



INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2005

NÁRODNÍ KONFERENCE

s mezinárodní účastí

Svratka, Česká republika, 9. - 12. května 2005

EQUIPMENT FOR SLOW COOLING OF CONTINUOUSLY CAST BILLETS

V. Minář , F. Ficek *

Summary: *This report deals with equipment for slow cooling of continuously cast billets. The equipment development mainly consisted in temperature computations – billet cooling speed, heat transmission through the equipment walls, thermal load of the structure from the billets being cooled and from the billets loaded into the adjacent equipment. Moreover, the thermal load influence on the equipment structure was examined when opened and its uninsulated parts radiated. The computations were performed using computer by the finite element method. We took the computation results into account when designing the equipment and heat shielding of its exposed parts.*

1. Úvod

Zařízení pro pomalé vychlazování kontisliťků - termokryty - slouží pro pomalé ochlazování paketů kontisliťků s vysokým obsahem uhlíku a legované oceli, které přicházejí z kontilití. Po vychlazení na požadovanou teplotu se pakety odebírají jeřábem pro další zpracování.

Konstrukce termokrytů umožňuje ukládání a odebírání paketů kontisliťků 50-ti tunovým jeřábem s C-háky ve 3 řadách a 2 oddělených vrstvách. Jeden termokryt umožňuje uložit jednu tavbu kontisliťků.

Regulování rychlosti vychlazování se provádí automatizovaným systémem s flexibilním programem, adaptovaným pro různé jakosti oceli.

* Ing.Vladimír Minář, Ing.František Ficek : ŽĎAS a.s, Strojírenská 6, 591 71 Žďár nad Sázavou, Česká republika, tel.+420 566 642 311, +420 566 642 595, fax.+420 566 642 846
e-mail:vladimir.minar@zdas.cz, frantisek.ficek@zdas.cz

2. Stručný popis termokrytů

Termokryty slouží pro ukládání paketů kontisliček o teplotě 1000°C do 3 řad a 2 vrstev. Pakety kontisliček jsou řízeně vychlazovány pomocí otvírání a zavírání větracích otvorů.

Nepohyblivé dno termokrytu je zvednuto nad úroveň podlahy a vyzděno vrstvami žáruvzdorných cihel.

Za účelem regulování režimu pomalého vychlazování materiálu jsou ve dnu otvory pro přívod vzduchu z haly, a na klenbě termokrytu – otvory pro odvod teplého vzduchu. Cirkulace vzduchu v termokrytu je provedena přirozenou cestou na účet tahu, který vzniká vzhledem k rozdílu hustoty přiváděného (chladného) a odváděného (teplého) vzduchu. Ve dnu termokrytu je provedeno potřebné množství pravoúhlých otvorů. Přívod vzduchu z haly k otvorům se uskutečňuje příčnými kanály s otvory. Příčné kanály mají výstup na obě strany termokrytu. Regulování toků chladicího vzduchu se provádí stupněm otevření horních otvorů. Otevření a zavření vík horních otvorů se provádí pomocí elektromechanických pohonů.

Na dně jsou umístěny spodní opěry pro ukládání spodní vrstvy paketů. Druhá vrstva kontisliček se ukládá na snímatelné horní opěry, které se ustavují přímo na spodní vrstvu paketů. Ustavení horních opěr na spodní vrstvu paketů se provádí mechanismy zdvihu horních opěr termokrytu, které mají možnost se zavěsit uvnitř termokrytu a spolu s ním sjíždět ze dna. Průhledy mezi vrstvami kontisliček zajišťují průchod uchopovače háku jeřábu.

Při ukládání a odebírání paketů se obě poloviny termokrytu přemísťují mimo prostor pro pakety.

Při ukládání prvních tří paketů do 1. vrstvy na spodní rošt, jsou horní rošty upevněny na polovinách termokrytů. Po uložení tří paketů dlouhých kontisliček nebo šesti krátkých první vrstvy, poloviny termokrytů s horními rošty vjedou do prostoru ukládání paketů, horní rošty se uloží na spodní vrstvu paketů kontisliček, a prázdné poloviny termokrytů odjedou z prostoru ukládání paketů.

