

*C22C 38/06* (2006.01)  
*C22C 38/02* (2006.01)  
*C22C 38/12* (2006.01)  
*C22C 38/34* (2006.01)  
*B22F 9/00* (2006.01)  
*C23C 4/06* (2016.01)  
*H01F 1/147* (2006.01)

(19)  
 ČESKÁ  
 REPUBLIKA



ÚŘAD  
 PRŮMYSLOVÉHO  
 VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2021-200**  
 (22) Přihlášeno: **20.04.2021**  
 (40) Zveřejněno: **21.09.2022**  
**(Věstník č. 38/2022)**  
 (47) Uděleno: **10.08.2022**  
 (24) Oznámení o udělení ve věstníku: **21.09.2022**  
**(Věstník č. 38/2022)**

(56) Relevantní dokumenty:  
 (Věra Vodičková a kol.: The Effect of Simultaneous Si and Ti/Mo Alloying on High-Temperature Strength of Fe<sub>3</sub>Al-Based Iron Aluminides; Molecules 25(18); DOI:10.3390/molecules25184268) 2020; (Martin Švec a kol.: The Effect of Chromium Addition and Heat Treatment on Phase Composition of Cast FeAlSi Alloys; Manufacturing Technology 18(6); DOI:10.21062/ujep/219.2018/a/1213-2489/MT/18/6/1029) 2018; (P. Novák a kol.: Structure and Properties of Fe-Ni-Al-Si Alloys Produced by Powder Metallurgy; Acta Physica Polonica Series a 122(3):524-527; DOI:10.12693/APhysPolA.122.524) 2012.  
 CN 108611580 A; CN 112509777 A; JP S60141817 A; JP S5920451 A; DE 2604057 A1.

(73) Majitel patentu:  
 Technická univerzita v Liberci, Liberec, Liberec I-  
 Staré Město, CZ

(72) Původce:  
 Ing. Pavel Hanus, Ph.D., Strakonice, Přední  
 Ptákovice, CZ  
 doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D., Šimonovice,  
 Minkovice, CZ  
 doc. Ing. Pavel Novák, Ph.D., Kladno, CZ

(74) Zástupce:  
 Patent-K s.r.o., Husníkova 2086/22, 158 00 Praha  
 5, Stodůlky

(54) Název vynálezu:  
**Slitina na bázi Fe-Al-Si-X a její použití**

(57) Anotace:  
 Slitina na bázi Fe-Al-Si-X s oxidační odolností při teplotách do 1100 °C a mechanickou a tribologickou odolností nejméně do teploty 750 °C obsahuje základní slitinovou matici Fe-Al-Si s obsahem Al 16 ± 4 % hmotn., Si 6 ± 4 % hmotn., a alespoň jedním slitinovým prvkem X v množství 4 ± 3 % hmotn., který je vybrán ze skupiny Zr, Cr, Nb, Ni, Ti, W, V a Mo, a zbytek je Fe. Základní slitinová matrice může dále obsahovat další alespoň jeden slitinový prvek Y v rozmezí od 0,01 do 1,5 % hmotn., vybraný ze skupiny prvků Zr, Cr, Nb, Ni, Ti, W, V, B a Sc, rozdílný od prvku X. Použití slitiny je možné ve formě litého polotovaru, ve formě výrobků vybraných ze skupiny tvářený polotovar, drát určený k navařování a drát určený k žárovým nástřikům a v podobě prášku.

## Slitina na bázi Fe-Al-Si-X a její použití

### Oblast techniky

5 Vynález se týká slitiny na bázi Fe-Al-Si-X s oxidační odolností při teplotách do 1100 °C a velmi  
dobrou mechanickou a tribologickou odolností nejméně do teploty 750 °C, zejména pro teplotně  
a mechanicky zatížené komponenty spalovacích motorů. Jedná se o materiál schopný pracovat  
se zvýšenou životností a abrazní odolností ve specifických podmínkách. Jde o materiál schopný  
10 odolávat vysokým teplotám a cyklické i teplotní únavě při zachování velmi dobré tribologické  
odolnosti. Jedná se o slitiny obsahující železo s výrazným podílem hliníku s křemíkem a dalšími  
prvky upravujícími vlastnosti a zpracovatelnost materiálu. Předpokládané hlavní aplikační využití  
je na páry ventilů a ventilových sedel v hlavách spalovacích motorů, ale slitiny bude možné  
využít i v dalších oblastech, jako jsou komponenty turbín, součásti brzdných zařízení, komponenty  
15 pecí atd.

