

Výroční škola strojářů a textilních inženýrů

Instalace řádu práce

Podle strojářů

Instalace textilních inženýrů

číslo 12 - 07 - 3 - strojářská výroba je
včetně ...

Výroční škola strojářů a textilních inženýrů

Výroční škola strojářů a textilních inženýrů

1907 - 01 - 194

1907 - 01 - 194

Výroční práce: Ing. Jan Jiránek

Zpracování: Ing. Robert Štěpán, Olda - 1. 1. 1907

Ing. Aleš Křížek - 1. 1. 1907

Podle strojářů: 70

Podle textilních: 12

Podle strojářů: 12

Podle textilních: 12

V Liberci 11. 1. 1907

Vysoká škola: strojní a textilní Fakulta: strojní
Katedra: obrábění a montáže Školní rok: 1986/87

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Hana Tomášková
obor 23-07-8 strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Válcové frézování slitin hliníku a vyhodnocování
morfologie povrchu

Zásady pro vypracování:

1. Průzkum současného stavu řešené problematiky
2. Obrobitelnost hliníkových slitin
3. Určení metodiky zkoušek pro zkoumání povrchových vrstev obrobků ze slitin hliníku
4. Vyhodnocování morfologie povrchu
5. Závěr

V 316 / 87 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8
PSČ 461 17

KOM/OM

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 50 stran

Seznam odborné literatury:

Neckář, F.: Měření zbytkového pnutí v povrchové vrstvě kalené oceli po broušení. Strojírenství, 13, 1963, č. 12, s. 934

Mašín, I.: Obrábění Al-slitin válcovým frézováním /Diplomová práce/ Liberec 1986 - VŠST Liberec. Fakulta strojní.

Štěpán, J.: Vliv řezných podmínek při frézování na kvalitu povrchové vrstvy. /Diplomová práce. Praha 1971, ČVUT

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Jersák

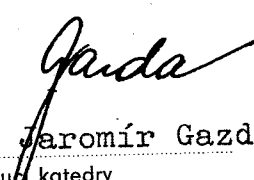
Konzultant: Ing. Robert Kvapil, CSc. - VŠST Liberec

Ing. Aleš Průšek - VŠST Liberec

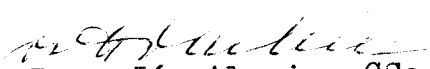
Datum zadání diplomové práce: 6. 10. 1986

Termín odevzdání diplomové práce: 11. 5. 1987

L.S.


Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc.

Vedoucí katedry


Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc.

Děkan

v Liberci dne 30. 9. 1986

Vysoká škola strojařská a textilní
Katedra Řízení práce

Phallu strof

For a more detailed description of the model, see the Appendix.

číslo 13 - 01 - 3 - střešinná z omietky
zeměpisná mapa s výškovými údaji

VALLOUF "RECHENFELD" LANGE, 1. JAHRE
 1. VYCHOVACÍHO NEFEDSKÉHO ROČNÍKU

107 - 02 - 404

1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 2034 2035 2036 2037 2038 2039 2040 2041 2042 2043 2044 2045 2046 2047 2048 2049 2050 2051 2052 2053 2054 2055 2056 2057 2058 2059 2060 2061 2062 2063 2064 2065 2066 2067 2068 2069 2070 2071 2072 2073 2074 2075 2076 2077 2078 2079 2080 2081 2082 2083 2084 2085 2086 2087 2088 2089 2090 2091 2092 2093 2094 2095 2096 2097 2098 2099 2100 2101 2102 2103 2104 2105 2106 2107 2108 2109 2110 2111 2112 2113 2114 2115 2116 2117 2118 2119 2120 2121 2122 2123 2124 2125 2126 2127 2128 2129 2130 2131 2132 2133 2134 2135 2136 2137 2138 2139 2140 2141 2142 2143 2144 2145 2146 2147 2148 2149 2150 2151 2152 2153 2154 2155 2156 2157 2158 2159 2160 2161 2162 2163 2164 2165 2166 2167 2168 2169 2170 2171 2172 2173 2174 2175 2176 2177 2178 2179 2180 2181 2182 2183 2184 2185 2186 2187 2188 2189 2190 2191 2192 2193 2194 2195 2196 2197 2198 2199 2200 2201 2202 2203 2204 2205 2206 2207 2208 2209 2210 2211 2212 2213 2214 2215 2216 2217 2218 2219 2220 2221 2222 2223 2224 2225 2226 2227 2228 2229 2230 2231 2232 2233 2234 2235 2236 2237 2238 2239 2240 2241 2242 2243 2244 2245 2246 2247 2248 2249 2250 2251 2252 2253 2254 2255 2256 2257 2258 2259 2260 2261 2262 2263 2264 2265 2266 2267 2268 2269 2270 2271 2272 2273 2274 2275 2276 2277 2278 2279 2280 2281 2282 2283 2284 2285 2286 2287 2288 2289 2290 2291 2292 2293 2294 2295 2296 2297 2298 2299 2300 2301 2302 2303 2304 2305 2306 2307 2308 2309 2310 2311 2312 2313 2314 2315 2316 2317 2318 2319 2320 2321 2322 2323 2324 2325 2326 2327 2328 2329 2330 2331 2332 2333 2334 2335 2336 2337 2338 2339 2340 2341 2342 2343 2344 2345 2346 2347 2348 2349 2350 2351 2352 2353 2354 2355 2356 2357 2358 2359 2360 2361 2362 2363 2364 2365 2366 2367 2368 2369 2370 2371 2372 2373 2374 2375 2376 2377 2378 2379 2380 2381 2382 2383 2384 2385 2386 2387 2388 2389 2390 2391 2392 2393 2394 2395 2396 2397 2398 2399 2400 2401 2402 2403 2404 2405 2406 2407 2408 2409 2410 2411 2412 2413 2414 2415 2416 2417 2418 2419 2420 2421 2422 2423 2424 2425 2426 2427 2428 2429 2430 2431 2432 2433 2434 2435 2436 2437 2438 2439 2440 2441 2442 2443 2444 2445 2446 2447 2448 2449 2450 2451 2452 2453 2454 2455 2456 2457 2458 2459 2460 2461 2462 2463 2464 2465 2466 2467 2468 2469 2470 2471 2472 2473 2474 2475 2476 2477 2478 2479 2480 2481 2482 2483 2484 2485 2486 2487 2488 2489 2490 2491 2492 2493 2494 2495 2496 2497 2498 2499 2500 2501 2502 2503 2504 2505 2506 2507 2508 2509 2510 2511 2512 2513 2514 2515 2516 2517 2518 2519 2520 2521 2522 2523 2524 2525 2526 2527 2528 2529 2530 2531 2532 2533 2534 2535 2536 2537 2538 2539 2540 2541 2542 2543 2544 2545 2546 2547 2548 2549 2550 2551 2552 2553 2554 2555 2556 2557 2558 2559 2560 2561 2562 2563 2564 2565 2566 2567 2568 2569 2570 2571 2572 2573 2574 2575 2576 2577 2578 2579 2580 2581 2582 2583 2584 2585 2586 2587 2588 2589 2590 2591 2592 2593 2594 2595 2596 2597 2598 2599 2600 2601 2602 2603 2604 2605 2606 2607 2608 2609 2610 2611 2612 2613 2614 2615 2616 2617 2618 2619 2620 2621 2622 2623 2624 2625 2626 2627 2628 2629 2630 2631 2632 2633 2634 2635 2636 2637 2638 2639 2640 2641 2642 2643 2644 2645 2646 2647 2648 2649 2650 2651 2652 2653 2654 2655 2656 2657 2658 2659 2660 2661 2662 2663 2664 2665 2666 2667 2668 2669 2670 2671 2672 2673 2674 2675 2676 2677 2678 2679 2680 2681 2682 2683 2684 2685 2686 2687 2688 2689 2690 2691 2692 2693 2694 2695 2696 2697 2698 2699 2700 2701 2702 2703 2704 2705 2706 2707 2708 2709 2710 2711 2712 2713 2714 2715 2716 2717 2718 2719 2720 2721 2722 2723 2724 2725 2726 2727 2728 2729 2730 2731 2732 2733 2734 2735 2736 2737 2738 2739 2740 2741 2742 2743 2744 2745 2746 2747 2748 2749 2750 2751 2752 2753 2754 2755 2756 2757 2758 2759 2760 2761 2762 2763 2764 2765 2766 2767 2768 2769 2770 2771 2772 2773 2774 2775 2776 2777 2778 2779 2780 2781 2782 2783 2784 2785 2786 2787 2788 2789 2790 2791 2792 2793 2794 2795 2796 2

Verneš předst: Ing. Jan Červák
Konzultant: Ing. Robert Svoboda, ČSc. - VVÚP Liberec
Ing. Aleš Bužek - VVÚP Liberec

Počet stran: 76
 Počet tabulek: 12
 Počet obrázků: 12
 Počet příloh: 12

V LIBRARY OF THE U.S. DEPT. OF JUSTICE

Vysoká škola strojní a textilní Liberec
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

obor 23 - 07 - 8 - strojírenská technologie
zaměření o b r á b ě n í a m o n t á ž e

VÁLCOVÉ FRÉZOVÁNÍ SLITIN ALUMÍNÍU
A VYHODNOCOVÁNÍ MORFOLOGIE POVRCHU

KOM - OM - 494

Hana T o m á š k o v á

Vedoucí práce: Ing. Jan Červák

Konzultant: Ing. Robert Kvapil, CSc - VŠST Liberec
Ing. Aleš Průšek - VŠST Liberec

Počet stran: 76

Počet tabulek: 13

Počet obrázků: 22

Počet příloh: 13

V Liberci 11. 9. 1987

Vysoká škola strojní a textilní Liberec
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

obor 23 - 07 - 8 - strojírenská technologie
zaměření o b r á b ě n í a m o n t á ž e

VÁLCOVÉ FRÉZOVÁNÍ SLITIN HLINÍKU
A VYHODNOCOVÁNÍ MORFOLOGIE POVRCHU

KOM - OM - 494

Hana T o m á š k o v á

Vedoucí práce: Ing. Jan Jersák

Konzultant: Ing. Robert Kvapil, CSc - VŠST Liberec
Ing. Aleš Průšek - VŠST Liberec

Počet stran: 76

Počet tabulek: 13

Počet obrázků: 22

Počet příloh: 13

V Liberci 11. 5. 1987

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci dne 11. 5. 1987

Tomášková Hana

Tomášková Hana

O B S A H

Seznam příloh	7
Seznam použitých zkratk a symbolů	8
1. Úvod	9
2. Obrobitelnost hliníkových slitin	11
2.1. Vlastnosti hliníku	11
2.2. Obrobitelnost hliníkových slitin	12
3. Řezné podmínky při obrábění Al - slitin	13
3.1. Optimální řezné úhly	13
3.1.2. Požadavky na nástroje	13
3.2. Řezná rychlost	14
3.3. Posuv a hloubka řezu	15
3.4. Řezné kapaliny	15
3.5. Obráběcí stroje	16
4. Způsoby obrábění	18
4.1. Soustružení	18
4.2. Hoblování a obrážení	19
4.3. Frézování	19
4.3.1. Frézování běžnými rychlostmi	19
4.3.2. Vysokorychlostní frézování	22
4.4. Dělení materiálu na kotoučových nebo rámcových pilách	24
4.5. Protahování	25
4.6. Vrtání	25
4.7. Vyhrubování a vystružování	26
4.8. Řezání závitů	27
4.9. Broušení	28
4.10. Leštění	28

5. Kvalitativní hodnocení obrábění	29
5.1. Drsnost povrchu	29
5.1.1. Úchytky drsnosti povrchu	29
5.1.2. Parametry určující drsnost povrchu	30
5.1.3. Způsoby měření drsnosti obrobeného povrchu	32
5.2. Mechanismus vzniku zbytkového pnutí	32
5.2.1. Povrchová vrstva	32
5.2.2. Klasifikace napětí v uzavřených kovových polykrystalických materiálech	32
5.2.3. Příčiny vzniku zbytkového pnutí	34
5.2.4. Účinek zbytkových pnutí	35
5.2.5. Metodika zjišťování zbytkových pnutí	36
5.3. Měření mikrotvrdomosti	38
6. Metodika zkoušek a kvalitativní hodnocení obrábění hliníkových slitin po válcovém frézování	39
6.1. Obráběcí stroj	40
6.2. Řezný nástroj	41
6.3. Zkušební materiál	42
6.3.1. Výňatek ze zprávy VÚK - 22/84	42
6.3.2. Vzorek pro metalurgický výbrus	44
6.3.3. Měření mikrotvrdomosti	46
6.4. Řezné podmínky	49
6.5. Upnutí polotovaru	49
6.6. Vlastní frézování	50
6.7. Příprava vzorků	51
6.8. Měření drsnosti povrchu	52
6.9. Měření morfologie povrchu	53

7. Výsledky a vyhodnocení měření	56
7.1. Drsnost povrchu	56
7.2. Morfologie povrchu	55
7.3. Zpevnění povrchové vrstvy a zbytkové pnutí	70
8. Závěr	71
9. Použitá literatura	75

SEZNAM PŘÍLOH

- 1 výkres: upínací přípravek /1-KOM-OM-475-01/
- 2 výkres: vrtací přípravek /3-KOM-OM-475-02/
- 3 výkres: fréza 50 x 50 PNL 2355 /3-KOM-OM-475-03/
- 4 výkres: šroub /4-KOM-OM-475-04/
- 5 výkres: krátký vzorek /4-KOM-OM-475-05/
- 6 výkres: dlouhý vzorek /4-KOM-OM-475-06/
- 7 výkres: tvarový vzorek /4-KOM-OM-475-07/
- 8 výkres: tvarový přípravek /2-KOM-OM-475-08/
- 9 odběrový plán /7 listů/
- 10 tabulka přiřazení řezných podmínek k vzorkům
- 11 naměřené hodnoty drsnosti Ra, Rm /11.a/, 11.b//
- 12 fotografie zhotovené na mikroskopu NEOPHOT /9 listů/
- 13 fotografie zhotovené na REM /8 listů/

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

- α_0 - úhel hřbetu
- β_0 - úhel břitu $[\beta_0 = 90^\circ - (\alpha_0 + \gamma_0)]$
- γ_0 - úhel čela
- κ_r - hlavní úhel nastavení
- κ'_r - vedlejší úhel nastavení
- λ_s - úhel sklonu ostří
- ξ_r - úhel špičky
- r_ε - poloměr špičky
- RO - rychlořezná ocel
- SK - slinutý karbid
- NO - nástrojová ocel
- h - hloubka řezu
- s - posuv
- s_z - posuv na zub
- R_m - mez pevnosti v tahu
- R_p - mez pevnosti v kluzu
- HV.0,02 - mikrotvrдость při zatížení 0,1962 N
- REM - rastrovací elektronový mikroskop
- TL - zesilovač nosné frekvence
- Ra - střední aritmetická úchylka
- Rz - výška nerovností
- R_m - maximální výška nerovností

1. ÚVOD

Uspokojování rostoucích potřeb národního hospodářství i obyvatelstva a zvyšování efektivnosti v 8. pětiletce bude rozhodujícím způsobem určováno rozvojem průmyslové výroby, která se má do roku 1990 zvýšit o 15 - 18 procent.

V současné době je ve světě věnována stále větší pozornost efektivnímu využití energií a surovin. Je to jednak dáno určitou vyčerpatelností jejich zdrojů na zemi, jednak úspornými opatřeními v důsledku dobrodružné válečné výroby určité části lidstva.

Jednou ze surovin, která se dostává stále více do popředí všeobecného zájmu, je hliník. Hliník je kov, který je lidstvu znám poměrně krátkou dobu. V kovové podobě byl hliník poprvé připraven v roce 1854, avšak o průmyslové výrobě hliníku lze mluvit až na přelomu 19. a 20. století. Výroba i použití hliníku a jeho slitin vykazovalo stále narůstající tendenci. V roce 1888 bylo např. vyrobeno 14 tun Al, v roce 1940 již 793 000 tun a v roce 1980 bylo vyrobeno 15 mil. tun hliníku /20/.

Veliký význam hliníku pro rozvoj techniky vedl k tomu, že se v roce 1953 začal vyrábět i u nás. Objemem výroby jsme v současné době již předstihli nejstarší výrobce tohoto kovu v Evropě /Belgie, Anglie/.

Přestože výroba hliníku je u nás vysoká, celkové prozkoumání chování hliníku za určitých řezných podmínek chybí. Tento jev se vysvětluje tím, že pro obrábění hliníku z jeho slitin jsou nutné vysoké řezné rychlosti, které na strojích pro ocel nelze dosáhnout. Se vzrůstající úrovní nové techniky se nám otvírají nové možnosti a tím i potřeba prozkoumání nejoptimálnějších řezných podmínek pro dosažení spolehlivosti a dobré kvality výrobků z hliníku a jeho slitin. Z těchto důvodů byl zadán státní úkol katedře obrábění a montáže VŠST v Liberci. Vyřešení tohoto úkolu má přivést souhrnnou zprávu o vlivu čelního a válcového frézování slitin hliníku na obrobe- nou povrchovou vrstvu.

Státní úkol byl rozdělen na dva samostatné bloky :

- a/ čelní frézování,
- b/ válcové frézování.

Kvalitativní vyhodnocení válcového frézování je příliš obsáhlá práce, a proto byla rozdělena mezi dva diplomanty: mě /válcové frézování slitin hliníku a vyhodnocování morfologie povrchu/ a Pavla Sladkovského /vliv řezných podmínek při válcovém frézování Al - slitin na napjatost a zpevnění povrchové vrstvy po obrábění/.

Oba jsme měli společnou přípravu vzorků, kterou jsme si rozdělili tak, že P. Sladkovský provedl návrh a výkresovou dokumentaci přípravku /pro upínání a vrtání vzorků/ , vzorků /tvarového, dlouhého a krátkého/ a upravil výkres frézy 50 x 50 PNI 2350 /13/ . A já jsem provedla praktickou přípravu vzorků a návrh a výkresovou dokumentaci odběrového plánu.

