových ocelí. Díky tomu je velmi vhodná pro použití při námořní a chemické manipulaci a její nízký obsah uhlíku (pod 0,03 %) znamená, že se snadno svařuje bez koroze při svařování.

Nástrojové oceli

Tyto oceli jsou optimalizovány pro řezání a tvarování dalších materiálů, což znamená, že jsou obvykle odolné proti oděru, tvrdé a houževnaté. Každá třída nástrojové oceli je optimalizována pro práci s určitými druhy materiálů a aplikacemi.

Nástrojová ocel A2 je univerzální nástrojová ocel, která vyvažuje odolnost vůči opotřebení a houževnatost. Slouží dobře pro typické nástrojové aplikace kování nebo tvarování za studena, jako je například ražení, děrování a ohýbání kovů.

D2 je nástrojová ocel, která je nejnámější z hlediska své odolnosti vůči opotřebení a tvrdosti při zpracování za studena. Lze ji ostřit a tepelně upravovat, aby se zvýšila její tvrdost a zajistilo se udržení hrany a může se používat pro řezné nástroje.

Nástrojová ocel H13 je ocel třídy pro práci za tepla optimalizovaná pro tvrdost za vysokých teplot a odolnost proti oděru. Díky tomu je velmi vhodná pro aplikace lisování za vysoké teploty, jako jsou vložky, jádra a formy. Odolává tepelné únavě a předčasnému tepelnému narušení a má vynikající vytvrzovací vlastnosti.

Superslitiny

Superslitiny jsou vysoce účinné slitiny s vynikající mechanickou pevností a stabilitou při vysokých teplotách. Tyto slitiny jsou také vysoce odolné vůči korozi, často se používají v drsném prostředí a mohou být vystaveny extrémnímu teplu nebo chemikáliím.

Slitina Inconel 625 je vhodná do prostředí s vysokou teplotou a tlakem, protože si udržuje pevnost v širokém rozsahu teplot. Díky své korozní odolnosti je vhodná i pro petrochemické aplikace.

Neželezné kovy

Neželezné kovy mají nízký až nulový obsah železa ve své molekulární struktuře a často mají řadu užitečných vlastností v závislosti na kovu a aplikaci. Mnohé neželezné kovy jsou lehké, vodivé a lze s nimi snadno pracovat.

Měď je tvárný kov známý vysokou elektrickou a tepelnou vodivostí, takže je velmi užitečný pro aplikace vyžadující přenos proudu nebo rozptyl tepla, včetně přípojnic, tepelných výměníků a chladičů.

Titan 6Al-4V (brzy bude k dispozici) je velmi lehký, ale je neuvěřitelně pevný a tuhý, což vede k nejlepšímu poměru pevnosti k hmotnosti v jeho třídě. Vyznačuje se vynikající odolností vůči korozi, díky které je spolu s nízkou hmotností vynikající volbou pro vozidla a biomedicínské vybavení.

Tepelné zpracování

Tepelné zpracování je proces běžně používaný u některých ocelí pro manipulaci s jejich materiálovými vlastnostmi. Společnost Markforged doporučuje u všech nástrojových ocelí dvojité tepelné zpracování, aby se minimalizovalo přetvoření složitých dílů. Konkrétní vlastnosti se mohou lišit v závislosti na velikosti a složitosti dílu. Podrobnější informace naleznete v našem datovém listu nebo v dalších pokynech pro zpracování.

Pokud plánujete tištěné díly z nástrojové oceli po obrábění, musíte je předem žíhat.

NEREZOVÁ OCEL 17-4 PH

Specifikace tepelného zpracování

Nerezová ocel 17-4 PH po spékání je v téměř žíhaném stavu a lze s ní snadno pracovat. Pokud díl potřebuje opakované zpracování, je nezbytné pouze žíhání podle podmínky A.

Tepelné zpracování: Díl zahřejte na teplotu a po dobu uvedené v tabulce vpravo podle požadovaného stavu. Ocel 17-4 po spékání nevyžaduje před zpracováním žíhání. Všechny díly by měly být ochlazovány vzduchem.