### Dosavadní stav techniky

20 V současné době, která se snaží snižovat emise vypouštěné do okolí, se běžně používají pro výrobu  
ventilů a ventilových sedel pracujících při teplotách okolo 800 °C materiály na bázi austenitických  
ocelí, např. se složením 13 % Ni, 13 % Cr, 2,5 % W a 1,5 % Mn, či stelitů, kde základem je kobalt,  
17 až 32 % Cr, 2 až 16 % W, 0,1 až 2,5 % C, 3 až 22 % Ni, 1 až 8 % Mo a jednotky procent Fe a  
Si. Sedla a ventily jsou obvykle z jednoho kusu materiálu, ale často se funkční plochy vylepšují  
25 návary či spojením/svařením z několika částí. Obdobné je to i u dalších typů komponent.

Uvedené slitiny obsahují kritické prvky, jako jsou Cr, Ni a Co, které jsou drahé a mohou způsobit  
problémy v konečném materiálu.

30 Stávající slitiny mají vyšší obsah hliníku, což snižuje jejich houževnatost. Minimální obsah  
křemíku může mít negativní vliv na vysokoteplotní mechanické vlastnosti a tepelnou a oxidační  
odolnost. Vyšší obsah C může způsobit poškození povětrnostními vlivy. Mechanické vlastnosti,  
zejména houževnatost, jsou relativně nízké, přičemž jejich korozní odolnost za zvýšených teplot je  
nižší.

35

### Podstata vynálezu

40 Výše uvedené nedostatky jsou do značné míry odstraněny slitinou na bázi Fe-Al-Si-X s výbornou  
oxidační odolností při teplotách do 1100 °C a velmi dobrou mechanickou a tribologickou odolností  
nejméně do teploty 750 °C podle tohoto vynálezu. Jeho podstatou je to, že obsahuje slitinovou  
matici Fe-Al-Si s obsahem Al  $16 \pm 4$  hmotn. %, Si  $6 \pm 4$  hmotn. %, a alespoň jedním slitinovým  
prvkem X v množství  $4 \pm 3$  hmotn. %, který je vybrán ze skupiny Zr, Cr, Nb, Ni, Ti, W, V a Mo,  
a zbytek je Fe.

45

Slitina ve výhodném provedení dále obsahuje další alespoň jeden slitinový prvek Y v rozmezí od  
0,01 do 1,5 hmotn. %, vybraný ze skupiny prvků Zr, Cr, Nb, Ni, Ti, W, V, B a Sc, rozdílný od  
prvku X.

50 Další podstatou vynálezu je použití slitiny ve formě litého polotovaru, tvářeného polotovaru, drátu  
určeného k navařování, drátu určeného k žárovým nástřikům, prášku za použití atomizéru nebo  
mechanického legování.

Ve výhodném řešení se jedná o použití slitiny ve formě prášků pro 3D tisk kovových materiálů, slinování a tvorbu funkčních vrstev realizovaných pomocí návarů a nástřiků za studena či žárových, případně pro technologie vstřikování kovových prášků.

5 Podstatou vynálezu je nový materiál s konkrétně definovaným vzájemným poměrem středního obsahu jednotlivých prvků a definovaným maximálním a minimálním obsahem jednotlivých legujících prvků. Vzájemný poměr a definované rozmezí prvků zaručuje žárupevnost a žáruvzdornost materiálu až do teplot okolo 1100 °C a zároveň zaručuje také mechanickou a tribologickou odolnost při teplotách do 750 °C i v prostředích obsahujících S. Materiál je možné  
10 využít v litém i tvářeném stavu, ale dané poměry prvků lze aplikovat i ve formě prášku a využít je pro návary, žárové nástřiky, difúzní plátování a pro výrobu dílů pomocí sintrace a aditivních technologií. Vynález zároveň umožňuje úplnou náhradu či značné snížení obsahu stávajících drahých a vzácných legujících prvků, jako jsou Co, Cr, W, Ni, Mo, vyskytujících se ve značných objemech v materiálech používaných v současnosti.