2. OBROBITELNOST HLINÍKOVÝCH SLITIN

2.1. Vlastnosti hliníku a jeho slitin

Hliník patří mezi nejběžnější technické kovy, je nepolymorfní kov, bílé barvy, o měrné hmotnosti $2,69 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$. Krystalizuje v soustavě krychlové, plošně středěné. Tavicí teplota hliníku je 660°C , bod varu $2\,060^\circ \text{C}$. Elektrická vodivost se pohybuje v rozmezí $30 - 36 \cdot 10^6 \text{ Sm}^{-1}$. Tepelná vodivost za teploty 20°C je $222 \text{ J.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Mechanické vlastnosti hliníku závisí na jeho čistotě a zpracování. Ve stavu vyžíhaném /měkkém/ má hliník pevnost v tahu 60 MPa a tažnost 25% . Tvářením za studena lze čistý hliník zpevnit na 160 až 200 MPa . Modul pružnosti v tahu E_p je $72\,000$ až $75\,000 \text{ MPa}$, ve smyku τ $27\,000 \text{ MPa}$.

Na vzduchu je hliník stálý: povléká se vrstvičkou Al_2O_3 , která jej chrání před další oxidací. Odolává poměrně dobře mořské vodě a slabším kyselinám /i koncentrované kyselině dusičné/. Koroduje však ve styku s louhy a špavkem. Čistý hliník je velmi špatně slévatelný, avšak velmi dobře tvárný za tepla i za studena.

Použití hliníku v různých průmyslových odvětvích je dáno především jeho dobrou elektrickou vodivostí, které činí asi 60% vodivosti mědi, dále dobrou tepelnou vodivostí, malou měrnou hmotností, dobrou chemickou odolností, tvárností a možností rozmanité úpravy povrchu.

Slitiny $\text{Al} - \text{Cu} - \text{Mg}$ jsou používány nejčastěji a jsou známe pod obchodním označením dural nebo duralumínium. Tepelné zpracování slitin $\text{Al} - \text{Cu} - \text{Mg}$ spočívá v ohřevu na teplotu v rozmezí $480 - 520^\circ \text{C}$ /nad křivku změny rozpustnosti/, prodlevě na této teplotě 20 až 60 minut, zamočení do vody 20°C a přirozeného vytvrzování po dobu 5 až 7 dnů.

Dosažená pevnost v tahu σ_{p} je 430 MPa. Vytvrzují-li se slitiny za teploty 150° C, dosáhne se maximální pevnosti již za několik hodin; dosažená pevnost je však nižší /420 MPa/.

Slitiny Al - Cu - Mg se používají do pracovních teplot ~ 50° C na konstrukční části letadel, automobilů a všude tam, kde je požadována při dostatečné pevnosti malá měrná hmotnost. Jejich nevýhodou je snížená chemická odolnost a to i proti atmosferickým vlivům. Proto se vývalky, zejména plechy, plátují čistým hliníkem nebo slitinou Al - Mg - Mn.

2.2. Obrobitelnost hliníkových slitin /1/

Obrobitelnost hliníkových slitin závisí na složení slitiny, její struktuře a technologickém zpracování. U hliníkových slitin má velký vliv na obrobitelnost obsah křemíku; se vzrůstajícím obsahem Si se snižuje obrobitelnost. Přítomnost Cu ve slitině hliníku eliminuje nepříznivý vliv Si na obrobitelnost, poněvadž vytváří fázi CuAl_2 , která je měkká a snadno obrobitelná.

Podle obrobitelnosti dělíme hliníkové slitiny na:

- I. Tvárné slitiny - obrobitelnost těchto slitin je poměrně dobrá, pokud nejsou ve stavu tepelně zušlechťeném, kdy mají sklon k nalepování třísky. Tříska je dlouhá, proto se nehodí běžné slitiny pro práci na automatech. Krátkou lámavou třísku mají jen slitiny s přídavkem olova.
- II. Slévárenské slitiny - jsou dobře obrobitelné, nevytvrzené slitiny mají sklon k nalepování. Tříska je krátká, takže lze tyto slitiny obrábět na automatech.
- III. Slévárenské slitiny s vyšším obsahem křemíku /nad 6 %/ - nejhůře obrobitelné slitiny. Čím vyšší je obsah křemíku, tím je obrobitelnost horší. Hospodárně lze tyto slitiny obrábět jen nástroji ze slinutých karbidů.

3. ŘEZNÉ PODMÍNKY PŘI OBRÁBĚNÍ AL - SLITIN

3.1. Optimální řezné úhly

Volba optimálních řezných úhlů je jedna z cest vedoucích ke zvýšení trvanlivosti nástrojů. Pro kusovou výrobu lze používat nástroje, které jsou dodány s normalizovanou geometrií břitu.

Optimální řezné úhly /úhly pro soustružnické nože/ /2/:

a/ silumin - $\alpha_o = 8^\circ$, $\gamma_o = 10^\circ$ pro obrábění RO

$\alpha_o = 6^\circ$, $\gamma_o = 6^\circ$ pro obrábění SK

b/ ostatní Al - slitiny - $\alpha_o = 15^\circ$, $\gamma_o = 25^\circ$ pro obrábění RO

$\alpha_o = 10^\circ$, $\gamma_o = 20^\circ$ pro obrábění SK

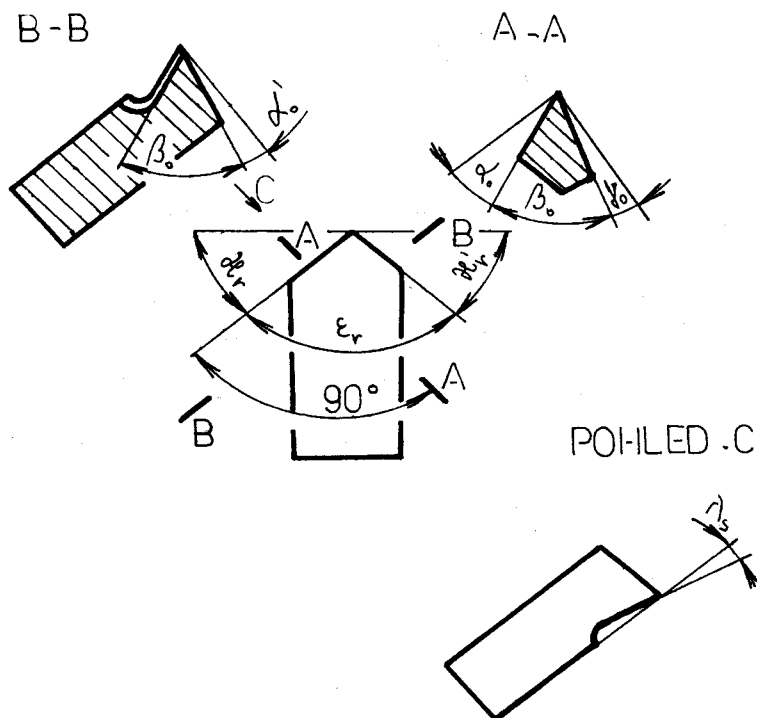
3.1.2. Požadavky na nástroje

Běžné nástroje pro obrábění ocelí jsou pro hliníkové slitiny nevhodné. Na tvar pro obrábění lehkých kovů jsou kladeny tyto požadavky:

a/ musí mít velký úhel špičky nože ϵ_r , takže vedlejší úhel nastavení κ_r^1 bývá jen $1^\circ - 2^\circ$. /1/.

b/ u vícebřitých nástrojů musí být mezery mezi břity leštěny a dostatečně dimensovány pro odvod velkého množství třísek.

c/ k dosažení trvanlivosti, dobrého odvodu třísek, požadované jakosti povrchu má být ostří lapováno.



Obr. 1 - Geometrie soustružnického nože

3.2. Řezná rychlost

Všechny slitiny hliníku jsou způsobilé pro obrábění za vysokých řezných rychlostí, jestliže se bere v úvahu jen proces řezání a odcházení třísky. Avšak pro některé slitiny platí, že při vyšších rychlostech dochází k velkému opotřebení nástrojů. Toto opotřebení je neslučitelné s optimální ekonomickou účinností obrábění.

Zkušenosti a pokusy ukazují, že obsah křemíku u hliníkových slitin je určujícím faktorem opotřebení nástroje.

Řezná rychlost se určuje na základě požadované hodnoty hospodárné trvanlivosti /2/:

$$v_T = \frac{K}{T_{\bar{m}}^{\frac{1}{X_V}} \cdot h^{\frac{Y_V}{s}}} \cdot k_m \cdot k_n \cdot k_{\alpha_r} \cdot k_{\alpha'_r} \cdot k_{\epsilon_r} \cdot k_{ch} \cdot k_h \quad (1)$$

Ttrvanlivost břitu

v_T je taková řezná rychlost, při níž trvanlivost břitu

T_{min} je celková práce nástroje

K konstanta, která určuje vliv způsobu práce
 k_m vliv materiálu obrobku
 k_n vliv materiálu nástroje
 k_{α_v} ... vliv úhlu nastavení hlavního ostří
 $k_{\alpha'_v}$... vliv úhlu nastavení vedlejšího ostří
 k_{ϵ_r} ... vliv poloměru zaoblení špičky nože
 k_{ch} ... vliv řezné kapaliny
 k_h ... vliv velikosti opotřebení břitu
 h hloubka řezu
 s posuv

Pro zjednodušení se všechny konstanty slučují do jedné C_v . Hodnoty konstant C_v , X_v , Y_v , $\frac{1}{m}$ se hledají v tabulkách pro různé druhy obrábění.

3.3. Posuv a hloubka řezu

Hrubování - jde o odstranění co největšího množství kovu v co nejkratším čase. Malá průměrná mez elasticity hliníkových slitin nepovoluje používání velkých posuvů. Je vhodné zvýšit řeznou rychlost a hloubku řezu při hrubování, avšak nepřekročit posuv 0,3 mm/ot. /3/

Opracování na čisto - posuv je především závislý na drsnosti předepsané konečnému stavu výrobku. Hloubka řezu se mění v závislosti na přesnosti požadované práce.

3.4. Řezné kapaliny

Volba řezné kapaliny je velmi důležitá. Úkolem řezné kapaliny je chladit nástroj a obráběný předmět, zmenšit tření, mazat nástroj, zabránit nalepování materiálu na ostří nástroje a napomáhat odstraňování třísky z místa řezu.

Při vysokých řezných rychlostech činí přívod řezné kapaliny potíže. Proto se řezná kapalina přivádí obvykle rozprašováním pomocí stlačeného vzduchu.

Jako řezné kapaliny se používá vodních emulzí /z vrtacích olejů, nebo emulgačního tuku v poměru 1 : 10; pro soustružení při velkých rychlostech/. Pro obrábění na automatech se používá speciálních vrtacích olejů o nízké viskozitě. /3/

3.5. Obráběcí stroje

Na běžných obráběcích strojích je obrábění hliníkových slitin neekonomické. Zejména u malých součástí není možno dosáhnout optimálních řezných rychlostí.

Stroje pro obrábění Al - slitin můžeme získat upravením obráběcích strojů pro obrábění ocelí. Úpravu provedeme tak, že je doplníme výkonnějšími motory s velkým výkonem při vysokých otáčkách vřetene. V tabulce 1. jsou uvedeny doporučené hodnoty výkonu pro obrábění některých Al - slitin. Z tabulky vidíme, že výkon klesá s růstem úhlu čela. Výkon pro odebrání 1 000 cm³ materiálu se pohybuje v intervalu 9 - 45 kW.

Snaha pro zvýšení produktivity práce vede jednoznačně k vysokorychlostním způsobům obrábění s řeznými rychlostmi okolo 5 000 m . min⁻¹ a posuvovou rychlostí do 10 m . min⁻¹.

Jedním z hlavních úkolů pro vysokorychlostní obrábění je vývoj a stavba vysokorychlostního stroje. Předpokladem vysokých řezných rychlostí jsou systémy vřeten s počtem otáček až do 30 000 min⁻¹. Předním výrobcem současných vřeten je firma IBAG AG, která je dodává v osmi velikostech s maximálními otáčkami 2 400 min⁻¹ a výkonem P = 0,1 - 16 kW. Těmito vřeteny jsou modernizovány starší stroje, avšak nacházejí uplatnění i u pokrokových strojů s CNC řízením z obráběcích center.

Vřetena se vyznačují tím, že se na nich používá nástrojů s průměry o rozsahu 3 - 16 mm, které poskytují optimální otáčky s minimální radialní házivostí. Tuhá konstrukce dovo-luje použití pracovních posuvů až do hodnoty $7,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a umožňuje řezný výkon úběru až $1\,000 \text{ cm}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$. Takto lze proti konvenčnímu způsobu frézování dosáhnout vyšší pro-dukтивности práce o 300 %. /13/

Racionální obrábění hliníkových slitin vyžaduje použi-vání rychlých a výkonných strojů. Tato zařízení musí dovalo-vat odstraňování třísek, jejich odchod musí být značně rychlý, to je usnadněno při použití řezných kapalin /viz kap. 3.4./. Nízké řezné rychlosti se používají pouze v malo-seriové nebo kusové výrobě u strojů, které neslouží pouze pro obrábění Al - slitin.

TABULKA 1.: Doporučené hodnoty výkonu pro obrábění některých Al - slitin

Slitina	Výkon $[\text{kW} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{min}]$ pro úhel čela	
	$\gamma_c = 0^\circ$	$\gamma_c = 20^\circ$
Al - Si 5,5	0,009 - 0,022	0,009 - 0,018
Al - Si 7	0,013 - 0,045	0,011 - 0,020
Al - Cu - Mg	0,013 - 0,022	0,009 - 0,018
Al - Cu	0,009 - 0,013	0,007 - 0,011
Al - Mg - Si	0,013 - 0,022	0,011 - 0,016

4. ZPŮSOBY OBRÁBĚNÍ

Celkové srovnání téměř všech způsobů obrábění jsem získala z literatury z roku 1969. Ta je však v současné době již zastaralá, a proto některé hodnoty v této kapitole slouží jen pro získání přibližné představy.

4.1. Soustružení

Obvyklé rychloběžné soustruhy jsou vhodné pro soustružení hliníkových slitin, pokud je možno dosáhnout na nich požadovaných rezných rychlostí. Řezná rychlost se volí nad $90 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, protože při nižších rychlostech vzniká na soustružnickém noži nárůstek.

Řezné podmínky pro vznik nárůstku jsou pro:

a/ siluminy $v = 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $h = 5 \text{ mm}$

b/ tvářené slitiny

$v = 40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $h = 0,4 \text{ mm}$

TABULKA 2.: Doporučené úhly α, γ pro: $\alpha_r = 45^\circ$, $\lambda_s = 0^\circ$ /1/

Skupina materiálů	Materiál nástroje	Doporučené úhly nástroje	
		α [°]	γ [°]
I.	RO	8 - 10	30 - 40
	SK G 1	8 - 10	20 - 35
	SK H 1	8 - 10	15 - 30
II.	RO	7 - 12	30 - 40
	SK G 1	6 - 8	12 - 20
	SK H 1	6 - 8	10 - 12
III.	RO	10 - 12	12 - 16
	SK G 1	6 - 8	8 - 15
	SK H 2	6 - 8	8 - 12

TABULKA 3.: Řezné podmínky

Skupina materiálů	Materiál nástroje	Obrábění	Rychlost řezu /m . min ⁻¹ /	Posuv /mm/ot/
I.	RO	hrubování na čisto	200 - 300 400 - 700	až 1 0,1 - 0,2
	SK	hrubování na čisto	600 - 1 000 1 000 - 1 200	až 1,5 0,1 - 0,2
II.	RO	hrubování na čisto	100 - 150 200 - 400	až 0,5 0,05 - 0,2
	SK	hrubování na čisto	150 - 300 250 - 600	až 0,3 0,05 - 0,2
III.	RO	hrubování na čisto	60 - 90 100 - 150	až 0,4 0,05 - 0,1
	SK	hrubování na čisto	100 - 200 200 - 250	až 0,2 0,05 - 0,1

U materiálů, které dodávají dlouhou třísku, bývá na noži vybroušen výstupek pro lámání třísky.

Při soustružení hliníkových slitin je třeba více dodržovat doporučenou geometrii a rychlosti řeznou a posuvovou.

4.2. Hoblování a obrážení

Jelikož na hoblovacích a obrážecích strojích není možné dosáhnout vysokých řezných rychlostí, je obrábění hliníkových slitin těmito způsoby neekonomické. Pokud je nutné použít obrážení nebo hoblování, používá se nožů stejné geometrie jako při soustružení.

4.3. Frézování

4.3.1. Frézování běžnými rychlostmi

a/ obvodové frézování - pracujeme s válcovými a kotoučovými frézami se šikmými zuby. Používá se fréz s velkou roztečí zubů, které mají velkou mezeru pro odvádění třísek

a s optimálním počtem zubů, což jsou maximálně dva zuby v záběru.

TABULKA 4.: Doporučené úhly pro válcové frézy /1/

Skupina materiálu	Materiál nástroje	Doporučené úhly nástroje	
		α_0 [°]	β_0 [°]
I.	RO	3 - 10	20 - 35
	SK	3 - 8	110 - 25
II.	RO	3 - 10	20 - 35
	SK	3 - 8	10 - 20
III.	RO	3 - 10	20 - 35
	SK	3 - 8	10 - 20

Pro frézování Al - slitin je výhodnější frézovat sousledně. Doporučené rychlosti frézování jsou tak vysoké, že na běžných frézovacích strojích pro ocel jich obvykle nelze dosáhnout.

TABULKA 5.: Doporučené řezné podmínky pro válcové frézování Al - slitin /8/

Parametr	Mat. nástr.	Obrobitelnost			Pozn.
		I.	II.	III.	
Řezná rychlost /m.min ⁻¹ /	RO hr č	300- 600 do 1200	150- 300 250- 800	90-100 100-150	při obsahu Si vyšším jak 10 % nutno použít SK
	SK hr č	do 2500 nad 3000	300- 800 500-1000	100-300 150-400	
Posuv na zub frézy /mm/	RO hr č	0,1 -0,5 0,03-0,1	0,1 -0,5 0,03-0,1	0,1 -0,5 0,03-0,1	
	SK hr č	0,1 -0,6 0,03-0,1	0,1 -0,6 0,03-0,1	0,1 -0,6 0,03-0,1	
Hloubka řezu /mm/	RO hr č	do 6 nad 0,5	do 6 nad 0,5	do 6 nad 0,5	
	SK hr č	do 7 nad 0,5	do 7 nad 0,5	do 7 nad 0,5	
Řezné kapaliny	RO hr č	bez emulse	emulse em+olej	emulse em+olej	
	SK hr č	bez emulse	bez em+olej	bez em+olej	

Místo emulsi možno použít syntetický olej rozpuštěný ve vodě.

b/ čelní frézování - využívá se k obrábění rovinných ploch místo hoblování nebo frézování válcovými frézami. U klasických strojů lze vhodnou volbou průměru frézovací hlavy při poměrně malém počtu otáček dosáhnout velkých řezných rychlostí, takže lze na frézovacích hlavách používat břitů ze slinutých karbidů.