Stav	Zahřát na °F (°C)	Doba při teplotě	Konvenční mez průtažnosti MPa	Prodloužení % na 2"	Tvrdość Rc
A	1950 (1066)	30 min.	760	5	34
H900	900 (482)	1 hod.	1170	10	40
H925	925 (496)	4 hod.	1070	10	38
H1025	1025 (551)	4 hod.	1000	12	35
H1075	1075 (580)	4 hod.	860	13	32
H1100	1100 (593)	4 hod.	795	14	31
H1150	1150 (621)	4 hod.	725	16	28
H1150-M	1400 (760)	2 hod.	520	18	24
	následovaná 1150 (621)	následovaná 4 hod			

Materiálová data odrážejí typické hodnoty pro tepelné tváření materiálu. Vlastnosti vytištěných dílů se mohou lišit

Nástrojová ocel A2

Specifikace tepelného zpracování

- Žíhání:** Díl zahřejte na hodnotu 1550–1600 °F (843–871 °C) při vzrůstu teploty 400 °F (222 °C) za hodinu a udržujte jej při této teplotě po dobu jedné hodiny na palec maximální tloušťky dílu, minimálně však 2 hodiny. Pomalu ochlaďte rychlostí nepřesahující 50 °F (28 °C) za hodinu až na 1000 °F (538 °C), potom pokračujte v ochlazování vzduchem.
- Předběžný ohřev:** Díl zahřívajte o 400 °F (222 °C) za hodinu až na 1150–1250 °F (621–677 °C) a nechte jej prohřát, poté díl zahřejte na 1300–1400 °F (704–760 °C) a opět nechte prohřát.
- Austenitizace:** Pomalu zahřívajte z předběžného ohřevu na 1725–1750 °F (941–954 °C) a udržujte tuto teplotu po dobu 30 minut na první palec tloušťky a dalších 15 minut na další palec.
- Zchlazení:** Díl zchlazte ve vzduchu, stlačeném plynu nebo přerušovaném oleji na teplotu nižší než 150 °F (65 °C). Větší části v klidném vzduchu nedosáhnou plné tvrdosti, takže může být vyžadován kalící plyn nebo olej. Abyste zabránili vzniku okují, použijte vakuovou pec nebo pec s řízenou atmosférou.
- Temperování:** Temperujte bezprostředně po zchlazení na uvedenou teplotu na základě požadované tvrdosti. Udržujte při teplotě po dobu jedné hodiny na palec maximální tloušťky dílu nebo alespoň dvou hodin, podle toho, která hodnota je delší.

Temperování Tvrdość

na °F (°C)	Rc
300 (149)	62
400 (204)	60
500 (260)	58
600 (316)	56
700 (371)	56
800 (427)	56
900 (482)	56
1000 (538)	55
1100 (593)	50
1200 (649)	43
1300 (704)	34

Jako spékání 52

Materiálová data odrážejí typické hodnoty pro tepelné tváření materiálu. Vlastnosti vytištěných dílů se mohou lišit.

Při sestavování těchto pokynů se používaly odkazy na:

Nerezová ocel 17-4 PH:

ASTM A 564/A 564M: *Standardní specifikace pro tyče a tvarované díly z nerezové oceli válcované za tepla a dokončené za studena s vytvrzováním*

Dodávka speciální oceli: specialtysteelsupply.com/brochure/17-4-technical-data.pdf

AK Steel: aksteel.com/sites/default/files/2018-01/174ph201706.pdf

Nástrojová ocel A2:

ASTMA681: *Standardní specifikace pro slitiny nástrojové oceli*

Nástrojová ocel Hudson: hudsonsteel.com/technical-data/steelA2

Vysokorychlostní kovy: speedymetals.com/information/Material69.html

Tepelné zpracování

Nástrojová ocel D2

Specifikace tepelné úpravy

- Žihání:** Díl zahřejte na hodnotu 1550–1600 °F (843–871 °C) při vzrůstu teploty 400 °F (222 °C) za hodinu a udržujte jej při této teplotě po dobu jedné hodiny na palec maximální tloušťky dílu, minimálně však 2 hodiny. Pomalu ochlaďte rychlostí nepřesahující 50 °F (28 °C) za hodinu až na 1000 °F (538 °C), potom pokračujte v ochlazování vzduchem.
- Předběžný ohřev:** Díl zahřívajte o 400 °F (222 °C) za hodinu až na 1150–1250 °F (621–677 °C) a nechte jej prohřát, poté díl zahřejte na 1400–1450 °F (760–788 °C) a opět nechte prohřát.
- Austenitizace:** Pomalu zahřívajte z teploty předeřívání na hodnotu 1850–1875 °F (1010–1024 °C) až do rovnoměrného zahřátí.
- Zchlazení:** Díl zchlaďte vzduchem nebo stlačeným plynem na teplotu nižší než 150 °F (65 °C). Abyste zabránili vzniku okují, použijte vakuovou pec nebo pec s řízenou atmosférou.
- Temperování:** Temperujte bezprostředně po zchlazení na uvedenou teplotu na základě požadované tvrdosti. Udržujte při teplotě po dobu jedné hodiny na palec maximální tloušťky dílu nebo alespoň dvou hodin, podle toho, která hodnota je delší.

Temperování Tvrdost

na °F (°C)	Rc
Po zchlazení	64
400 (204)	60
500 (260)	58
600 (316)	58
700 (371)	58
800 (427)	57
900 (482)	57
1000 (538)	56
1100 (593)	48
1200 (649)	40
1300 (704)	34
Spěkaná	54

Materiálová data odrážejí typické hodnoty pro tepelně tvářené materiály. Vlastnosti vytištěných dílů se mohou lišit.

Nástrojová ocel H13

Specifikace tepelného zpracování

- Žihání:** Díl zahřejte na hodnotu 1553–1652 °F (845–900 °C) při vzrůstu teploty 400 °F (222 °C) za hodinu a udržujte jej při této teplotě po dobu jedné hodiny na palec maximální tloušťky dílu, minimálně však 2 hodiny. Pomalu ochlaďte rychlostí nepřesahující 50 °F (28 °C) za hodinu až na 1000 °F (538 °C), potom pokračujte v ochlazování vzduchem.
- Předeřívání:** Díl zahřívajte o 400 °F (222 °C) za hodinu až na 1100–1250 °F (593–677 °C) a nechte jej prohřát, poté díl zahřejte na 1500–1600 °F (816–871 °C) a opět nechte prohřát.
- Austenitizace:** Rychle zahřívajte na 1800–1890 °F (982–1032 °C) a udržujte po dobu 30 minut až dvou hodin. Pro minimalizaci oduhlíčení použijte solnou lázeň nebo pec s řízenou atmosférou.
- Zchlazení:** Díl zchlaďte v klidném vzduchu. Ihned po zchlazení proveďte temperování. V případě velkých dílů nebo pro maximalizaci tvrdosti a houževnatosti lze použít přerušované ochlazení v oleji na teplotu nižší než 150 °F (65 °C), ale existuje určité riziko, že díl v průběhu toho popraská.
- Temperování:** Temperujte při teplotě minimálně 50 °F (28 °C) nad maximální provozní teplotou dílu, jako vodítko použijte tabulku vpravo. Temperujte po dobu jedné hodiny na palec maximální tloušťky dílu nebo alespoň dvou hodin, podle toho, která doba je delší. Doporučuje se druhé temperování při teplotě o 25–50 °F (14–28 °C) nižší než při prvním temperování, zejména tehdy, když je problémem kontrola teploty.

Temperování Tvrdost

na °F (°C)	Rc
900 (482)	54
1000 (538)	52
1050 (566)	50
1100 (593)	46
1150 (621)	36
1200 (649)	30
Po spěkaní	40

Materiálová data odrážejí typické hodnoty pro tepelně tvářené materiály. Vlastnosti vytištěných dílů se mohou lišit.

Při sestavování těchto pokynů se používaly odkazy na:

Nástrojová ocel D2:

ASTMA681: *Standardní specifikace pro slitiny nástrojové oceli*

Vysokorychlostní kovy: speedymetals.com/information/Material11.html

Hudson Tool Steel: hudsontoolsteel.com/technical-data/steelD2

Nástrojová ocel H13:

ASTMA681: *Standardní specifikace pro slitiny nástrojové oceli*

Nástrojová ocel Hudson: hudsontoolsteel.com/technical-data/steelH3

Cincinnati Tool Steel Company: cintool.com/documents/mol_d_quality/H13.pdf



Průvodce k navrhování pro 3D tisk s kovy