15 Slitiny podle vynálezu umožní využití vyšších pracovních teplot, při současném zachování, nebo prodloužení životnosti výše uvedených komponent. Benefitem je rovněž výrazné snížení obsahu kritických legujících prvků, zejména těch importovaných z prostoru mimo EU, což se projeví na snížení ceny vstupních surovin, a tedy i na ceně výrobku. Při porovnání se v současnosti  
20 používanými vysokoteplotními slitinami je možná i úspora hmotnosti komponent až o 25 % daná nižší měrnou hmotností. Slitiny se rovněž vyznačují vyšší korozní odolností ve vodných prostředích. Důvodem je tvorba pasivní vrstvy tvořené oxidem hlinitým při pH vyšším než cca 3. Při nižších hodnotách pH je pak pasivní vrstva tvořena oxidem křemičitým a má rovněž ochranný účinek.

25 Jako vstupní suroviny pro přípravu slitin je možné použít i recyklovaný materiál, např. bloky motorů ze slitin Al-Si, a to i s případným podílem ocelových částí.

Oproti výše zmíněným materiálům nejsou u navrhovaných slitin typu Fe-Al-Si-X a Fe-Al-Si-X-Y  
30 výše uvedené kritické prvky, tedy Cr, Ni, Co, zastoupeny buď vůbec, nebo ve množstvích jednotek procent. Přitom užité vlastnosti navrhovaných slitin jsou lepší, nebo zůstávají obdobné jako u komerčně používaných slitin.

Oproti materiálu pyroferal mají navrhované slitiny nižší obsah hliníku, což vede k vyšší  
35 houževnatosti, dále zvýšený obsah křemíku oproti slitině pyroferal (patent CS 115312 B5) má pozitivní vliv na vysokoteplotní mechanické vlastnosti a tepelnou a oxidační odolnost. Navrhovaná slitina má menší obsah C, takže se zamezí poškození povětrnostními vlivy, a to vede ke stabilitě výrobků.

40 Při porovnání navrhovaných slitin a čistě binární slitiny Fe<sub>3</sub>Al či slitin ternárních slitin vykazují navrhované slitiny významně menší velikost zrna a tím lepší mechanické vlastnosti, zejména vyšší houževnatost, ale i vyšší korozní odolnost za zvýšených teplot, zejména oxidaci.

#### 45 Objasnění výkresů

Slitina na bázi Fe-Al-Si-X podle tohoto vynálezu bude podrobněji popsána na konkrétních  
příkladech provedení s pomocí přiložených výkresů, kde na obr. 1 jsou znázorněny mechanické  
50 vlastnosti při zkoušce v tlaku slitiny Fe-Al-Si5 připravené odléváním. Na obr. 2 je znázorněna oxidační odolnost slitiny Fe-Al-Si5 připravené práškovou metalurgií ve srovnání s binární slitinou Fe-Al. Na obr. 3 je znázorněn polotovar pro výrobu ventilového sedla ze slitiny Fe-Al-Si.

Příklady uskutečnění vynálezu

5 Vynález bude v dalším textu blíže popsán s pomocí konkrétních příkladů, které jsou pouze ilustrativní a neomezují nijak rozsah vynálezu.

Jedná se o slitinu na bázi Fe-Al-Si-X s oxidační odolností při teplotách do 1100 °C a mechanickou a tribologickou odolností nejméně do teploty 750 °C, která obsahuje slitinovou matici Fe-Al-Si s obsahem Al  $16 \pm 4$ , Si  $6 \pm 4$  hmotn. %, alespoň jedním slitinovým prvkem X v množství 10  $4 \pm 3$  hmotn. %, který je vybrán ze skupiny Zr, Cr, Nb, Ni, Ti, W, V a Mo, a zbytek je Fe.

V dalším případě se jedná o slitinu, kde slitinová matrice dále obsahuje další alespoň jeden slitinový prvek v rozmezí od 0,01 do 1,5 hmotn. %, vybraný ze skupiny prvků Zr, Cr, Nb, Ni, Ti, W, V, B a Sc, který je rozdílný od prvku v předchozí slitině.