Počet břitů frézovací hlavy závisí na jejím průměru - nemá být menší než tři.

Aby se dosáhlo jakostních povrchů, musí být frézka pro čelní frézování masivní konstrukce, upevnění nástroje a obráběné součásti tuhé. Pro dosažení vysokých řezných rychlostí na malých frézách se používá rychlořezných strojů, které dosahují rychlosti až $20\,000\text{ ot.min}^{-1}$.

TABULKA 6.: Řezné podmínky pro frézování frézovací hlavou /1/

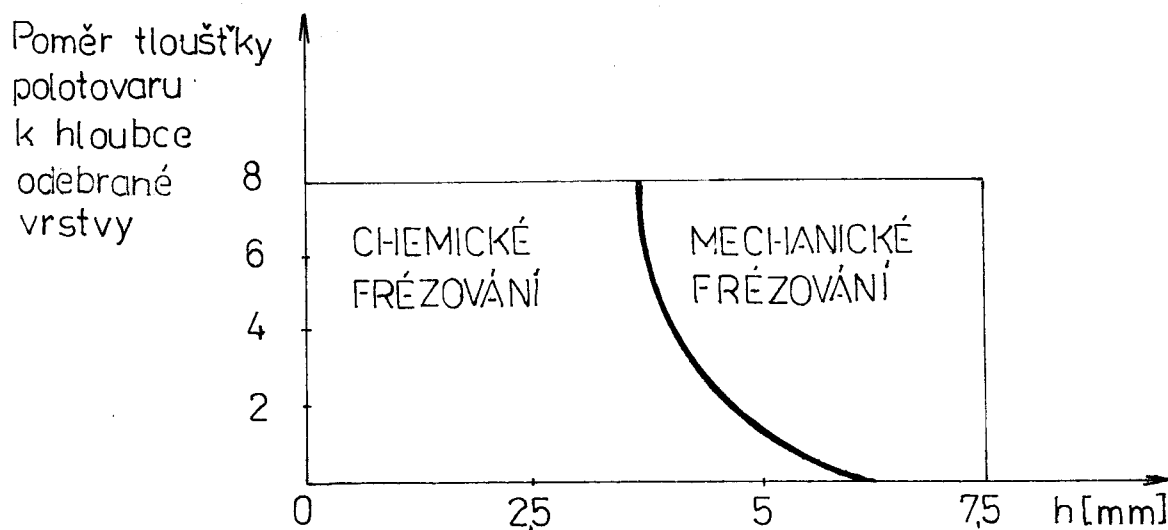
Skupiny mat.	Materiál nástroje	Obrábění	Rychlost řezu /m . min ⁻¹ /	Posuv na zub/mm/
I.	RO	hrubování na čisto	300 400	0,2 0,1
	SK	hrubování na čisto	600 800	0,1 0,07
II.	RO	hrubování na čisto	200 300	0,1 0,07
	SK	hrubování na čisto	300 400	0,1 0,06
III.	RO	hrubování na čisto	100 150	0,1 0,05
	SK	hrubování na čisto	200 250	0,1 0,05

c/ chemické frézování Al - slitin hluboké leptání.

Použití této metody je pouze v těch případech, kdy mechanické frézování by bylo příliš drahé. Jako leptadla se používá 5 % roztok NaOH při teplotách 80 - 88° C.

Tato metoda je patentována v USA pod číslem 24 99 047 /9/.

Na obr. 2. je křivka rozdělující oblasti použití chemického a mechanického frézování v závislosti na hloubce řezu a tloušťce polotovaru. Z obr. 2. je vidět, že chemické frézování je výhodné použít tam, kde je třeba odstranit kov z velké plochy složitého tvaru s přídavkem na opracování do 3,2 mm.



Obr. 2 - Použití chemického a mechanického frézování v závislosti na hloubce řezu

4.3.2. Vysokorychlostní frézování

Počátky vysokorychlostního frézování spadají do dvacátých let našeho století. Během dalšího období se snažily firmy řeznou rychlost co nejvíce zvýšit. Dosažené výsledky byly velice příznivé, a proto došlo k rozsáhlejším výzkumům v NSR firmou Heyligenstaed spolu s vysokou školou v Darmstadtu v osmdesátých letech.

Tento výzkum měl odpovědět na otázky:

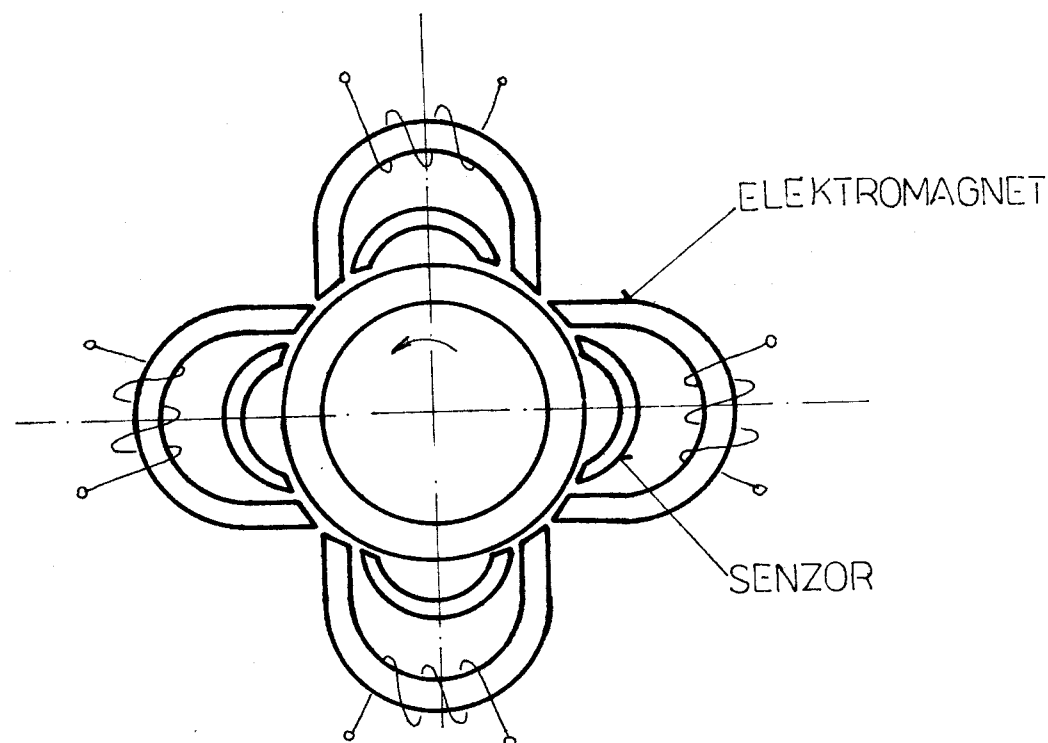
1. Jakou cestou může být řezná rychlost dále zvyšována?
2. Jaké jsou optimální úhly čela γ_0 v rozmezí $-30^\circ - +40^\circ$ při různých
 - řezných rychlostech $v = 2400 - 4600 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
 - posuvových rychlostech $f = 1 - 10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
 - hloubkách řezu $h = 0,5 - 8 \text{ mm}$

Výsledky výzkumu:

1. Zvyšování řezné rychlosti se bude provádět pomocí zvýšení otáček vřetene. Hřídel bude uložen v aktivním magnetickém uložení /obr.3/, které ve spojení s asynchronním integrovaným motorem vykazuje tyto přednosti:
 - a/ vysokou frekvenci otáček /až $30\,000 \text{ min}^{-1}$ /,
 - b/ velmi malé tření, které zajišťuje nízké opotřebení,
 - c/ není potřeba mazání a tudíž i těsnění,
 - d/ vřeteno může vybočit při silovém impulsu.
2. Závěrem lze říci, že vysokorychlostní frézování Al - slitin není jednoznačně omezeno hodnotami řezných rychlostí. Pro frézování Al - slitin jsou dle mínění autorů /5/ v nejbližší době prakticky realizovatelné řezné rychlosti až $6\,000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ při hodnotách posuvové rychlosti $4 - 10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

V dalším výzkumu by se měly řezné podmínky optimalizovat tak, aby objem obrábění za časovou jednotku vzrostl až pětinasobně. Je však nutné podotknout, že bude třeba provést ještě celou řadu experimentů, které by měly především vyřešit účinek vysokých řezných rychlostí na trvanlivost nástrojů.

Jednou z prvních oblastí pro využití výhod vysokorychlostního frézování by mělo být opracování dílů pro letecký průmysl.



Obr. 3 - Aktivní magnetické uložení hřídele

4.4. Dělení materiálu na kotoučových nebo pásových pilách

Při řezání hliníkových slitin se často používá kotoučových nebo pásových pil.

Aby se mezery mezi zuby nezalepovaly obrobeným materiálem, je rozteč zubů u nástroje pro řezání Al - slitin velká. Při neúměrně velké rozteči se může však zub zaseknout, proto kotoučové pily mívají často usazené zuby z rychlořezné oceli nebo ze slinutého karbidu.

TABULKA 7.: Řezné podmínky pro řezání kotoučovými pilami /1/

Skupina materiálů	Materiál nástroje	Rychlost řezu /m . min ⁻¹ /	Posuv na zub/mm./
I.	RO SK	600 - 800 až 2000	0,02 0,09
II.	RO SK	200 - 350 až 1500	0,02 0,03
III.	RO SK	80 - 120 až 1000	0,02 0,03

U pásových pil se s ohledem na velkou řeznou rychlost /i velká zatížení/ nesmí používat pásů pájených, ale jen svařovaných. Řezná rychlost pro Al slitiny

skupiny	I.	=	2 000 m . min ⁻¹
	II.	=	1 500 m . min ⁻¹
	III.	=	1 000 m . min ⁻¹

Velikost posuvu na zub je ve všech případech 0,2 mm.

4.5. Protahování

Vzhledem k nákladnosti nástroje je tento způsob vhodný jen pro velké serie obráběných součástí. Řezná rychlost bývá od 8 do 15 m . min⁻¹. Posuv na zub je při hrubování 0,025 až 1 mm, při práci na čisto 0,004 až 0,015 mm.

Konstrukci protahovacích nástrojů je nutno přizpůsobit pro lehké kovy, tj. přizpůsobit hlavně úhly / $\alpha_0 = 15 - 25^\circ$,

$\gamma_0 = 5^\circ$ / a velkou mezeru mezi zuby /1/.

4.6. Vrtání

Šroubovitých vrtáků pro běžné obrábění ocelí se při obrábění hliníkových slitin používá jen pro odlitky, které mají vyšší obsah křemíku a tam, kde se vrtá jen malý počet součástí. Vrták pro obrábění Al - slitin se liší zřetelně od běžného velkým úhlem sklonu šroubovice /40 - 45°/.

U tohoto vrtáku je zvětšena též drážka pro lepší odvod třísek. Vrcholový úhel je 130 - 140° /1/.

TABULKA 8.: Řezné podmínky pro vrtání šroubovitými vrtáky /1/

Průměr vrtáku /mm/	Rychlost řezu /m . min ⁻¹ /	Posuv /mm/ot/	Poznámka
5	40 - 60	0,15	U slitin skupiny III. je nutno podle obsahu křemíku hodnoty příslušně snížit
5 - 10	60 - 80	0,16 - 0,2	
10 - 20	80 - 100	0,2 - 0,3	
20 - 50	100 - 150	0,3 - 0,5	
50	150	0,5	

Při vrtání Al - slitin dochází ke vzniku díry o větším průměru, než má vrták. Například u vrtáku ϕ 25 mm může být tento rozdíl až 1 mm. Proto přesné díry je nutno předvrtat a potom vyhrubovat nebo vystružit.

4.7. Vyhrubování a vystružování

Vyhrubováním se upravují předlisované díry, protože šroubovitý vrták by mohl v těchto případech uhnout. Vyhrubování se používá též pro vyrovnání předvrtaných děr, které u hliníkových slitin často nejsou kruhové. Vyhrubováním se tedy dosáhne hladkého povrchu, přesnějších rozměrů a správnějšího geometrického tvaru.

U výhrubníků z RO bývá řezná rychlost⁻¹ $v = 20 - 50 \text{ m.min.}$, u výhrubníků s břity ze SK $v = 50 - 80 \text{ m.min.}$ Velikost posuvu $s = 0,1 - 0,5 \text{ mm.ot.}$

TABULKA 9.: Řezné podmínky pro vystružování /1/

Skupina materiálu	Materiál nástroje	Rychlost řezu /m.min ⁻¹ /	Posuv /mm.ot/
I.	NO	30	
	RO	40	
	SK	50	
II.	NO	20	0,1 - 1,0 podle průměru
	RO	30	
	SK	40	
III.	RO	20	výstružníku
	SK	30	

TABULKA 10.: Požadavky na vystružování /1/

Průměr vystružovaného otvoru /mm/	Přídavek na vystružování /mm/
do 5	0,2
5 - 20	0,2 - 0,3
20 - 50	0,3 - 0,5
přes 50	0,5 - 0,8

Pro dosažení větší přesnosti se předhrubované díry ještě vystružují. Výstružník má více břitů. Pro menší díry vystačí výstružník se šroubovitými zuby a pro díry s drážkami výstružník se spirálovými zuby.

Před vystružováním se díra předhrubovává proto, aby množství materiálu odebíraného při vystružování odpovídalo dané toleranci.

Vystružovat lze nejen ručně, ale i strojně.

4.8. Řezání závitů

a/ vnějších - krátké závity se řežou závitovými očky nebo závitovými čelistmi buď ručně nebo strojně.

K zhotovování závitů se používá i frézování. Všeobecné směrnice pro geometrii nástrojů, řezné rychlosti a pod. není možno podat, ale optimální podmínky je nutno získat praktickými zkouškami. Protože se velmi špatně dosahuje jakosti povrchu, závity se též zhotovují tvářením;

b/ vnitřních - převážná část se řeže závitníky. K řezání závitů malých průměrů a pro odlitky s nižším obsahem křemíku se používá běžných závitníků pro ocel, k řezání závitů s větším průměrem se používá závitníků o $\gamma_0 = 45 - 50$, $\lambda_s = 28 - 40$ a $\alpha_0 = 0$. Pro dobrý odvod třísek musí být drážka dostatečně široká/1/.

Při řezání závitů je nutné dávat pozor na správné odvádění třísek, aby se neucpala drážka, protože se obvykle závitník zlomí. Správné podmínky řezání závitů je možno zjistit pouze na základě zkoušek. Pro dosažení správné jakosti povrchu se doporučuje používat mazací emulze nebo vrtací oleje.

4.9. Broušení

Hliníkové slitiny se brousí jen zřídka, protože obrobene součásti s požadovanou jakostí povrchu je možno dosáhnout hospodárnějším obráběním /pomocí nástrojů diamantových nebo ze SK/.

Rovinné plochy se brousí pomocí brousicích pásů, profilované součásti plotěnými nebo látkovými kotouči opatřenými brousicím materiálem. Pro hrubé broušení se používá brusiva o zrnitosti 50 - 120, pro jemné o zrnitosti 100 - 400. Při broušení je nutné používat brousicích tuků, které jednak snižují opotřebení kotoučů, jednak částečně zachytávají i brousicí prach. Zachytávání prachu u lehkých slitin je velmi důležité, protože vdechování hliníkového prachu o velikosti pod $5\text{ }\mu\text{m}$ je zdraví škodlivé.

Rychlost broušení je $v = 30 - 50\text{ m.s}^{-1}$. Při hrubém broušení je možno dosáhnout drsnosti povrchu 4 - 10 μm a při jemném broušení 2 - 4 μm /1/.

4.10. Leštění

K dosažení kvalitně vyleštěného povrchu je nutné, aby již předcházející broušení bylo co nejdokonalejší, jelikož chyby od broušení, pokud se na ně přijde při leštění, nelze již obvykle opravit. Před leštěním je též nutno látkovými kotouči součásti dokonale odmastit. Leští se plotěnými nebo látkovými kotouči, na které nanášejí leštící pasty. Obvodová rychlost leštících kotoučů je $v = 50 - 60\text{ m.s}^{-1}$. Při jemnějším zrně se pracuje s vyššími rychlostmi a naopak. /1/

5. KVALITATIVNÍ HODNOCENÍ OBRÁBĚNÍ

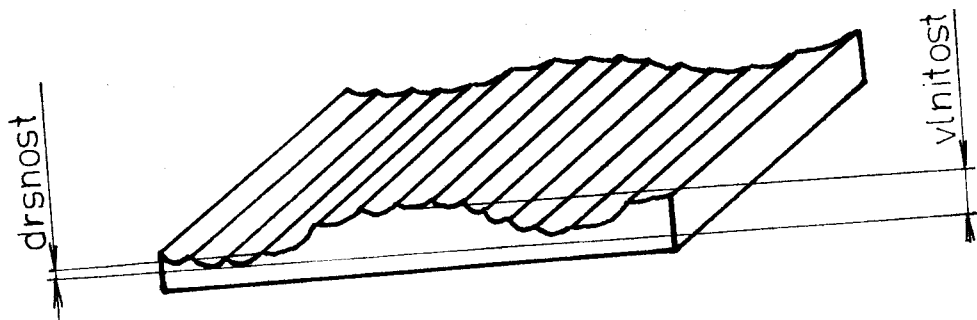
Zvyšování výkonnosti spolehlivosti a životnosti součástí kladé zvýšené požadavky na kvalitu výroby a to jak z hlediska rozměrové přesnosti, tak z hlediska kvality obrobku plochy, která se týká povrchových pnutí, drsnosti povrchu, morfologie povrchu a zpevnění, zejména u součástí dynamicky namáhaných.

5.1. Drsnost povrchu

5.1.1. Úchyly drsnosti povrchu

Úchyly drsnosti povrchu jsou dané normou ČSN 014450. Zkoumáme-li obrobenou plochu, vidíme, že je tvořena jako obalová dráha bodů řezné části nástroje při pracovním pohybu. Z obrázku 4. je zřejmé, že plocha má jednak příčnou drsnost ve směru kolmém na hlavní řezný pohyb a podélnou drsnost ve směru hlavního řezného pohybu.