Po zavezení 2. vrstvy paketů na horní rošty se termokryty přemísťují do pozice nad pakety pro zajištění regulovaného pomalého ochlazování.

Vyprazdňování termokrytů se provádí obráceně.

3. Technické parametry zařízení

- Kontisličky:
 - průřez kvadrát 150 a 170 mm
 - délka 4, 6, 9, 11 a 12 m
 - teplota 1000 °C
 - křivost kontisličky 5 mm/m
 - maximální křivost 50 mm
- Počet kontisliček v paketu od 1 do 16 ks
- Hmotnost jednoho paketu max. 43,0 tun
- Počet paketů v termokrytu:
 - pro dlouhé kontisličky 6 ks
 - pro krátké kontisličky 12 ks

4. Konstrukční řešení

Jeden termokryt sestává ze dvou samostatných polovin. Obě poloviny termokrytů včetně mechanismů pro pojezd, zvedání horních opěr a vlastního termokrytu, mají stejnou konstrukci.

Kostra termokrytu je tvořena ze svařovaných profilů tak, aby jeho konstrukční řešení umožňovalo přemístění horní opěry, pohyb poloviny krytu, zavěšení na halový jeřáb a uchycení pláště s izolací.

Vlastní plášť je svařen z plechů vyztužených profilovou ocelí. Na vnitřních stěnách je termokryt opatřen vláknitou izolací v tloušťce asi 200 mm (teplota na plášti je 100°C při teplotě kontislitků 1000°C).

V každé polovině termokrytu, v jeho horní části jsou komíny s klapkami. Rozměry komínů a jejich počet odpovídají požadované rychlosti chlazení paketů kontislitků od 5 do 25°C / hod.

Izolační těsnění kontaktu dvou polovin termokrytu je provedeno vláknitým materiálem, upevněným na čelech plášťů.

Mechanismy zvedání horního roštu a pojezdu termokrytů jsou umístěny na čelech rámu krytů.

Poloviny krytů se pohybují po kolejnicích. Na rámu poloviny krytu jsou uchycena čtyři pojezdová kola. Hnaná náprava je umístěna na čele rámu krytu a přes zubové spojky spojena s převodovkou s motorem.

Upevnění kolejnic krytů umožňuje dilataci s ohledem na tepelné zatížení.

Zvedání horního roštu je zajištěno převodovkou s motorem, upevněným na čele rámu krytu. Zvedání horního roštu se děje pomocí pák s táhly spojené s vozíkem, který se pohybuje ve vedení, které je upevněno na vnější straně krytu. To znamená, že do teplé zóny zasahují pouze páky horních roštů.

Otvírání a zavírání klapek komínů je zajištěno potřebným počtem elektropřevodovek, které jsou také upevněny na čele rámu krytu.

Měření teploty kontislitků uvnitř krytů se provádí pomocí termočlánků namontovaných na krytech.

Přívod elektrické energie je pomocí pohyblivých přívodů.



Obrázek 1 Termokryt při montáži ve výrobním závodě



Obrázek 2 Pohled na horní část termokrytu s komíny



Obrázek 3 Pohled na styčnou plochu poloviny termokrytu

5. Požadavky na výpočtové modelování

Termokryty jsou umístěny vedle sebe tzn. , že při zavážení žhavých kontisliček do jednoho otevřeného termokrytu, které probíhá po dobu cca 30 min, působí tento žhavý materiál na sousední zavřené termokryty tepelným sáláním.

Další tepelné zatížení působí na styčné plochy polovin termokrytu při jejich otevření a zaplňování daného termokrytu žhavým materiálem.

Tepelně nejvíce namáhanou částí termokrytu jsou horní opěry, na které se ukládá druhá vrstva paketů kontisliček a které jsou tepelnému zatížení vystaveny po celou dobu vychlazování uvnitř zařízení.