15

## Příklad 1

Příprava slitiny Fe-Al-Si5 odléváním: Slitina obsahující  $16 \pm 4$  hmotn. % Al a  $3 \pm 2$  hmotn. % Si byla připravena tavením ve vakuové peci. Pro odlití byla použita měděná kokila.

20

## Příklad 2

Slitina Fe-Al-Si5 byla připravena mechanickým legováním a slinováním v plazmatu. Byla otestována oxidační odolnost při teplotě 800 °C a porovnána s binární slitinou Fe-Al. Slitina s 25 přidavkem křemíku dosahuje výrazně nižší rychlosti oxidace než referenční binární slitina Fe-Al.

## Příklad 3

Slitina Fe-Al-Si5 byla připravena mechanickým legováním a slinováním v plazmatu a na tepelně zpracovaném materiálu, byla vyzkoušena výroba ventilového sedla za pomoci elektrojiskrového 30 obrábění, viz polotovar na obr. 3.

## Příklad 4

35 Prášek vyrobený atomizací ze slitiny základní báze Fe, Al  $16 \pm 4$ , Si  $6 \pm 2$  hmotn. %, doplněné o prvek X, kterým je Ti v množství  $2 \pm 1$  hmotn. %, a o prvek Y, kterým je v tomto případě B v množství  $0,6 \pm 0,2$  hmotn. %. Prášek je použit k žárovému nástřiku pomocí plazmatu, nebo metody HVOF a k vytvoření funkční vrstvy s výrazně zvýšenou tribologickou odolností až do 40 teplot 700 °C. Příklad využití je například u brzdových kotoučů v rámci vytvoření kompaktní vrstvy i kompozitního rozložení nástřiku.

## Příklad 5

45 Prášek vyrobený mletím ze slitiny základní báze Fe, Al  $16 \pm 4$ , Si  $6 \pm 2$  hmotn. %, doplněné o prvek X, kterým je W v množství  $1 \pm 0,5$  hmotn. %, a o prvek Y, kterým je Nb v množství  $0,4 \pm 0,15$  hmotn. %. Prášek je využit pro 3D tisk metodou SLS, například pro výrobu tvarových vložek do forem pro vstřikování metodami MIM a CIM. Takto vytvořená vložka má zvýšenou teplotní i abrazní odolnost proti keramickým i kovovým částicím vstřikovaným metodami MIM a CIM.

50

## Příklad 6

Prášek vyrobený mletím ze slitiny základní báze Fe, Al  $16 \pm 4$ , Si  $3 \pm 2$  hmotn. %, doplněné o prvek X, kterým je Mo v množství  $1,5 \pm 0,5$  hmotn. %, a o prvek Y, kterým je V v množství 55  $0,3 \pm 0,1$  hmotn. %. Prášek je využit pro 3D tisk metodou SLM, například pro výrobu komponent využitelných v energetice. V tomto případě se konkrétně jedná o domeček pro rozvod páry

umístěný před první stupeň parní turbíny. Takto vytvořený díl má dostatečnou korozní i abrazní odolnost při teplotách do 580 °C, i dlouhodobou teplotní stabilitu.

#### Příklad 7

5

Prášek vyrobený mletím ze slitiny základní báze Fe, Al 16 ± 4, Si 3 ± 2 hmotn. %, doplněné o prvek X, kterým je Zr v množství 1,2 ± 0,5 hmotn. %. Prášek je využit pro laserové návary funkčních dosedacích ploch na dílech svařovacích přípravků určených pro velkosériovou výrobu komponent pro automotive. Takto vytvořené vrstvy mají cca 1,2krát větší abrazní odolnost než díly

10

s nitridovanými, případně cementovanými povrchy.

#### Příklad 8

15

Drát pro žárový nástřik elektrickým obloukem vytvořený odléváním a následným tvářením ze slitiny základní báze Fe, Al 16 ± 4, Si 3 ± 2 hmotn. %, doplněné o prvek X, kterým je Cr v množství 2 ± 0,5 hmotn. %, a o prvek Y, kterým je Ti v množství 1 ± 0,4 hmotn. %. Drát je využit pro renovaci opotřebených šoupat a ventilů v primárním okruhu a u přehříváků páry.