Kromě toho zejména vlivem nepřesnosti stroje a nedostatečnou tuhostí soustavy stroj - obrobek - nástroj vzniká vlnitost, která má obvykle pravidelný tvar a přibližně stále stejnou délku vln. Do vlnitosti zahrnujeme všechny pravidelné nebo se opakující nerovnosti povrchu, které mají délku vlny větší než mezní rozteč nerovnosti. /14/



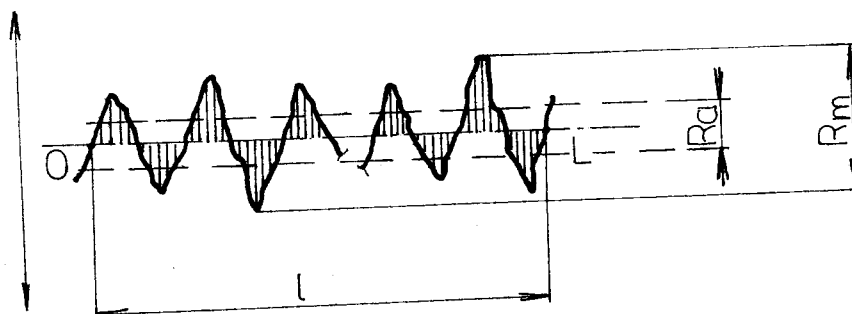
Obr. 4 - Podélná a příčná drsnost

5.1.2. Parametry určující drsnost povrchu

1. Střední aritmetická odchylka od střední čáry profilu /Ra/.
Je to střední hodnota vzdálenosti bodů zkoumaného profilu $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ od střední čáry, která ořílí profil tak, že plocha mezi profilem a čarou je stejná nad i pod čarou /viz obr. 5/.

Výpočet R_a /14/:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^L |y| dx \quad \text{nebo přibližně} \quad R_a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$



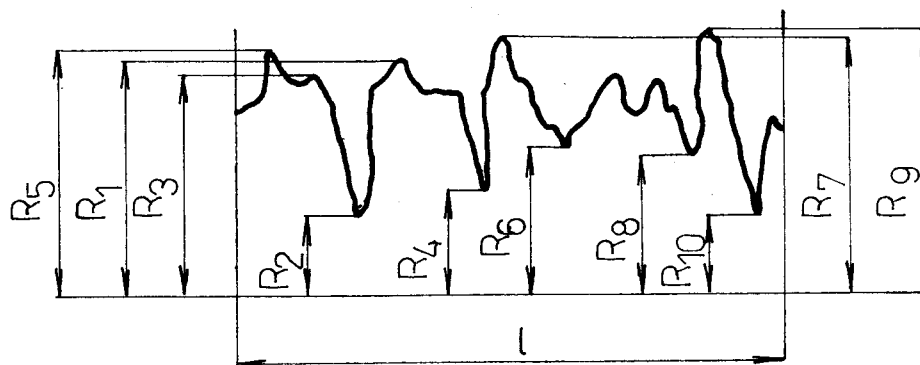
Obr. 5 - Střední aritmetická odchylka /Ra/ a maximální výška nerovností /Rm/

2. Výška nerovnosti R_z je určena jako střední hodnota vzdáleností mezi pěti nejvyššími a pěti nejnižšími body profilu v délce měřeného profilu od čáry rovnoběžné se střední čarou profilu /viz obr. 6/.

Výpočet R_z /14/:

$$R_z = \frac{R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9}{5} - \frac{R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10}}{5}$$

Vztah mezi R_a a R_z je dán přibližně vztahem: $R_z : R_a = 4$.



Obr. 6 - Výška nerovností

3. Maximální výška nerovnosti R_m je vzdálenost mezi dvěma čarami rovnoběžnými se střední čarou, z níž jedna prochází nejvyšším a druhá nejnižším bodem profilu v délce určeného úseku. R_m závisí především na druhu a tvaru nástroje.

Hodnota R_m pro soustružený povrch:

a/ nožem s poloměrem špičky R

$$R_m = \frac{s^2}{8R}$$

b/ nožem s ostrou špičkou

$$R_m = \frac{\frac{\tan \kappa_r}{\tan \kappa_r + \tan \kappa_r'}}{2}$$

Hodnota R_m pro frézování, kde dráhy jednotlivých zubů jsou prodloužené cykloidy:

$$R_m = \frac{s_z^2}{8 \cdot R_c}$$

R_c ... poloměr křivosti cykloidy

s_z ... posuv na zub

5.1.3. Způsoby měření drsnosti obrobeného povrchu

Stanovení drsnosti povrchu můžeme provést různými způsoby. V zásadě se tyto způsoby dělí na:

- a/ kvalitativní metody - kdy hodnotíme obrobenou plochu srovnáním se vzorkem bez číselného vyhodnocení velikosti drsnosti,
- b/ kvantitativní metody, kdy hodnotíme obrobenou plochu tak, že stanovíme velikost normou předepsaného kritéria, např. R_a , R_z , R_m , případně jiné veličiny charakterizující jakost obrobené plochy.

5.2. Mechanismus vzniku zbytkového pnutí

Výchozí materiál mění v procesu výroby své mechanické vlastnosti a strukturu. Je to důsledek mechanického a zejména tepelného zatěžování povrchové vrstvy, v níž také dochází k nejpodstatnějším změnám. Souhrnně lze právě zde hledat podstatu vzniku zbytkového pnutí.

5.2.1. Povrchová vrstva

Nejvíce namáhaná povrchová vrstva má tloušťku asi 0,1 - 0,2 mm. Její stav musí být co nejdokonalejší z hlediska strukturální homogenity a stability mechanických vlastností, zbytkové napjatosti a drsnosti. Rozhodující význam má jakost materiálu, tepelné zpracování a technologie obrábění funkčních ploch - hlavní podíl má broušení a dokončovací operace, zanedbatelný není ani podíl předchozích operací.

Při optimalizaci výrobních procesů s cílem dosažení požadované přesnosti, drsnosti a jakosti opracovaného povrchu se vychází z teoretických a experimentálních výzkumů procesu obrábění.

5.2.2. Klasifikace napětí v uzavřených kovových polykrystalických materiálech

Rozlišení napětí v uzavřených systémech lze provést podle několika hledisek:

- A. Podle příčiny, která vyvolala napětí:
Působí-li na systém vnější síly, vznikají v něm napětí označovaná jako "vložená". Napětí "vnitřní" v systému nevzniká od vnějších zátěžných sil. Toto vnitřní napětí musí být v uzavřeném systému v rovnováze. Porušením celistvosti systému dochází obvykle k přestavbě vnitřních sil a momentů, což se projeví deformací soustavy.
- B. Zhodnocením doby, po kterou napětí působí:
rozlišujeme napětí vnitřní
1. okamžitá - zanikají po odstranění příčin, které je vyvolaly /hranici tvoří mez kluzu/. Například napětí vzniká rozdílem teplot a vznikajícím vyrovnáním teplot.
 2. zbytková - zůstávají i po odstranění příčin, které je vyvolaly - podmínkou vzniku je přesáhnutí meze kluzu materiálu.
- C. Podle relativní velikosti objemu, ve kterém dosahuje rovnováhy:
1. zbytkové napětí 1. druhu - dosahuje rovnováhy v makroobjemu součástí, tj. jeho velikost se podstatně mění v makroskopických oblastech. Podstatné je, že porušením silové a momentové rovnováhy /rozříznutí/ dochází ke změně makroskopických rozměrů tělesa.
 2. zbytkové napětí 2. druhu - vyrovnává se v oblasti několika zrn, tato napětí jsou podmíněna anizotropií mechanických vlastností zrn a jsou přibližně homogenní jen v malých oblastech. U polykrystalických kovů v objemech jednotlivých zrn porušení rovnováhy nemusí vyvolat změny makroskopických rozměrů tělesa.
 3. zbytkové napětí 3. druhu - projevuje se v objemu několika atomových vzdáleností a je nehomogenní i v nejmenších oblastech materiálu. Tato napětí dosahují rovnováhy teprve v dostatečně velké části zrna. Porušením této rovnováhy nedojde nikdy ke změnám v makroskopických rozměrech tělesa.

Zbytková pnutí všech tří druhů se vyskytují zpravidla současně. V technické praxi se pod pojmem technické pnutí rozumí obvykle pouze napětí 1. druhu.

5.2.3. Příčiny vzniku zbytkového pnutí

Všeobecně lze říci, že zbytková pnutí mohou být způsobena plastickou deformací některé části materiálu součásti. Z možností vzniku plastické deformace vyplývá, že nejčastěji k ní dochází v povrchových vrstvách součásti.

Technologie výroby součásti umožňuje vznik plastické deformace povrchové vrstvy trojím způsobem - nerovnoměrnou plastickou deformací, nerovnoměrným ohřevem nebo ochlazením a strukturním pnutím.

1. Nerovnoměrná plastická deformace

Zbytková pnutí způsobena silovým účinkem vzniknou podle následujícího - jestliže zatížení zasáhne mez kluzu a smykové napětí v rovině a směru kluzu dosáhne kritické hodnoty a po odlehčení se zabrání změně rozměrů.

Při většině výrobních způsobů, kde se uplatňuje silový účinek, se působí na povrchovou vrstvu tak, že má tendenci zaujmout větší rozměr /je plasticky prodloužena/, čemuž brání jádro vzorku. V povrchové vrstvě budou tedy pnutí tlaková, uvnitř vzorku pnutí tahová.

Velikost a rozložení těchto pnutí bude záviset na stupni a hloubce přetvoření této vrstvy, na poměru meze kluzu k pevnosti materiálu, na sklonu materiálu ke zpevnění a dalších faktorech.

2. Nerovnoměrný ohřev

Zbytková pnutí jsou vyvolána nestejnou rychlostí ohřevu, nebo ochlazování povrchových vrstev a jádra v průběhu výroby součástí. V první fázi cyklu tepelného zpracování dochází k plastickému stlačení povrchových vrstev. Po konečném vyrovnaní teplot je na povrchu tahové a uvnitř tlakové pnutí.

3. Strukturní pnutí

Strukturní pnutí vzniká v důsledku různých měrných objemů jednotlivých struktur. V důsledku silových a tepelných účinků při zpracování kovů může se kromě příčin vzniku dříve zmíněných druhů zbytkových pnutí uplatnit další napětí, vyvolané vytvářením nových strukturních složek za předpokladu, že mají jiný měrný objem než původní fáze.

5.2.4. Účinek zbytkových pnutí

Všeobecně je přijímán názor, že zbytková pnutí v tahu jsou považována za nežádoucí, poněvadž jsou-li na ně superponována vlivem působícího namáhání napětí v tahu, představují snížení teoretické pevnosti součásti.

Vliv zbytkového pnutí je nejvýraznější právě u materiálů, jejichž meze kluzu se blíží mezi pevností, takže porušení nepředchází rozsáhlejší plastické deformace. Experimentálně bylo dokázáno, že tahová zbytková pnutí snižují podstatně životnost součástí. Tlaková zbytková pnutí naopak zvyšují životnost součástí.

Zdroje poruch jsou nejčastěji definovány jako tzv. koncentrátory napětí /velké křehké vměstky, mikrotrhliny apod./. Současné názory na vznik únavového poškození lze shrnout takto:

a/ povrchový původ poruchy

- povrchové mikrotrhliny
- existence velkých křehkých vměstků
- shluky vměstků
- nízká kvalita materiálu
- nevhodná zbytková pnutí
- vysoká drsnost povrchu
- klasická únava materiálu v povrchových vrstvách

- b/ podpovrchový původ poruchy
- přítomnost koncentrátorů napětí
 - nevhodná zbytková pnutí
 - klasická únava materiálu.

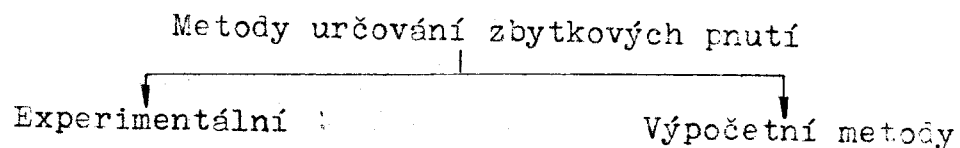
5.2.5. Metodika zjišťování zbytkových pnutí

V současné době existuje řada prací věnovaných určování zbytkových pnutí. Všechny používané metody jsou buď zdoluhavé nebo náročné na zařízení a techniku měření, nebo nepřesné.

Níže uvedené schema uvádí základní metody určování zbytkových pnutí /schema I/.

V dnešní době jsou k dispozici vedle experimentálních metod též teoretické výpočetní metody. Vzhledem k nadměrné výpočetní náročnosti u jednotlivých případů a nahodilosti vstupních veličin do modelu je však praktická použitelnost výpočetních metod značně omezena. V mnoha konkrétních případech je rychlejší, přesnější a lacinější používat ke zjištění zbytkových pnutí některý ze známých experimentálních způsobů.

Ke zjišťování zbytkových pnutí v makroprůřezu slouží zejména metody mechanické, pro přibližné určení lze též použít metody využívající změny některé vlastnosti materiálu, metodu ultrazvukovou a fotoelasticimetrii.



1. Mechanické metody:

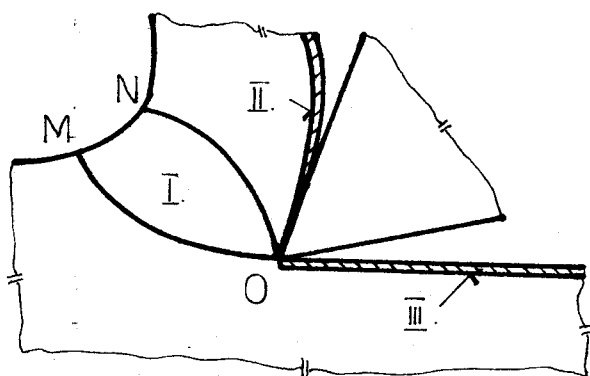
- Měření deformace válce při mechanickém odstraňování vnitřních vrstev nebo vnějších vrstev
- Měření deformace rozřezáním dutých válců nebo kroužků
- Metoda otvoru
- Metoda zastavení procesu řezání
- Nátěry z křehkých laků
- Metoda sítí

2. Fyzikální metody:

- Ultrazvuková metoda
- Měření rentgenovými paprsky
- Fotoelasticimetrie - optická metoda určování napjatosti
- Holografická interferometrie

3. Chemické metody

- Difuze vodíku



Obr. 7 - Oblasti plastických deformací

5.3. Měření mikrotvrdosti

Na charakter a intenzitu plastických deformací v oblasti primární /I./, sekundární /II./ a terciální /III./ /obr. 7/ a na velikost těchto oblastí lze usuzovat též na základě proměřování mikrotvrdosti - zpevnění v různých částech těchto oblastí. Měření se provádí na mikrotvrdoměrech různé konstrukce /15/.

Jedna z možností proměřování mikrotvrdosti na povrchu obrobené plochy je metoda šikmého řezu /pod úhlem asi 10° /, kterou se dá stanovit intenzita zpevnění a hloubka zpevněné vrstvy obrobeného povrchu.

Aby deformace při zhotovení šikmého řezu podstatně neovlivňovaly výsledné zpevnění proměřovaného povrchu, upravuje se povrch zpravidla metalografickým výbrusem.

6. METODIKA ZKOUŠEK A KVALITATIVNÍ HODNOCENÍ OBRÁBĚNÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN PO VÁLCOVÉM FRÉZOVÁNÍ

Kvalitativní hodnocení obrábění Al - slitin se sice v literatuře objevuje, ale jedná se vždy o konkrétní případy, které jsou nedostatečné. Z těchto důvodů byl zadán státní úkol katedře obrábění a montáže na VŠST v Liberci.

Experimenty v rámci uvedeného úkolu mají ukázat jakost a stav povrchové vrstvy pro frézování hliníkových slitin. Jako zkušební materiál byla vybrána slitina AlCu4Mg1, které se používá jako progresivní typ hliníkové slitiny pro výrobu leteckých konstrukčních dílů.

Výběr stroje, nástroje a řezných podmínek byl proveden v loňském roce v diplomové práci Ivana Mašína.

Novým úkolem pro vybraný stroj /FNL 08 Nc/ bylo navrhnout a vyrobit přípravek pro upnutí polotovaru /krátkých a tvarových vzorků viz příloha č. 5 a 8/.

Před vlastním obráběním zkušebních tyčí byly navrženy rozměry vzorků a plán jejich odběru. Po tomto zpřesnění byl sestaven program pro řídicí systém stroje FNL 08 NC.

Na vypracovaných vzorcích byly měřeny tyto charakteristiky povrchové vrstvy:

- drsnost povrchu
- morfologie povrchu
- hloubka a stupeň zpevnění
- zbytková napětí v povrchové vrstvě.

V dalším kroku řešení úkolu bylo tedy nutné navrhnout metody, kterými je možné výše uvedené charakteristiky určit.

Způsob měření drsnosti povrchu musel zajistit určení skutečných parametrů dle ČSN 01 4451.

Pro určení morfologie povrchu byl použit mikroskop NEOPHOT a elektronový rastrovací mikroskop.

Pro určení hloubky a stupně zpevnění byla vybrána a metodicky rozpracována metoda měření mikrotvrdosti v povrchové vrstvě.

Měření zbytkových napětí bylo realizováno v zařízeních katedry obrábění a montáž VŠST Liberec.

6.1. Obráběcí stroj

Destičky byly obrobeny na frézce FNL 08 NC, která se v n. p. Rudý Letov používá pro frézování hliníkových slitin vysokými řeznými rychlostmi.

Tuto číslicově řízenou portálovou frézku používal n. p. Rudý Letov jako jednoúčelový stroj pro obrábění "vodítek vztlakových klappek". Nástroj byl přímo upnut do vertikálního vřetena rychloběžného motoru Forest /maximální otáčky $9\,000\text{ min}^{-1}$ /. Chlazení se provádělo směsí chladicí kapaliny s tlakovým vzduchem /tzv. mlha/. Obrobky se upínaly do přípravku /příloha č. 1, obr. 13/, jež byly upevněny na stole stroje. Portál pojížděl v podélné ose stolu po oboustranně umístěných vodících tyčích. Posuv byl zajišťován pohybem vřeténíku po příčnicku. Posuvová rychlost byla plynule regulovatelná.