Pro konstrukci zařízení bylo nutné propočítat napětí a deformace ve výše uvedených částech zařízení a určit:

- deformace horních opěr na nichž je uložena druhá vrstva paketů kontisliček po několika pracovních cyklech zařízení
- vliv tepelného sálání kontisliček při zavážení na boční stěny sousedního termokrytu
- vliv tepelného sálání kontisliček při zavážení na styčné plochy polovin termokrytu

6. Výpočtové modelování při konstrukčním návrhu termokrytu

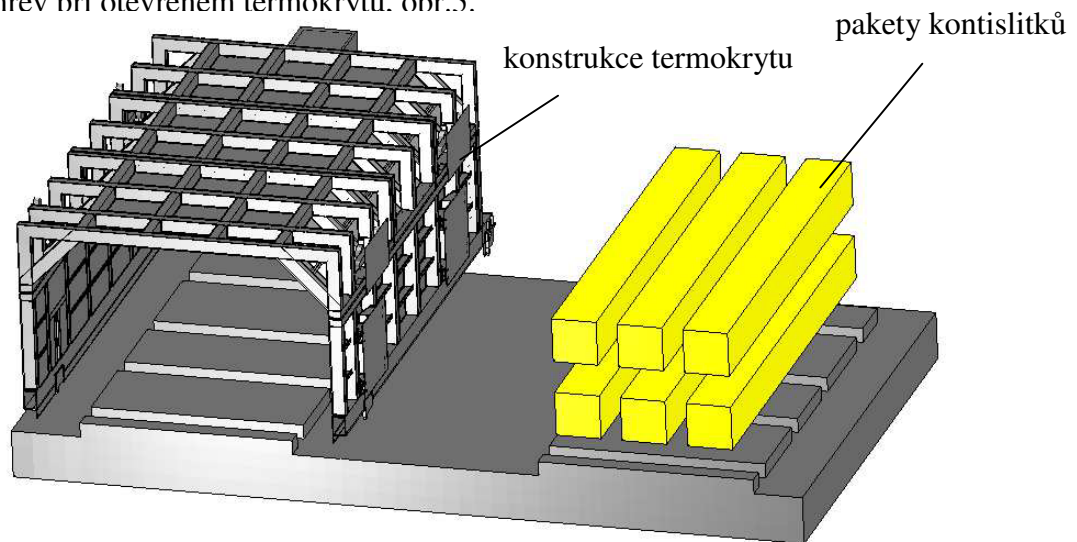
V průběhu konstrukčního návrhu termokrytu bylo ve značné míře využito výpočtové modelování metodou konečných prvků programovým systémem MSC.MARC. Výpočtové modelování bylo provedeno za účelem získání informací o chování nově navrhované konstrukce. Výsledky byly použity jak při posouzení původního konstrukčního provedení, tak při návrhu a zpětném posouzení konstrukčních změn.

Hlavní výsledky výpočtového modelování:

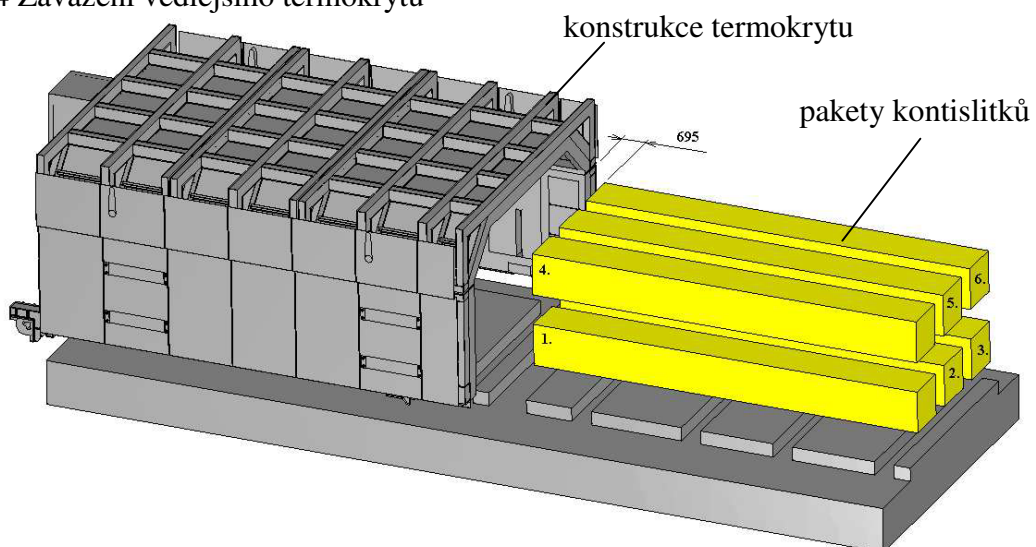
- nestacionární teplotní pole na všech řešených částech konstrukce.
- deformace řešených částí konstrukce za předpokladu pružně plastického chování materiálu.
- složky tenzoru napjatosti za předpokladu opakované pružně plastické deformace materiálu.