20

#### Průmyslová využitelnost

25

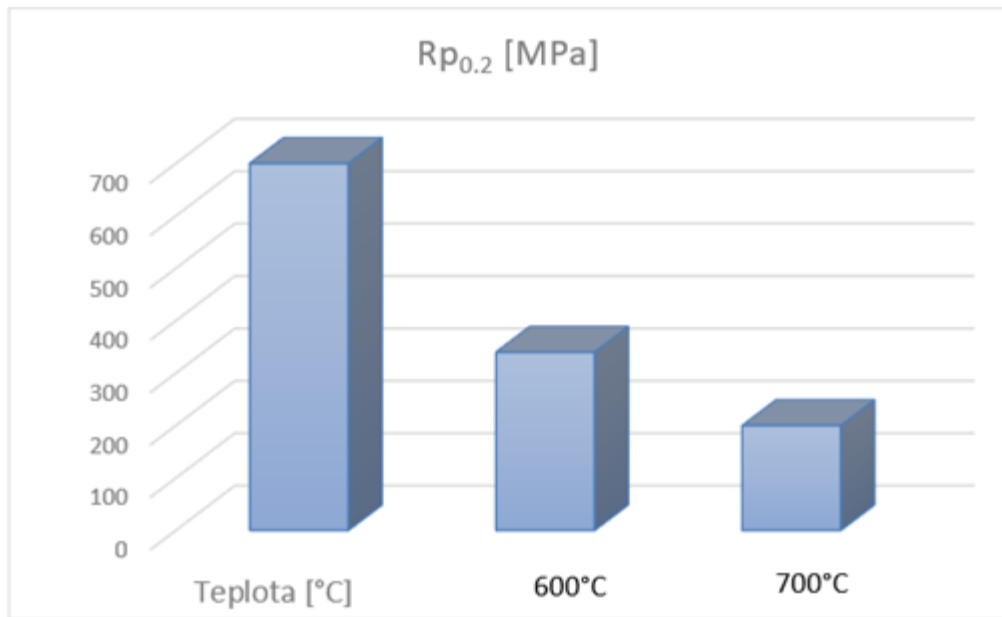
Slitina podle tohoto vynálezu je určena pro výrobky určené zejména do dvou průmyslových segmentů, a to pro vysokoteplotní aplikace do 1100 °C, kam patří například komponenty pecí, jako jsou nosné části, žáruvzdorné přepážky, rošty, mufler, odporová topná tělesa atd., a dále vysokoteplotní potrubí, trysky hořáků, šoupátka a ventily, a dále pro výrobky určené pro aplikace s velmi dobrou mechanickou a tribologickou odolností, nejméně do teploty 750 °C. Jako příklad lze uvést komponenty spalovacích motorů a turbodmychadel, součásti spalovacích, parních, plynových a paroplynových turbín, případně součásti brzdných zařízení, jako jsou kotouče, brzdové segmenty atd.