Základní údaje:

1. příkon	7,5 kW
2. řídicí systém	SINUMERIK 550 /NSR/
3. rotační měnič	TENECOM /Francie/
4. rozsah otáček	1500, 3000, 4500, 9000 min^{-1}

6.2. Řezný nástroj

Vzorečky byly obrobeny dvoubřitou hrubovací frézou označenou 50 x 50 PNL 2350.

Základní údaje frézy:

- průměr	50 mm
- břitové destičky	K 40
- dovoluje maximální řeznou rychlost	1 413 m.min ⁻¹
- otáčky	9 000 min ⁻¹
- délka ostří	50 mm

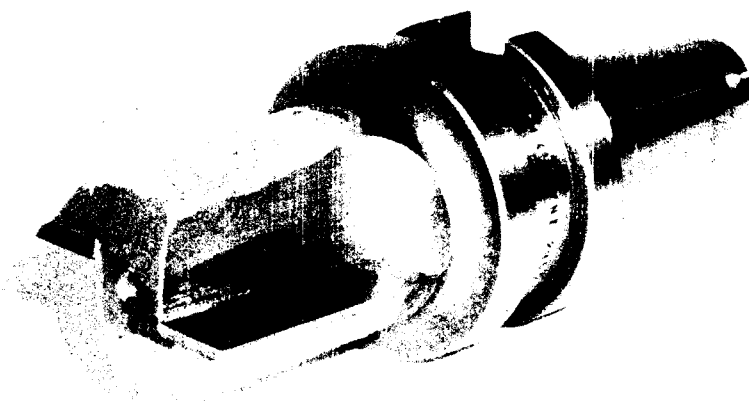
Nástroj je znázorněn na obr. 8 a 9.

Před vlastním frézováním byl naostřený nástroj proměřen na universálním mikroskopu. Byly zjištěny tyto hodnoty:

- průměr	49,017
- úhel čela	7° 58'
- úhel hřbetu	19° 8'
- sklon ostří	1° 40'
- drsnost na čele Ra	0,05 μ m
- drsnost na hřbetu Ra	0,45 μ m



Obr. 8 - Fréza 50 x 50 PNL 2355



Obr. 9 - Fréza 50 x 50 PNL 2355

6.3. Zkušební materiál

Zjištění druhu materiálu a jeho vlastností je důležité pro další použití materiálu v praxi. Z tohoto důvodu byl materiál před obrobením opatřen výňatkem ze zprávy VÚK - 22/84 o jeho složení a výrobě /viz článek 1/. Dále byl proveden metalografický výbrus a naleptání vzorku, pro zjištění struktury hliníkové slitiny AlCu4Mg1 /viz článek 2/. Nakonec byla změřena mikrotvrdost, aby se získal celkový přehled o zkoumaném materiálu /článek 3/.

6.3.1. Výňatek ze zprávy VÚK - 22/84

- a/ technologická schůdnost zařízení rafinace a filtrace taveniny do technologického pochodu v KC Děčín i vyjádření sovětských odborníků o přednosti taveb z elektrických pecí vedl k podrobnému pokusu ověřit vlastnosti materiálu připraveného na indukčním tavicím souboru.

TABULKA 11.: Druh vsázky

Vsázka	Tavba /tyč označena R/
Cu čistá	100 kg
AlCu40	255 kg
Mg	70 kg
AlMn10	305 kg
Al 99,7 bloky	3 970 kg
Tilate	0,5 kg
CELKEM	4 700,5 kg

Technologické podmínky výroby slitiny AlCu4Mg1:

- tavení 21.35 - 2.20 hod.
- tavicí teplota 730° C
- ustalovací doba 90 min.
- rafinace Aluflux 2,3 kg/t
koks
2x filtrační tkanina
sivex
- lící teplota 720° C
- homogenizace 480° C/12 h

b/ TABULKA 12.: Výsledné chemické složení

Tavba	Cu	Mg	Mn	Si	Fe
Množství přísad cm ³ /100 g	4,32	1,59	0,69	0,16	0,22

Zn	Ni	Ti	Pb	H ₂
0,02	0,03	0,01	0,01	0,15

c/ vlastnosti pásů 100 x 12 /tyč 10R, vzorek aZ /

Pasy mají strukturu ve středu nerekrystalizovanou, povrch

je do hloubky 0,5 mm a na bocích 3 mm hrubě rekrystalizovaný.

Nejdůležitější vlastnosti pásů:

- elektrická vodivost	18,6. 10 ⁶ S.m ⁻¹
- rozsah síly	2 000 N
- rozsah deformace	2 %
- jmenovitá délka tyče	800 mm
- dolní bod pro modul	2 000 N
- horní bod pro modul	4 000 N
- rychlost příčnicku pro deformaci	2 % = 5 mm.min ⁻¹ 2 % = 20 mm.min ⁻¹

Naměřené průměrné hodnoty tyče 1CR:

- pevnost R _m [MPa]	518,04 - 567,76
- meze R _p [MPa] - 0,5 %	346,97 - 426,63
10 %	362,16 - 429,09
20 %	371,73 - 431,83
- celková deformace [%]	17,32 - 20,70
- modul E [MPa]	75 299,9 - 75 225,5
- tažnost A [%]	16,4 - 20,2

6.3.2. Vzorek pro metalurgický výbrus

Ze zkušební tyče polotovaru byl vyříznut vzorek o velikosti 10 x 10 x 12 mm. Vzorek byl vložen do kroužku z PVC o $\varnothing$ 30 mm a zalit dentakrylem. Po ztuhnutí dentakrylu byl proveden metalografický výbrus.

Postup metalografického výbrusu:

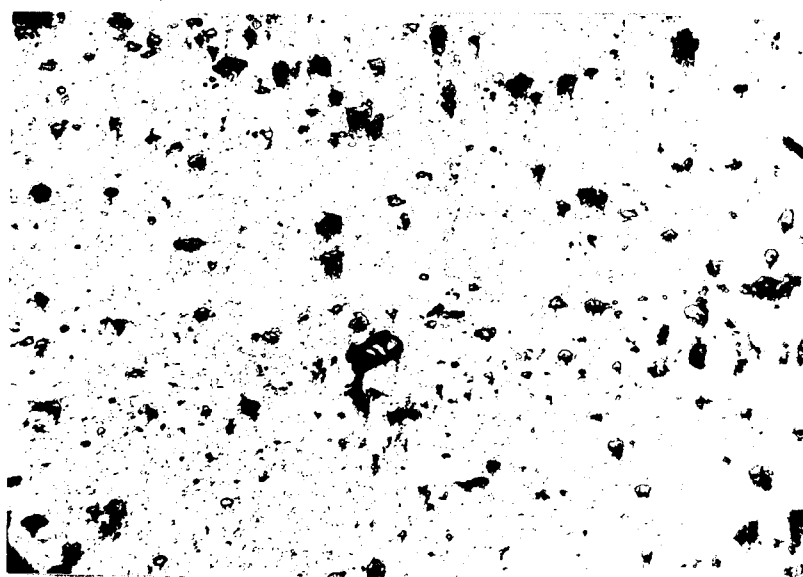
1. Broušení na metalografické brusce při zrnitosti brousicího papíru 222, 400 a 600.
2. Leštění na metalografické leštičce bylo provedeno na jele-nici, kdy leštícím médiem byla voda.

Broušení bylo provedeno tak, že vzorek byl broušen jed-ním směrem až všechny stopy od předchozího broušení byly pře-kryty, potom byl vzorek otočen o 90° a tento postup byl

několikrát opakován. Broušení i leštění se provádělo
přibližně 20 min.

Vyleštěný vzorek byl leptán různými leptadly:

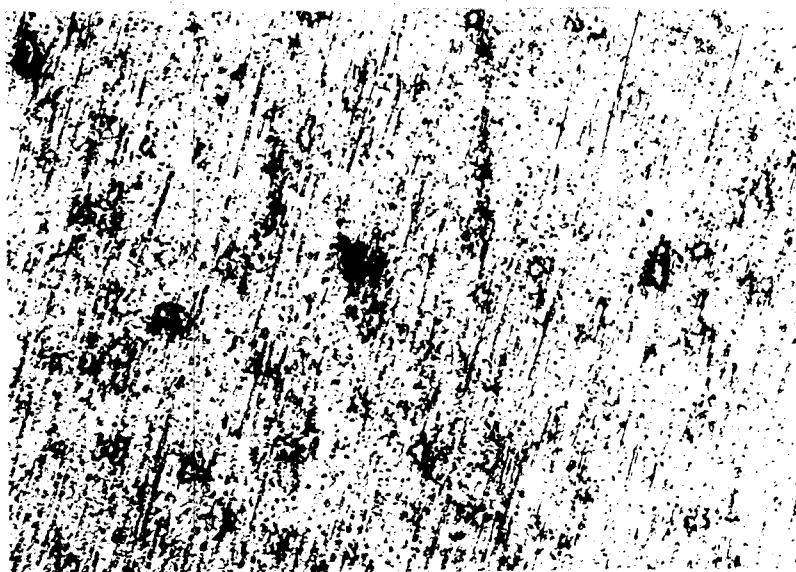
- A. $0,5 \text{ cm}^3$ kyseliny flurovodíkové + $99,5 \text{ cm}^3$ vody po dobu
leptání 10 - 12 s.



Obr. 10 - Vzorek leptaný leptadlem A.

Roztok kyseliny flurovodíkové leptal základní matrici,
která má jemnozrnou a rovnoměrnou strukturu bez známek
vnitřních heterogenit /obr. 10/.

- B. 10 g hydroxidu sodného + 90 cm^3 vody při teplotě 70°C
po dobu 4 - 5 s.



Obr. 11 - Vzorek leptaný leptadlem B.

Roztok hydroxidu sodného leptá přídatnou fází. Na snímku je znázorněn tvar a rozložení této fáze v základní matici /obr. 11/.

Fotografie má nižší kvalitu, protože vzorek měl horší kvalitu vyleštění, přesto je vyvolaná struktura dobře viditelná.

6.3.3. Měření mikrotvrdosti

Pro měření byl použit vzorek o rozměrech 7 x 4 x 25 mm. Na vzorku byl proveden metalografický výbrus viz kap. 6.3.2.

Mikrotvrdost byla určena přístrojem FMT-3, který je založen na Vickersově principu:

- vnikací těleso = jehlan o vrcholovém úhlu 136°
- hmotnost závaží je volitelná v rozsahu 2 - 200 g.

Přístroj PMT-3 /obr. 12/ je složen ze:

- stojanu
- otočného stolu
- zatěžovacího zařízení
- optické soustavy
- osvětlovací lampy, která byla napájena přes transformátor.

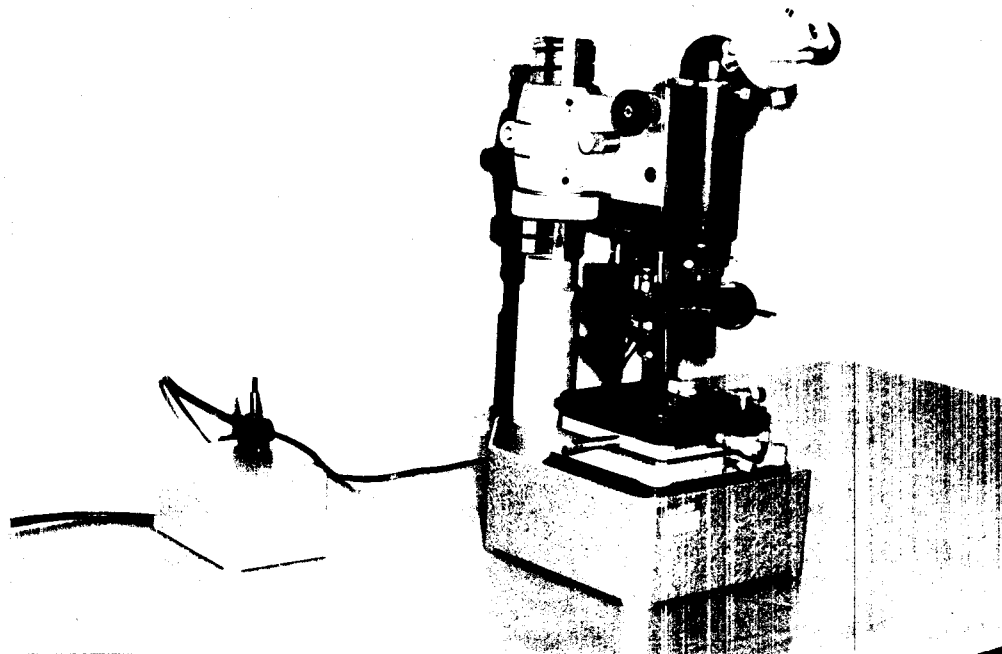
Při měření byl okulár z výbavy přístroje nahrazen okulárem "Zeiss-Neofot", jehož nitkovým křížem bylo možné měřenou diagonálu sevřít z obou stran současně. Použitá optika měla následující parametry:

- zvětšení objektivu	32,2 x
- zvětšení okuláru	15 x
- celkové zvětšení	483 x
- převodní konstanta	0,334 μm / dílek

Určení mikrotvrdomosti na přístroji PMT-3 bylo provedeno následujícím způsobem:

1. Součást byla vložena na stolek a na jejím povrchu bylo pomocí mikroskopu nalezeno místo pro vtisk.
2. Stolek byl otočen o 180° a tím bylo dosaženo vybrané místo pod ostrím vnikacího tělesa.
3. Vnikací těleso bylo spuštěno na povrch vzorku. Doba působení tělesa na povrch vzorku byla přibližně 10 s.
4. Po zvednutí vnikacího tělesa bylo otočeno stolkem do původní polohy.
5. Pomocí nitkového kříže a mikrometrické stupnice okuláru byl odečten počet dílků, který představoval velikost diagonály vtisku. Jestliže byly hrany vtisku deformovány, bylo nutné vtisk opakovat na jiném místě.
6. Velikost diagonály v dílcích byla přepočítána pomocí převodní konstanty na velikost diagonály v mikrometrech. Konstanta je odlišná pro různá zvětšení a byla určena z odměřené kontrolní stupnice.

Měření mikrotvrdosti bylo provedeno při zatížení 0,1962 N /hmotnost závaží 20 g/. Vtisky byly provedeny tak, aby byla dodržena zásada, že vzdálenost dvou sousedních vtisků musí činit nejméně dvojnásobek délky diagonály většího vtisku.



Obr. 12 - Přístroj PMT-3

Výsledkem měření mikrotvrdosti bylo získat průměrnou hodnotu mikrotvrdosti na povrchu polotovaru materiálu.

Mikrotvrdost se při zatížení 0,1962 N určí pomocí vztahu:

$$HV \cdot 0,02 = 188\,991 \cdot \frac{0,1962}{V^2} \quad (2)$$

V velikost diagonály v μm

V = počet dílků . převodní konstanta

Vzhledem k tomu, že byly měřeny jen nedeformované vtisky, vyhodnocovala se jen jedna diagonála vtisku.

TABULKA 13.: Naměřené hodnoty mikrotvrlosti

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Počet dílků	60	64	62	57	61	60,5	64	68	66	60
HV . 0,02	112	98	105	124	108	100	98	88	93	112

Měřením bylo zjištěno, že průměrná hodnota mikrotvrlosti na povrchu zkoumaného materiálu odpovídá
 $HV . 0,02 = 133,8$.

6.4. Řezné podmínky

Frézování na stroji FNL 08 NC bylo provedeno sousledným i nesousledným způsobem při chlazení mlhou. Při obou způsobech byly použity tyto hodnoty řezných parametrů:

$$n = 3\,000, 9\,000 \text{ ot min}^{-1} / v = 462 \text{ m.min}^{-1}, 1386 \text{ m.min}^{-1} /$$

$$s = 375, 750, 1\,500 \text{ mm.min}^{-1}$$

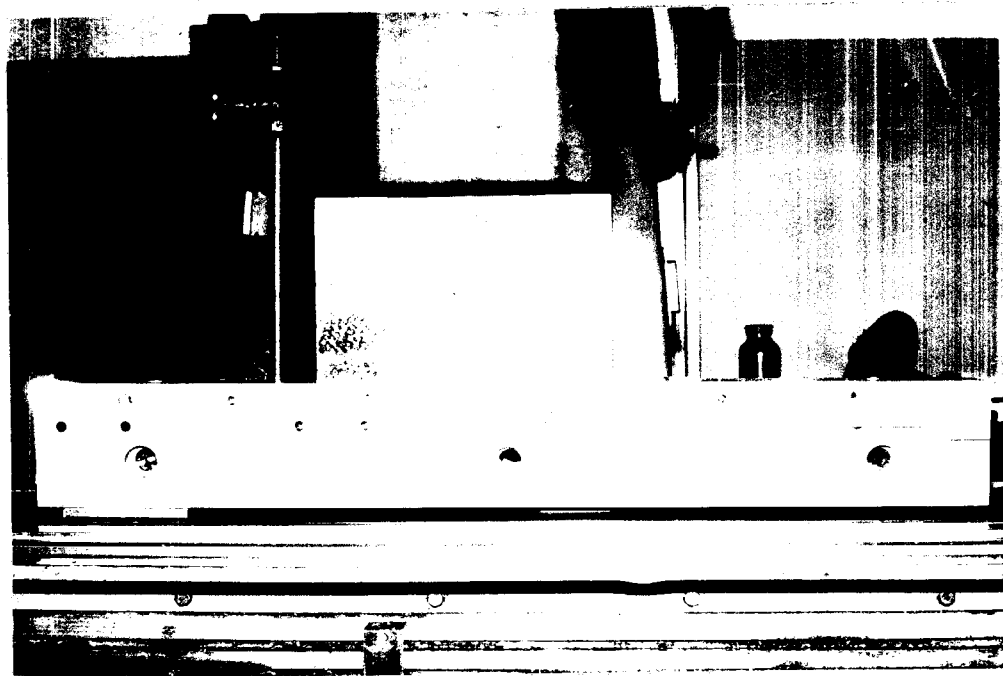
$$h = 0,5, 4 \text{ mm}$$

Přiřazení řezných podmínek k jednotlivým vzorkům je uvedeno v příloze č. 10.

6.5. Upnutí polotovaru

Při frézování na stroji FNL 08 NC byly vzorky ze zkušebního materiálu upnuty v upínacím přípravku /příloha č. 1, obr.13/.