Podle způsobu tepelného zatížení konstrukce od ukládaných paketů kontislitků bylo výpočtové modelování provedeno v těchto základních fázích.

- zavážení termokrytu (ohřev od postupně ukládaných paketů).
- zavážení vedlejšího termokrytu (ohřev od ukládaných paketů vedlejšího termokrytu) obr.4
- čelní ohřev při otevřeném termokrytu. obr.5.



Obrázek 4 Zavážení vedlejšího termokrytu

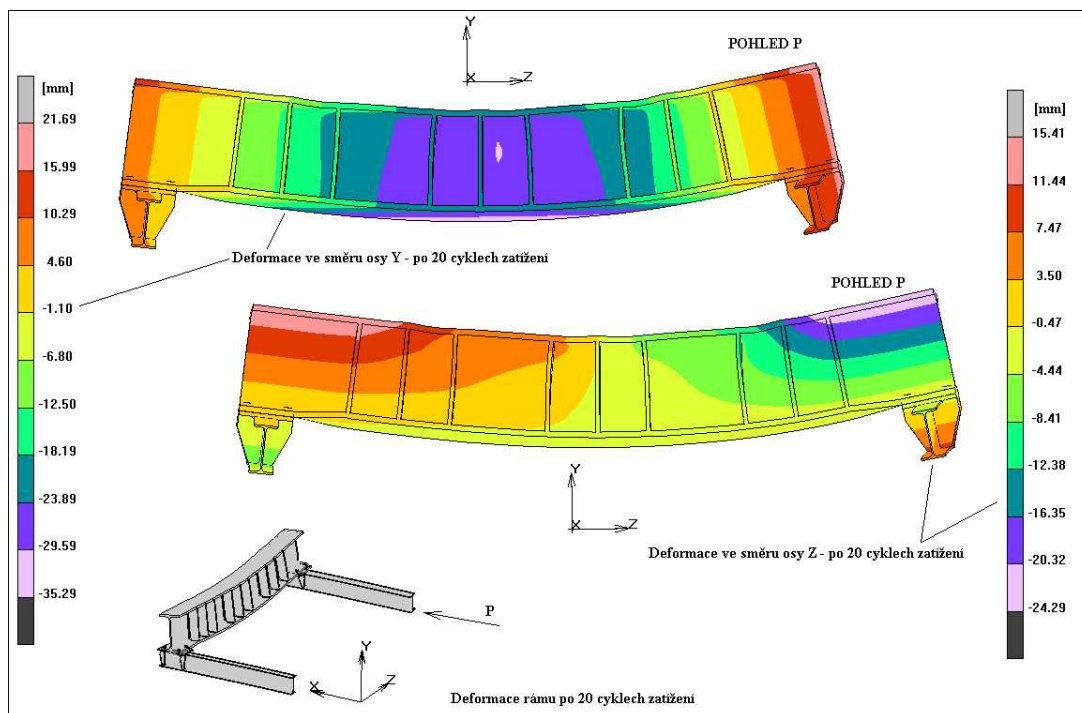


Obrázek 5 Čelní ohřev při otevřeném termokrytu

Na základě výsledků výpočtového modelování byly provedeny některé konstrukční změny.

- zavážení termokrytu (ohřev od postupně ukládaných paketů).