## PATENTOVÉ NÁROKY

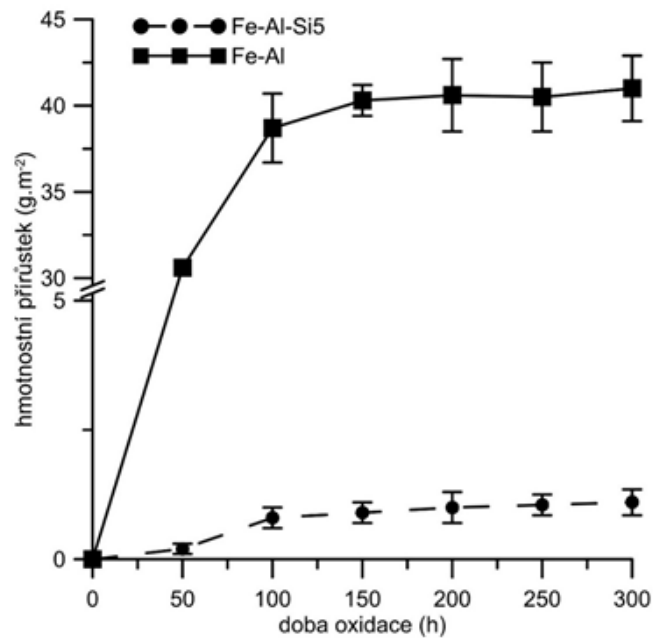
- 5 1. Slitina na bázi Fe-Al-Si-X s oxidační odolností při teplotách do 1100 °C a mechanickou a tribologickou odolností nejméně do teploty 750 °C, **vyznačující se tím**, že obsahuje slitinovou matici Fe-Al-Si s obsahem Al  $16 \pm 4$  % hmotn., Si  $6 \pm 4$  % hmotn., a alespoň jedním slitinovým prvkem X v množství  $4 \pm 3$  % hmotn., který je vybrán ze skupiny Zr, Cr, Nb, Ni, Ti, W, V a Mo, a zbytek je Fe.
- 10 2. Slitina podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje další alespoň jeden slitinový prvek Y v rozmezí od 0,01 do 1,5 % hmotn., vybraný ze skupiny prvků Zr, Cr, Nb, Ni, Ti, W, V, B a Sc, rozdílný od prvku X.
3. Použití slitiny podle nároku 1 nebo 2 pro lité polotovary.
4. Použití slitiny podle nároku 1 nebo 2 pro výrobky vybrané ze skupiny tvářený polotovar, drát určený k navařování a drát určený k žárovým nástřikům.
5. Použití slitiny podle nároku 1 nebo 2 pro výrobu prášku.
- 15 6. Použití slitiny podle nároku 5 ve formě prášků pro 3D tisk kovových materiálů, slinování a tvorbu funkčních vrstev realizovaných pomocí návarů a nástřiků za studena či žárových, případně pro technologie vstřikování kovových prášků.

2 výkresy

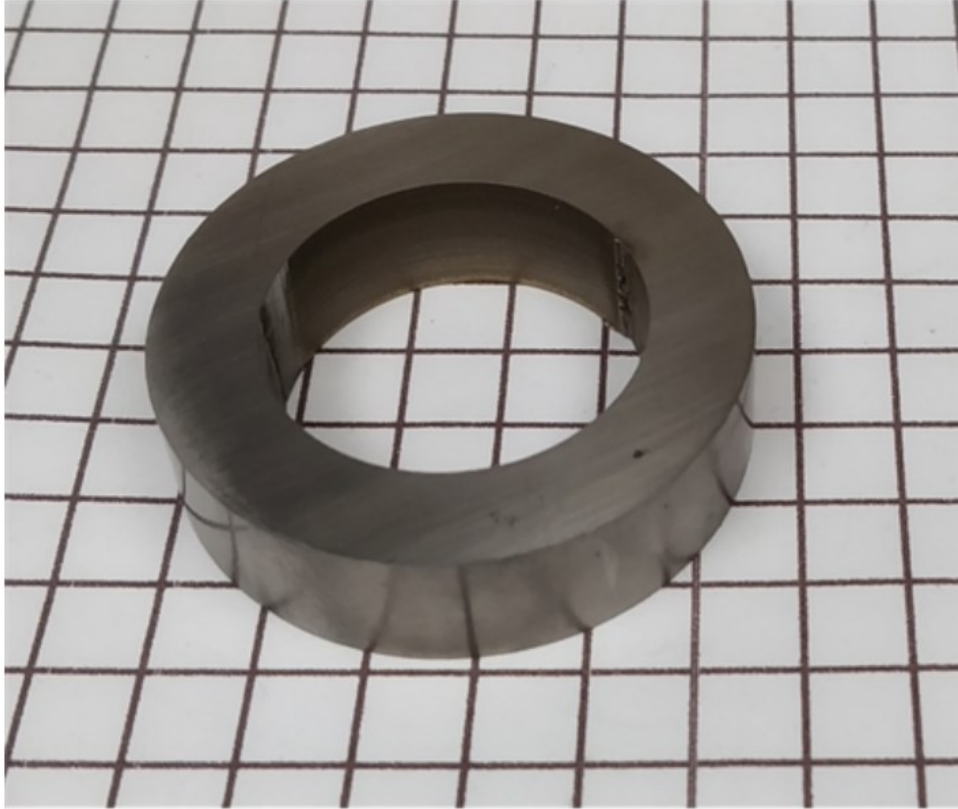
20



Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3