/Vzhledem k zákazu fotografování v prostorách n. p. Rudý Letov je přípravek na fotografii upnut na stůl frézky FA2V a tvarový vzorek, který je upnut v přípravku, slouží pouze pro dokreslení celkové situace /obr. 13/. Tento tvarovaný vzorek /příloha č. 7/ bude po ofrézování vyhodnocován pomocí únavových zkoušek na ČVUT Praha./



Obr. 13 - Upínací přípravek

6.6. Vlastní frézování

Hlavním úkolem bylo obrobení na čisto vzorků krátkých a tvarových, přičemž tvarové vzorky měly sloužit pro únavové zkoušky a krátké vzorky pro kvalitativní hodnocení obrábění.

Na počátku vlastního řezného procesu se tělesa pro hloubku řezu 0,5 mm ohrubovala z obou stran, přičemž hloubka řezu hrubování byla 3,5 mm.

Samotný řezný proces probíhal podle naprogramovaného cyklu, který zajistil obrobení jedné strany těles, jež byla ofrézována různými řeznými podmínkami při konstantní hloubce řezu. Tělesa byla obráběna z obou stran. Nejprve byly obrobeny vzorky sousledným cyklem a potom nesousledným cyklem při stejných řezných podmínkách.

Dural vytváří hned po obrobení na povrchu obrobené plochy tenkou vrstvičkou Al_2O_3 , která chrání materiál před další korozí. Tento jev je v praxi sice výhodný, ale pro zkoumání morfologie povrchu bylo nutné zamezit vytvoření této vrstvičky. To bylo provedeno tak, že obrobený povrch byl hned po dokončení procesu obrábění natřen vrstvičkou oleje.

Vzhledem k technickým nedostatkům obráběcího stroje a časové tísni byly tvarové vzorky pouze ohrubovány.

6.7. Příprava vzorků

Při odebírání vzorků bylo nutné zvolit takový postup, při kterém nemohlo dojít ke změně struktury, ať již vlivem deformace nebo ohřevu.

Výroba zkušebních těles, která byla upnuta na upínacím přípravku, byla provedena tímto postupem:

- rozřezání tyčí o rozměru 100 x 12 x 800 mm dle odběrového plánu /viz příloha č. 9/ pilovým listem
- ofrézování těles na konečné rozměry:
 - a/ krátký vzorek 44 x 12 x 115 mm
 - b/ dlouhý vzorek 44 x 12 x 164 mm
- vyvrtání otvorů pro kolíky / ϕ 12 H8/
a šrouby / ϕ 8 H8/
na vrtacím přípravku /příloha č. 2/

- ofrézování dlouhých vzorků na vzorky tvarové
/viz příloha č. 7/.

Vzhledem k technickým nedostatkům obráběcího stroje FNL 08 NC a časové tísni byly tvarové vzorky pouze ohrubovány.

Obrobené krátké vzorky byly dále děleny kotoučovou frézou dle odběrového plánu /viz příloha č. 9, list 4/.

6.8. Měření drsnosti povrchu

Drsnost povrchu byla měřena na vzorcích o rozměrech 7 x 4 x 35 mm. Pro měření bylo použito zařízení Hommel-Tester T 3 /NSR/. Toto zařízení obsahuje dvě základní jednotky s řadou sekcí a vlastní snímač s posuvným zařízením.

První základní jednotkou je měřicí zesilovač nosné frekvence TL, na který lze zapojit jak mikrospínač, tak i délkový měřicí snímač. Základní jednotka umožňuje volbu dvanácti měřicích rozsahů. Posuvová jednotka slouží k upnutí mikrosnímačů, které vede zvolenou konstantní rychlostí po hodnocené ploše.

K měření bylo použito relativního snímače TFB 300, který má kluznou část, pohybující se po povrchu obrobku, z níž vyčnívá diamantový hrot.

Naměřené hodnoty R_a , R_m v jednotlivých vzorcích jsou uvedeny v příloze č. 11.

6.9. Měření morfologie povrchu

Morfologie je nauka o tvarech /19/. Pod pojmem morfologie povrchu tedy uvažujeme takový způsob hodnocení kvality obrobeného povrchu, který je orientován na posuzování tvarových odchylek ofrézovaného povrchu vzorků.

Morfologie povrchu byla měřena na vzorcích o rozměrech 12 x 4 x 16 mm. Pro měření byl použit velký, převrácený kamerový mikroskop pro snímkování NEOPHOT /obr. 14/, /pro zvětšení 60 x/, na kterém byl vzorek osvětlen šikmým světelným paprskem a elektronový rastrovací mikroskop BS 300 /pro zvětšení 2 000x, 10 000 x/.

Velký kamerový mikroskop Neophot je konstruován dle soustavy Le-Chatelierovy, což znamená, že stůl pro vzorky je umístěn nad optickým zařízením. Rovina stolu je rovnoběžná s rovinou vzorku, takže výbrus je bez jakékoliv úpravy kolmý k optické ose při uložení plochou výbrusu na stůl. Z toho vyplývá, že nezáleží na tloušťce vzorku.

Velký kamerový mikroskop Neophot je složen ze tří částí:

1. Optická zařízení

- křížový stůl je otáčivý a jeho deskou lze posunovat ve dvou vzájemně kolmých směrech
- stativ Neophotu
- iluminátor je upevněn na stativu a obsahuje hranoly a zrcátka, která soustřeďují světelné paprsky, které procházejí objektivem a dopadají na vzorek a odtud je odrážejí do okuláru nebo do fotografického přístroje.

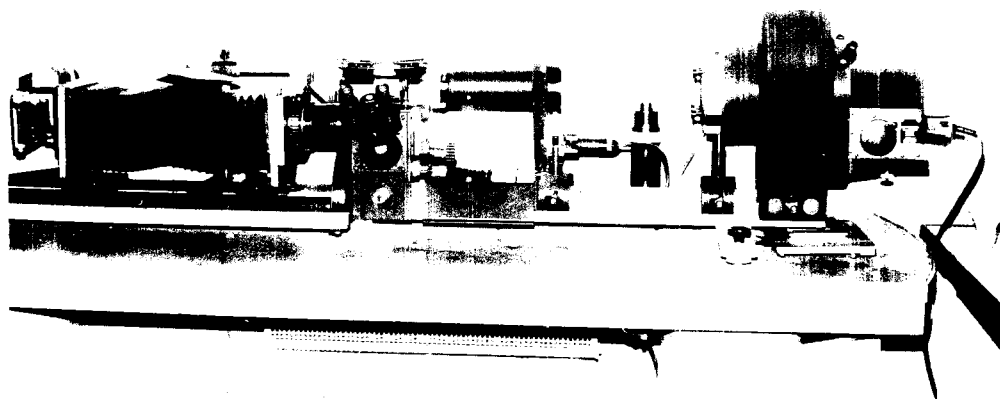
2. Zařízení osvětlení vzorku

- mikrosvětelné pomocí osvětlovací žárovky 6 V, 15 W, napájené střídavým proudem přes transformátor
- mikrofotografické osvětlení bylo složeno z uhlíkové obloukové lampy s hodinami, která byla zapojena přes odpor do sítě střídavého proudu a sběrače s kyvetou,

která obsahovala chladicí kapalinu /destilovanou vodu/. Funkcí sběrače je soustřeďovat světelné paprsky obloukové lampy.

3. Zařízení pro fotografování

- fotografický přístroj Pentacon SIX
- roztažitelný měch, který spojoval fotografický přístroj s předním rámem
- přední rám, na kterém byla upevněna časová a momentní uzávěrka ve vlastním rámečku. Do uzávěrky byla našroubována zaostřovací příruba s fotoobjektivem.



Obr. 14 - Velký kamerový mikroskop NEOPHOT

Vyhodnocením vzorků byly získány fotografie, které jsou uvedeny v příloze č. 12.

Rastrovací elektronové mikroskopy se používají v textilním průmyslu, ve vědě a dokonce i v oblastech biologie a medicíny. Rastrem se nazývají mřížky pro strukturní zobrazení svazku elektronu.

Rastr je nejdůležitější součástí rastrovacích optických systémů, které mohou ve svém složení obsahovat velké množství drobných optických elementů v podobě čoček, hranolů a zrcadel. Velkou předností rastrovacích elektronových mikroskopů je to, že jejich pomocí můžeme získat mnoho různých, doplňujících informací. REM dovolu je sledovat mikrorelief bez předchozí přípravy objektu, získat informace o chemickém složení hmoty, provést množství analýz atd. V nynější době je vytvořeno několik druhů REM, které se od sebe odlišují jak podle stavby, tak podle označení:

1. s žhavenou katodou
2. s autoemisní tryskou
3. emisí
4. rentgenové
5. kombinace předchozích

My jsme použili REM BS 300, jímž je vybavena KMP textilní fakulty na VŠST v Liberci.

Vzhledem k velkému vytížení REM byly zkoumány jen vybrané vzorky /A1, A4, A7, A10, B1, B4, B7, B10/, které byly obrob eny posuvovou rychlostí $s = 375 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Výsledkem zkoumání byly fotografie, které jsou uvedeny v příloze č. 13.

7. VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Na vypracovaných vzorcích byly měřeny tyto charakteristiky povrchové vrstvy:

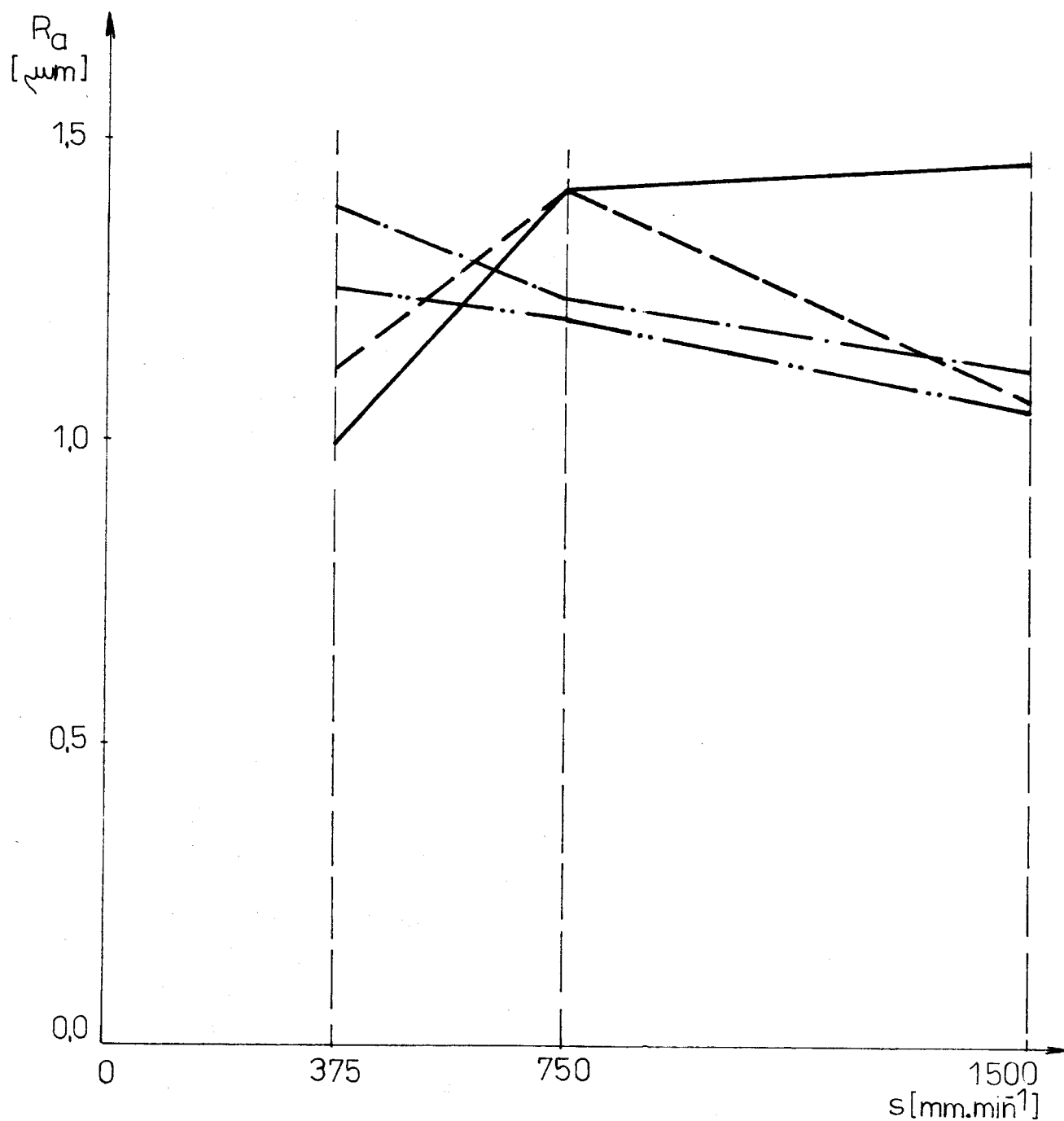
- drsnost povrchu
- morfologie povrchu
- hloubka a stupeň zpevnění
- zbytková napětí v povrchové vrstvě.

7.1. Drsnost povrchu

Měřením byly zjištěny hodnoty, které jsou uvedeny v příloze č. 11. Pro vyhodnocení drsnosti povrchu slouží grafické závislosti R_a / R_m / na posuvové rychlosti, jež jsou uvedeny na obr. 15 - 22. Z těchto závislostí vyplývá:

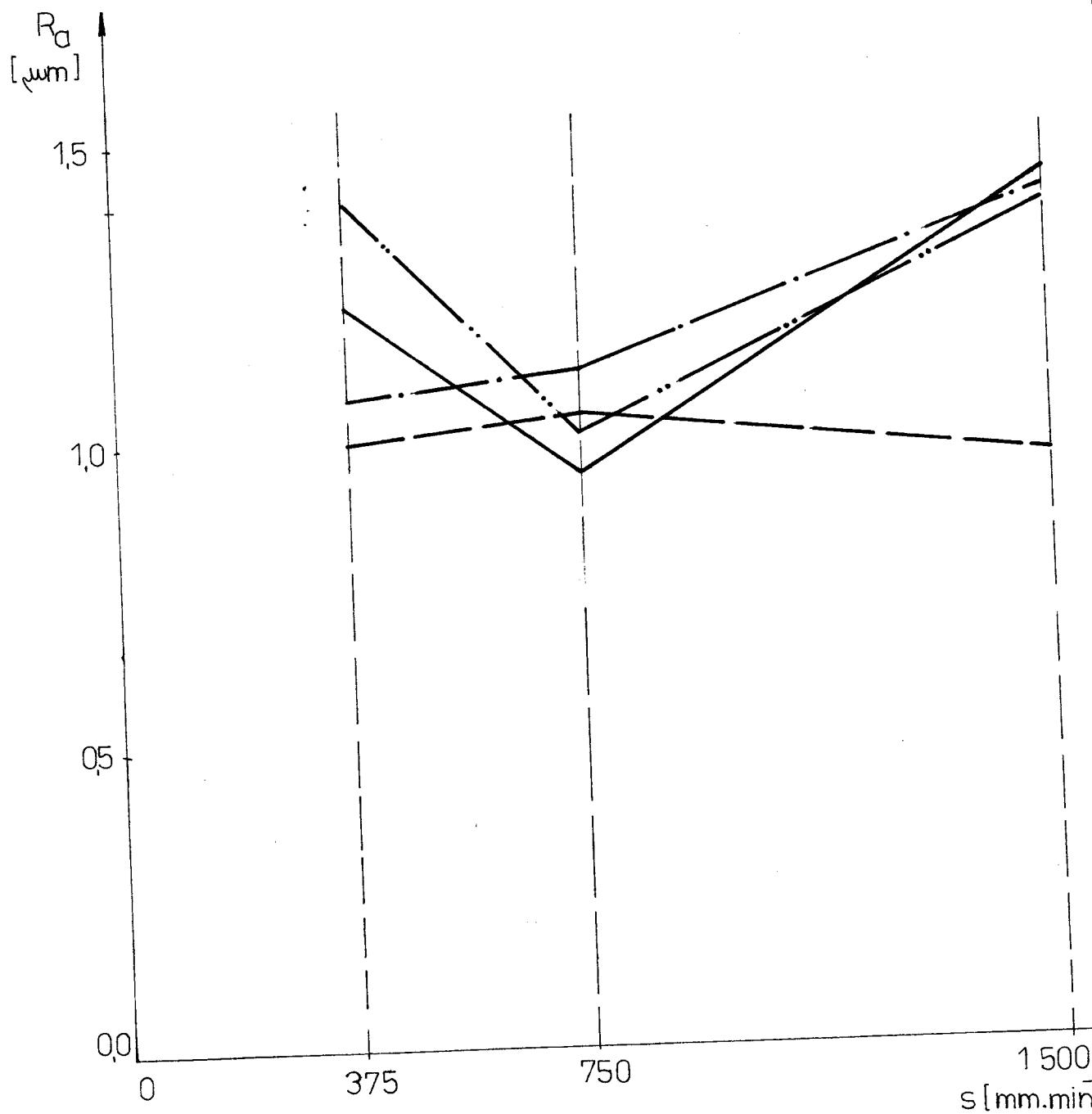
1. Rozsah příčné drsnosti povrchu pro sousledné frézování
 $R_a = 0,85 - 1,60 \text{ } \mu\text{m}$
 $R_m = 4,5 - 10,2 \text{ } \mu\text{m}$
2. Rozsah příčné drsnosti povrchu pro nesousledné frézování
 $R_a = 0,78 - 1,50 \text{ } \mu\text{m}$
 $R_m = 4,5 - 10,3 \text{ } \mu\text{m}$
3. Rozsah podélné drsnosti /vlnitosti/ povrchu pro sousledné frézování
 $R_a = 0,48 - 1,50 \text{ } \mu\text{m}$
 $R_m = 1,60 - 6,90 \text{ } \mu\text{m}$
4. Rozsah podélné drsnosti /vlnitosti/ povrchu pro nesousledné frézování
 $R_a = 0,20 - 1,70 \text{ } \mu\text{m}$
 $R_m = 1,0 - 10,2 \text{ } \mu\text{m}$
5. a/ pro příčnou drsnost povrchu / R_a i R_m / jsou hodnoty téměř shodné. Rozdíl je pouze při posuvu $s = 750 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ pro sousledné frézování, kde jsou hodnoty R_z nižší o $0,12 - 0,45 \text{ } \mu\text{m}$;
b/ pro vlnitost povrchu jsou hodnoty R_a téměř shodné, avšak hodnoty R_m mají menší interval hodnot pro sousledné frézování.