Zjištěny značné plastické deformace na tělese horních opěr. Při opakovaném použití termokrytu dochází k postupnému zvětšování těchto plastických deformací až do velikosti průhybu cca 57 mm po 20 cyklech použití termokrytu. Deformovaný tvar rámu po 20 cyklech použití termokrytu je uveden na obr.6.



Obrázek 6 Deformace horních opěr po 20 cyklech použití termokrytu

Na základě výsledků byly provedeny konstrukční úpravy s cílem podstatně zmenšit plastické deformace horních opěr. Po provedení konstrukčních úprav došlo ke snížení trvalých deformací opěr při opakovaném použití termokrytu z hodnoty 57 mm na 2.0 mm. Na tomto místě je vhodné poznamenat, že střední provozní teplota opěr je 750 °C.

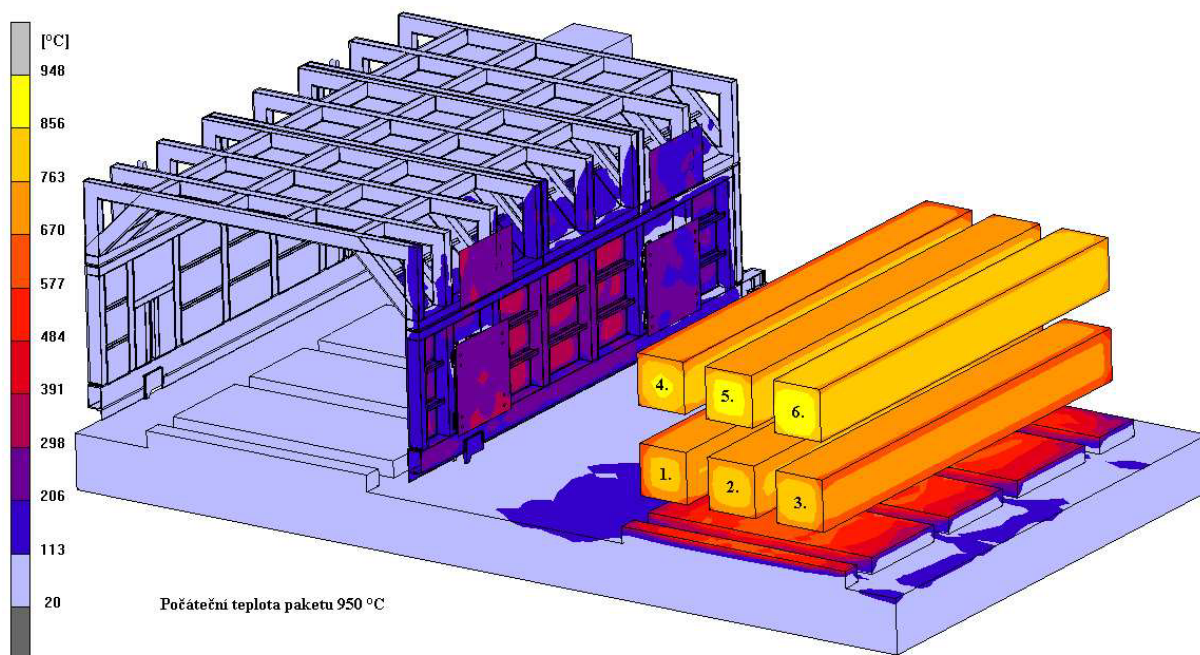
- zavážení vedlejšího termokrytu (ohřev od ukládaných paketů vedlejšího termokrytu)

Na základě výsledků výpočtu byly zjištěny rozsáhlé plastické deformace bočních plechů základní ocelové konstrukce. Na základě vysokých hodnot tlakových napětí vznikly rovněž obavy ze vzniku mezního stavu ztráty stability („boulení“) těchto bočních krycích plechů.

Po provedení konstrukční úpravy spočívající v přidání krycích (stínících) plechů na boční stěny a opakování výpočtu byl na základě výsledků zjištěn:

- významný pokles hodnot tlakových napětí o cca 65 %.
- nulový výskyt plastických deformací.