— $n = 3000 \text{ min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$
 - - - $n = 9000 \text{ min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$
 - · - $n = 3000 \text{ min}^{-1}$, $h = 4 \text{ mm}$
 - · · - $n = 9000 \text{ min}^{-1}$, $h = 4 \text{ mm}$



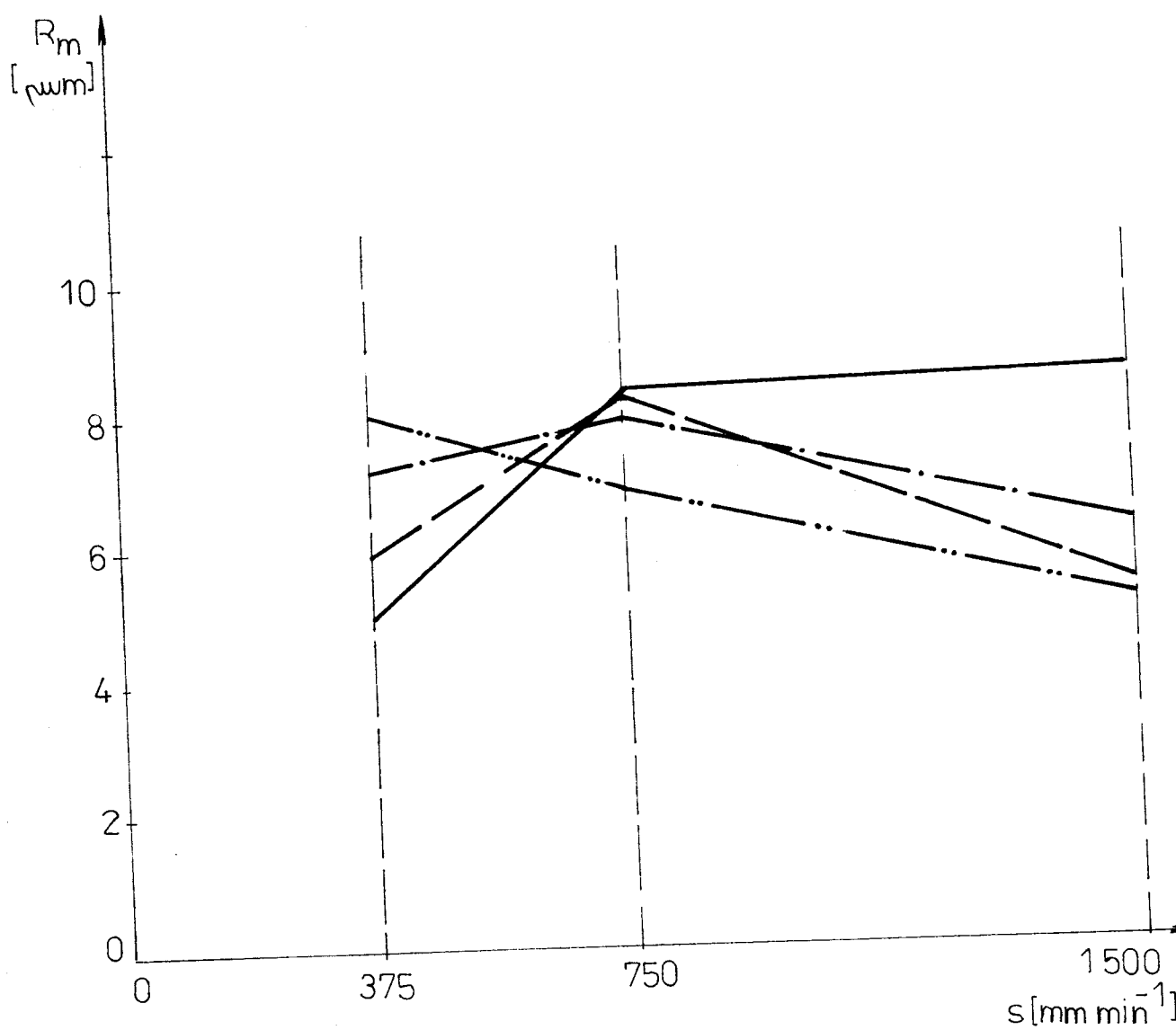
Obr. 15 - Závislost příčné R_a na posuvové rychlosti -
nesousledné frézování

- $n = 3\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 0,5\text{ mm}$
- - - $n = 9\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 0,5\text{ mm}$
- · - $n = 3\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 4\text{ mm}$
- · - $n = 9\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 4\text{ mm}$



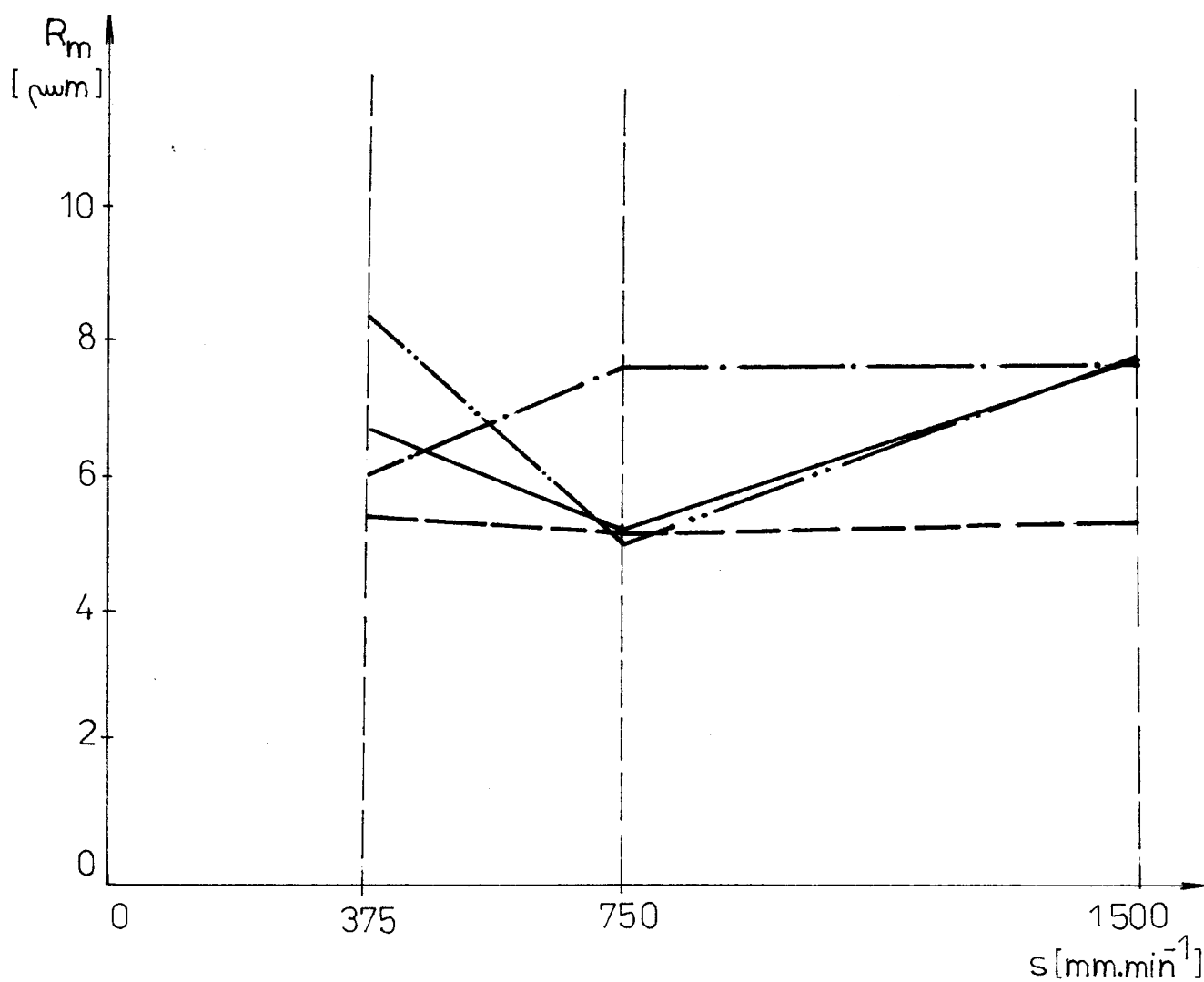
Obr. 16 - Závislost příčné R_a na posuvové rychlosti -
sousedné frézování

- $n = 3\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 0,5\text{ mm}$
 - - - - - $n = 9\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 0,5\text{ mm}$
 — . — . — $n = 3\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 4\text{ mm}$
 — . . . — $n = 9\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 4\text{ mm}$



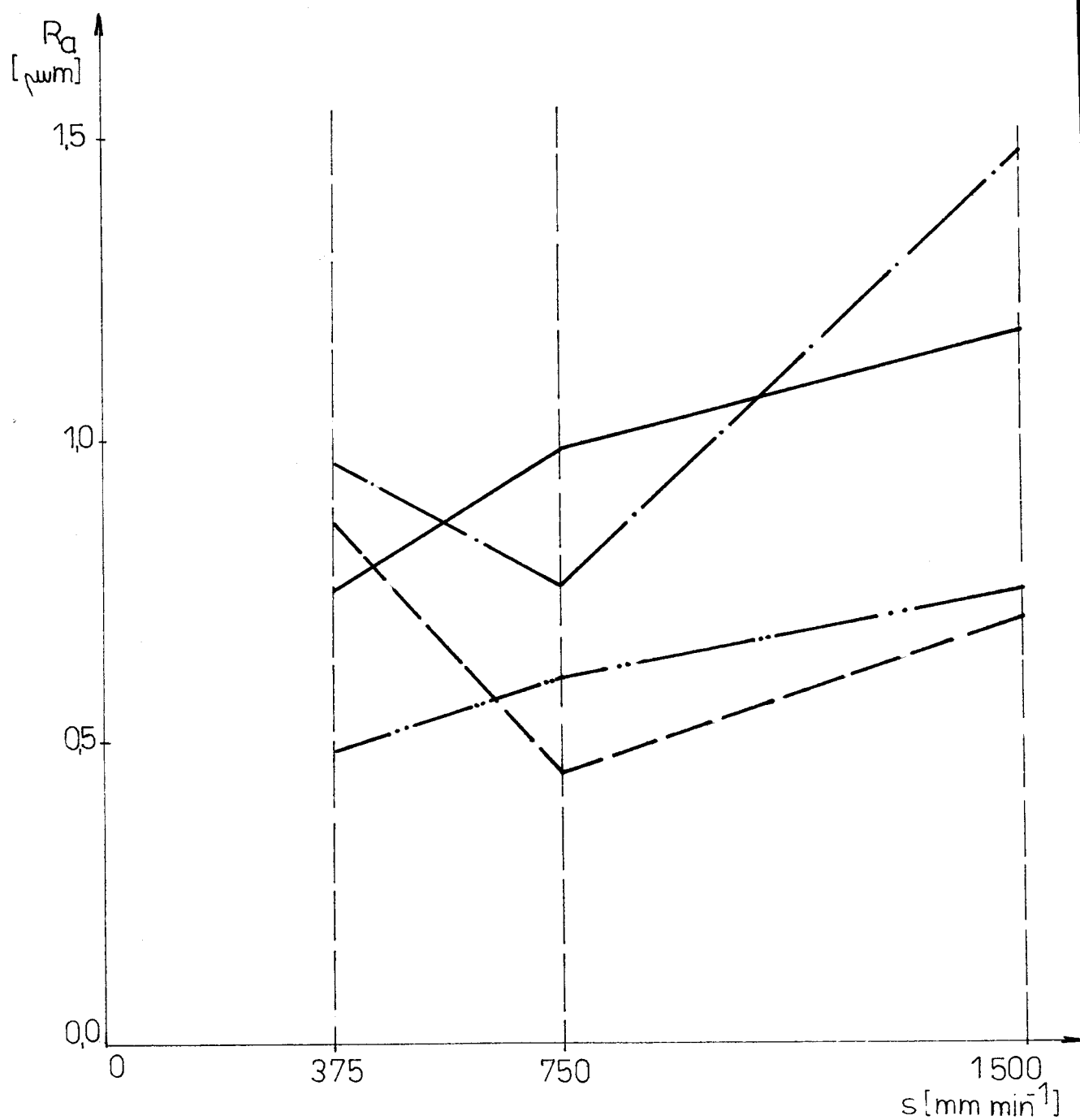
Obr. 17 - Závislost přéčné R_m na posuvové rychlosti -
nesousledné frézování

- $n = 3\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 0,5\text{ mm}$
- $n = 9\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 0,5\text{ mm}$
- · — · — $n = 3\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 4\text{ mm}$
- · · — $n = 9\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 4\text{ mm}$



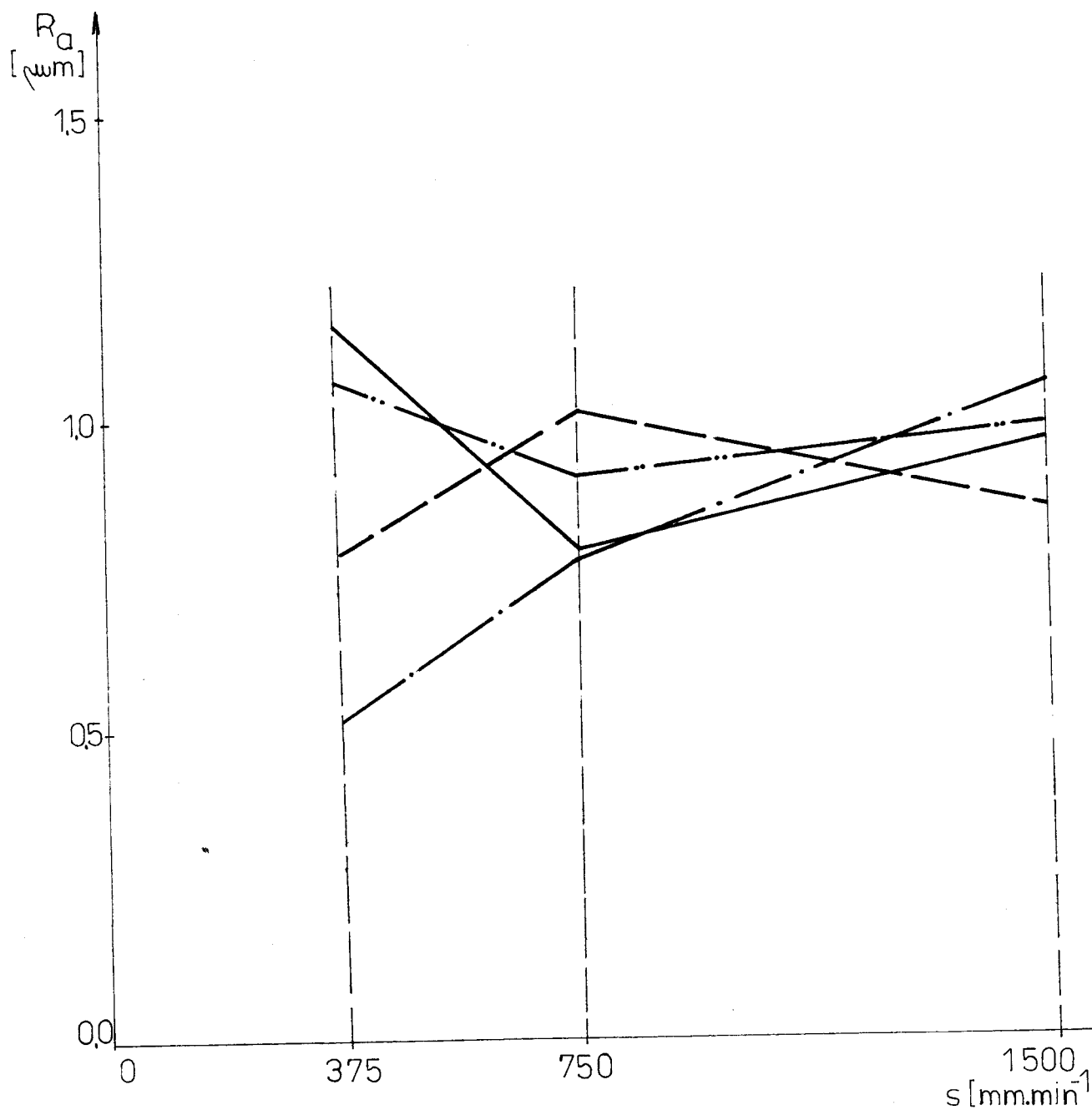
Obr. 18 - Závislost příčné R_m na posuvové rychlosti -
sousedné frézování

- $n = 3\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 0,5\text{ mm}$
- - - $n = 9\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 0,5\text{ mm}$
- . - $n = 3\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 4\text{ mm}$
- . . - $n = 9\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 4\text{ mm}$



Obr. 19 - Závislost podélné R_a na posuvové rychlosti -
nesousledné frézování

————— $n = 3\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 0,5\text{ mm}$
 - - - - - $n = 9\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 0,5\text{ mm}$
 — · — · — $n = 3\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 4\text{ mm}$
 — · · — $n = 9\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 4\text{ mm}$