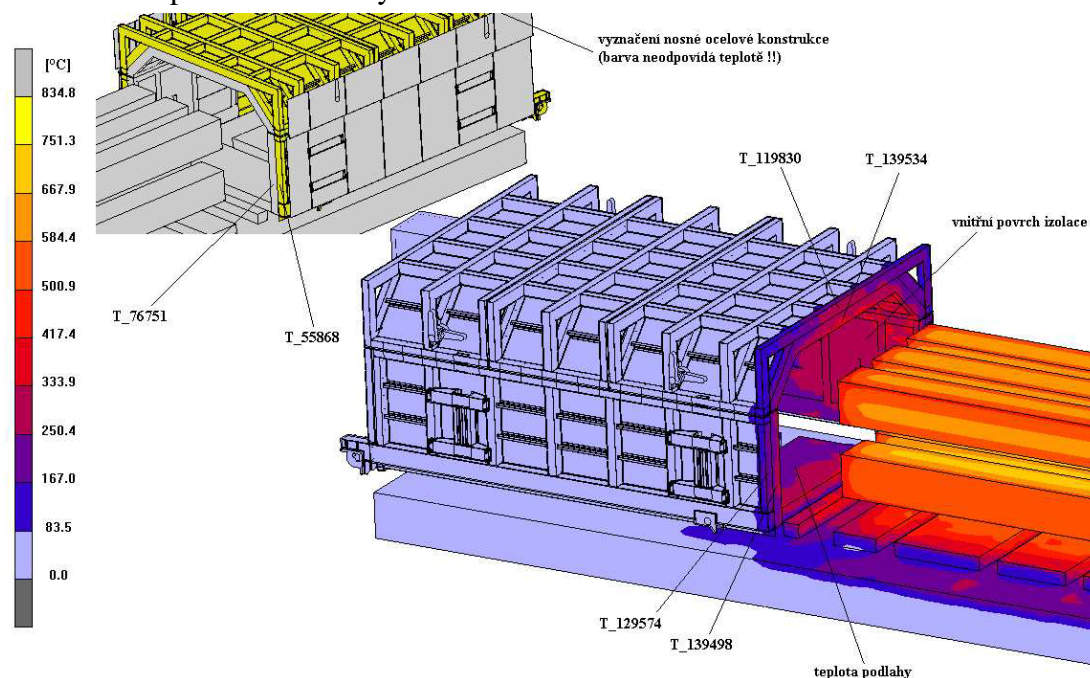
Důležitým výsledkem jsou rovněž deformace ocelové konstrukce rámu způsobené zejména nerovnoměrným rozložením teploty. Pro informaci, např. deformace v místě pojezdových kol ve směru kolmém na kolejnici činí cca 20 mm.



Obrázek 7 Povrchová teplota při zavážení vedlejšího termokrytu (bez stínění)

- čelní ohřev při otevřeném termokrytu.

Při analýze původního konstrukčního provedení bez tepelně izolačních desek na čele termokrytu byl zjištěn výskyt makroplastických deformací čela ocelové konstrukce. Následkem těchto deformací dojde ke ztrátě rovinnosti čela termokrytu. Na čele termokrytu je umístěno těsnění obou jeho polovin. Vlivem ztráty rovinnosti dojde následně ke ztrátě těsnosti obou polovin termokrytu.



Obrázek 8 Příklad rozložení teploty při čelním ohřevu otevřeného termokrytu

7. Závěr výpočtového modelování při konstrukčním návrhu termokrytu

Na základě výsledků výpočtového modelování byla provedena řada konstrukčních úprav v průběhu celého konstrukčního návrhu termokrytu. Navržená konstrukce by měla splňovat požadované parametry bez vzniku plastických deformací. Životnost nosné ocelové konstrukce je z hlediska mezního stavu únavy neomezená. Životnost horních opěr je odhadována na cca 5 roků podle intenzity používání. Z výsledků výpočtů vyplynula nutnost odstínění vnějších bočních stěn termokrytů plechem viz obrázek 1 a tepelné izolace styku obou polovin termokrytu pomocí izolačních desek viz obrázek 3.