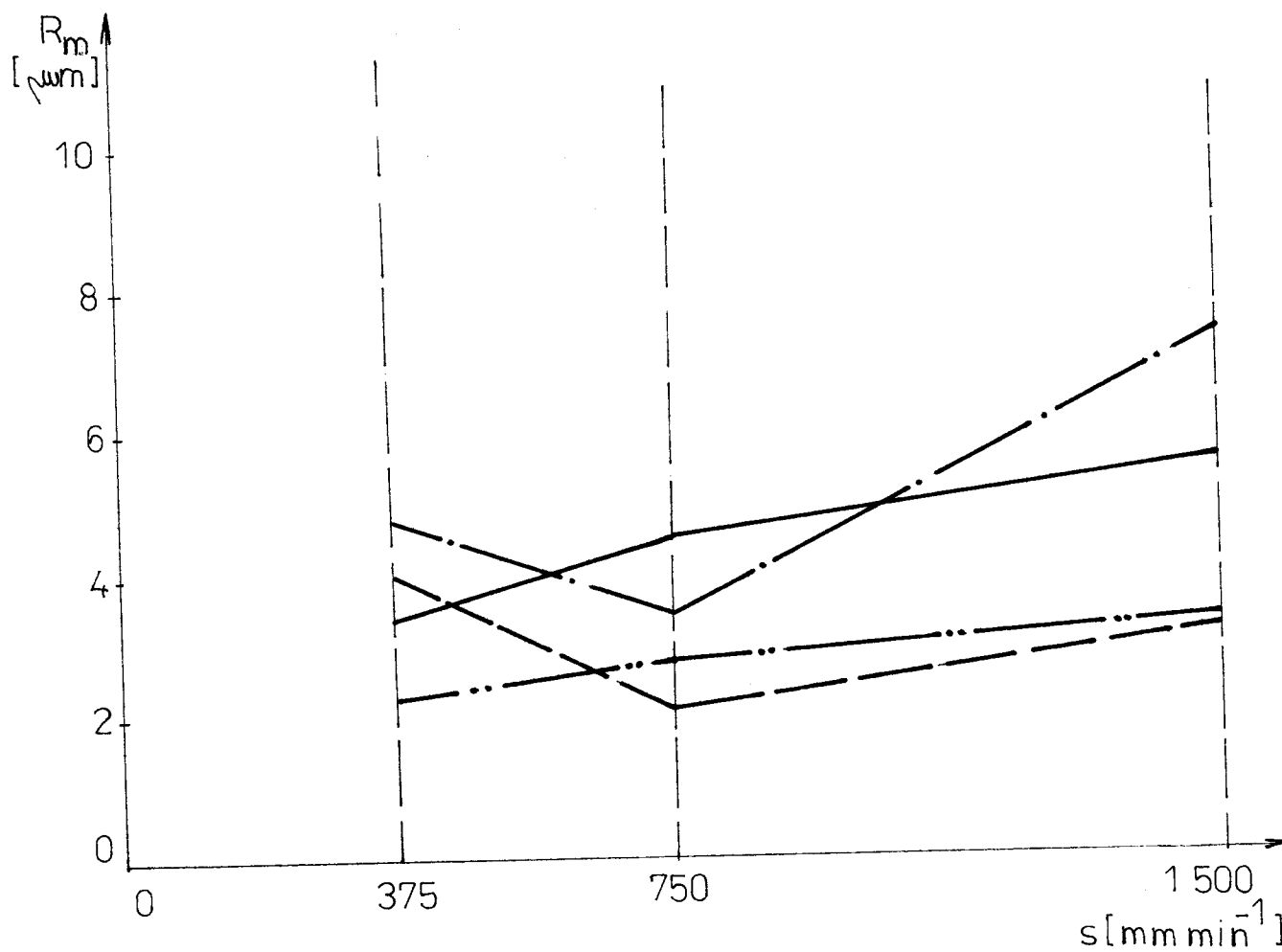
Obr. 20 - Závislost podélné R_a na posuvové rychlosti -
sousedné frézování

———— $n = 3\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 0,5\text{ mm}$

----- $n = 9\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 0,5\text{ mm}$

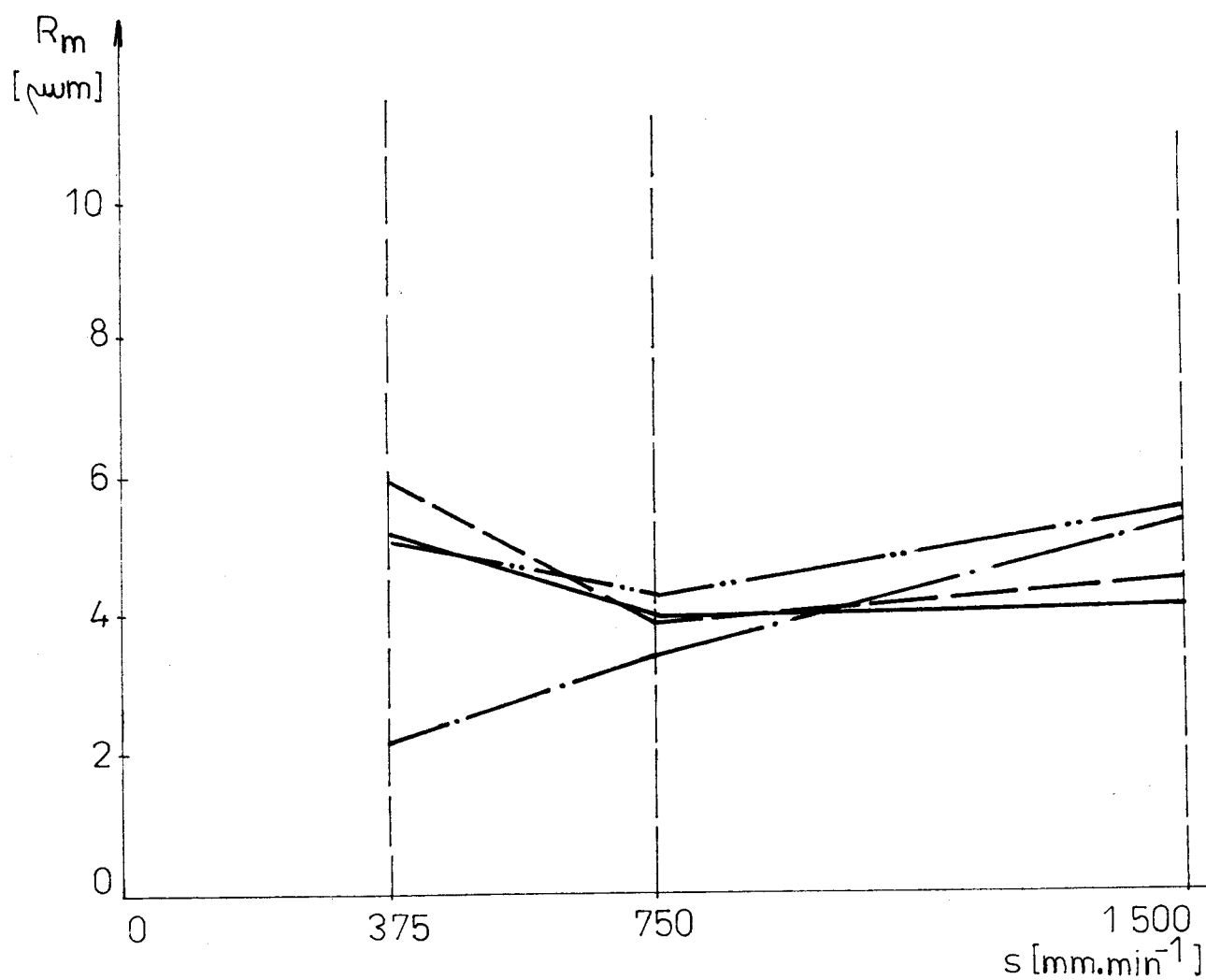
— · — · — $n = 3\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 4\text{ mm}$

— · · — $n = 9\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 4\text{ mm}$



Obr. 21 - Závislost podélné R_m na posuvové rychlosti -
nesousledné frézování

————— $n = 3\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 0,5\text{ mm}$
 - - - - - $n = 9\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 0,5\text{ mm}$
 — . — . — $n = 3\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 4\text{ mm}$
 — . . . — $n = 9\,000\text{ min}^{-1}$, $h = 4\text{ mm}$



Obr. 22 - Závislost podélné R_m na posuvové rychlosti -
sousedné frézování

6. Řezné podmínky nejkvalitnějšího povrchu z hlediska drsnosti povrchu:

a/ pro sousledné frézování - příčná drsnost R_a

$$\begin{aligned}h &= 0,5 \text{ mm} \\n &= 3\,000 \text{ min}^{-1} \\s &= 750 \text{ mm.min}^{-1}\end{aligned}$$

- příčná drsnost R_m

$$\begin{aligned}h &= 4 \text{ mm} \\n &= 9\,000 \text{ min}^{-1} \\s &= 750 \text{ mm.min}^{-1}\end{aligned}$$

b/ pro nesousledné frézování je příčná drsnost R_a i R_m minimální při těchto řezných podmínkách:

$$\begin{aligned}h &= 0,5 \text{ mm} \\n &= 3\,000 \text{ min}^{-1} \\s &= 375 \text{ mm.min}^{-1}\end{aligned}$$

c/ pro sousledné frézování je podélná drsnost /vlnitost/ R_a i R_m minimální při těchto řezných podmínkách:

$$\begin{aligned}h &= 4 \text{ mm} \\n &= 9\,000 \text{ min}^{-1} \\s &= 375 \text{ mm.min}^{-1}\end{aligned}$$

d/ pro nesousledné frézování je podélná drsnost R_a i R_m minimální při těchto řezných podmínkách:

$$\begin{aligned}h &= 4 \text{ mm} \\n &= 9\,000 \text{ min}^{-1} \\s &= 375 \text{ mm.min}^{-1}\end{aligned}$$

7.2. Morfologie povrchu

Morfologie je nauka o tvarech /19/. Pod pojmem morfologie povrchu tedy uvažujeme takový způsob hodnocení kvality obrobeného povrchu, který je orientován na posuzování tvarových odchylek ofrézovaného povrchu vzorků.

Výsledkem hodnocení morfologie povrchu byly fotografie, které jsou uvedeny v příloze č. 12 /pro mikroskop Neophot/ a č. 13 /pro REM/. Přiřazení řezných podmínek k vzorkům je uvedeno v příloze č. 10.

Pro hodnocení morfologie povrchu byla zvolena tato kritéria:

- vzdálenost stop po obrábění
- barevné odstíny jednotlivých stop.

Pro hodnocení morfologie povrchu na velkém, kamerovém mikroskopu Neophot při zvětšení 60x a šikmém osvětlení můžeme vysledovat tyto závěry:

1. Porovnáváme vzorky o stejné hloubce řezu a stejných otáčkách pro sousledné frézování

a/ $n = 3\ 000\ \text{min}^{-1}$, $h = 0,5\ \text{mm}$ /A1 - A3/ z fotografií vyplývá, že vzorek A1 má stopy po obrábění jemné a relativně blízko u sebe. Vzhledem k rovnoměrnosti rozložení tmavých a světlých stop na fotografii bylo usouzeno, že jednotlivé stopy mají různou hloubku. Vzorek A3 a A1 mají povrch srovnatelný, ale povrch vzorku A1 se jeví kvalitnější. Vzorek A2 má širší stopy po obrábění a vzhledem k tomu, že hloubka jednotlivých stop se jeví přibližně stejná, bylo usouzeno, že povrch vzorku A2 je kvalitnější než u vzorků A1 a A3;

b/ $n = 9\ 000\ \text{min}^{-1}$, $h = 0,5\ \text{mm}$ /A4 - A6/ ... již při prvním pohledu na fotografii těchto vzorků bylo zřetelně vidět, že vzorek A4 má z těchto tří vzorků nej-
kvalitnější povrch;

c/ $n = 3\ 000\ \text{min}^{-1}$, $h = 4\ \text{mm}$ /A7 - A9/ při hlubším prozkoumání bylo dosaženo závěru, že vzorek A8 má v této skupině vzorků nejdokonalejší povrch, poněvadž stopy po obrábění jsou jemné a hloubka těchto stop se jeví oproti ostatním vzorkům /A7, A9/ v nejmenším intervalu;

d/ $n = 9\ 000\ \text{min}^{-1}$, $h = 4\ \text{mm}$ /A10 - A12/ u těchto vzorků je patrné, že vzorky A10 a A11 mají stejnou vzdálenost a hloubku stop po obrobení. Tím bylo dosaženo závěru, že oba tyto vzorky mají kvalitnější povrch než vzorek A12.

2. Porovnáváme vzorky o stejných otáčkách pro sousledné frézování

a/ $n = 3\ 000\ \text{min}^{-1}$... při porovnávání dvojice A1 a A7, A2 a A8, A3 a A9 bylo vidět z fotografií, že u vzorků, které byly obrobena při vyšší hloubce řezu, se zvýšil rozdíl hloubky jednotlivých stop po obrábění. Nejlepší se jeví povrch vzorku A2.

b/ $n = 9\ 000\ \text{min}^{-1}$... také při porovnání dvojic A4 a A10, A5 a A11, A6 a A12 bylo vidět, že vzorky, které byly obrobena při vyšší hloubce řezu, mají vyšší rozdíl hloubky jednotlivých stop po obrábění. Nejzřetelněji to bylo znatelné na dvojici A6 a A12.

3. Porovnání vzorků, které byly obrobena sousledným frézováním.

Jako vzorky s nejlepším povrchem se jeví vzorky A2 a A4, které mají téměř shodnou rozteč stop a hloubka těchto stop se jeví přibližně shodná k ostatnímu povrchu obrobeneho materiálu.

4. Porovnávání vzorků o stejné hloubce řezu a otáčkách pro nesousledné frézování

a/ $n = 3\ 000\ \text{min}^{-1}$, $h = 0,5\ \text{mm}$ /B1 - B3/ ... při podrobnějším prohlédnutí vzorků bylo zřetelně vidět, že nejlepším povrchem z těchto tří vzorků má vzorek B1;

b/ $n = 9\ 000\ \text{min}^{-1}$, $h = 0,5\ \text{mm}$ /B4 - B6/ ... vzorky B4 a B5 mají přibližně stejnou rozteč a hloubku stop po obrobení, tudíž i stejnou kvalitu obrobene plochy, která je lepší oproti vzorku B6;

c/ $n = 3\ 000\ \text{min}^{-1}$, $h = 4\ \text{mm}$ /B7 - B9/ ... vzorky mají přibližně stejnou rozteč a hloubku jednotlivých stop po obrábění. Rozdíl hloubky jednotlivých stop je značný, proto bylo usouzeno, že se jedná o méně kvalitně obrobený povrch, přičemž nejlepší se jeví povrch vzorku B7;

d/ $n = 9\ 000\ \text{min}^{-1}$, $h = 4\ \text{mm}$ /B10 - B12/ ... již při prvním pohledu na tyto vzorky je vidět, že nejkvalitnější vzorek z hlediska rozdílnosti hloubky stop po obrobení je vzorek B11.

5. Porovnáváme vzorky o stejných otáčkách pro nesousledné frézování

a/ $n = 3\ 000\ \text{min}^{-1}$... při porovnání dvojic vzorků B1 a B7, B2 a B8, B3 a B9 bylo vidět, že u vzorků, které byly obrobeny při vyšší hloubce řezu, se zvýšil rozdíl hloubky jednotlivých stop po obrábění. Na vzorcích B3, B8, B9 byla zřetelně viditelná vlnitost povrchu, která se na fotografii projevila světlými příčnými pruhy;

b/ $n = 9\ 000\ \text{min}^{-1}$... při porovnání dvojic vzorků B4 a B10, B5 a B11, B6 a B12 bylo vidět, že u vzorků, které byly obrobeny při vyšší hloubce řezu, se zvýšil rozdíl hloubky jednotlivých stop po obrábění. Na vzorcích je patrna vlnitost povrchu materiálu. Nejkvalitněji obrobený povrch se jeví u vzorku B11.

6. Porovnání vzorků, které byly obrobeny nesousledným frézováním

Jako nejkvalitněji obrobený vzorek se jeví vzorek B1.

7. Porovnání vzorků obrobených sousledným a nesousledným frézováním

Jestliže porovnáváme oba způsoby frézování z hlediska morfologie povrchu, pak nutně dojdeme k závěru, že pro slitinu AlCu4Mg1 je povrch obrobeného materiálu kvalitnější při sousledném frézování, především z hlediska vlnitosti obrobeného povrchu.

Pro hodnocení morfologie povrchu na REM při zvětšení 2 000x, 10 000x, můžeme vysledovat tyto závěry:

1. Sousledné frézování - z fotografií je přímo vidět směr obrábění

a/ $n = 3\ 000\ \text{min}^{-1}$ - povrch obrobeného materiálu je značně potrháný;

b/ $n = 9\ 000\ \text{min}^{-1}$ - povrch, který je ofrézovaný těmito otáčkami, je také potrháný, ale tyto "trhlínky" jsou z hlediska rozložení a hloubky trhlin menší, než u vzorků obrobených otáčkami $n = 3\ 000\ \text{min}^{-1}$. U těchto vzorků jsou ve stopách po obrobení kulovité části, které nemohou být prozkoumány, protože zvětšení REM na toto prozkoumání nestačí.

2. Nesousledné frézování - z fotografií není přímo vidět směr obrábění

a/ $h = 0,5\ \text{mm}$ - obrobený povrch materiálu je potrháný pouze ojediněle. Ve stopách po obrábění jsou též kulovité části;

b/ $h = 4\ \text{mm}$, $n = 3\ 000\ \text{min}^{-1}$ - tento povrch materiálu se jeví jako nejkvalitnější jak z hlediska trhlin, tak z hlediska šířky a hloubky stop po obrábění;

c/ $h = 4\ \text{mm}$, $n = 9\ 000\ \text{min}^{-1}$ - povrch obrobený těmito řeznými rychlostmi je ojediněle potrháný, ale hlavně zde došlo k jevu, že oddělený materiál byl jakoby naplácnut na obrobený povrch.

3. Porovnání sousledného a nesousledného frézování

Z hlediska pozorování morfologie na REM se jeví jako kvalitnější způsob obrábění nesousledné frézování. Povrch tímto způsobem obrobený má jemnější stopy po obrábění a ojediněle potrháný povrch. Jako vzorek s nejlépe obrobeným povrchem se jeví vzorek A7 / $n = 3\ 000\ \text{min}^{-1}$, $h = 4\ \text{mm}$, $s = 375\ \text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ /.

7.3. Zpevnění povrchové vrstvy a zbytkové pnutí

Měření zbytkových pnutí bylo realizováno v zařízeních katedry obrábění a montáže VŠST Liberec.

Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v diplomové práci Pavla Sladkovského : " Vliv řezných podmínek při válcovém frézování Al - slitin na napjatost a zpevnění povrchové vrstvy po obrábění." , která byla vypracována v roce 1987 na VŠST v Liberci.

8. ZÁVĚR

Úkolem této diplomové práce bylo:

1. Průzkum současného stavu řešení problematiky
2. Obrobitelnost hliníkových slitin
3. Určení metodiky zkoušek pro zkoumání povrchových vrstev obrobků ze slitin hliníku
4. Vyhodnocování morfologie povrchu.

V průzkumu současného stavu řešení problematiky jsem zjistila, že problematiku hodnocení morfologie povrchu u Al - slitin nikdo podrobně nezkoumal.

Obrobitelnost hliníkových slitin je závislá především na chemickém složení těchto slitin. Velmi důležitou otázkou je volba řezných podmínek a obráběcího stroje, na kterém doporučené hodnoty řezných podmínek dosahujeme. Problematiku volby řezných podmínek jsem studovala z dostupné literatury a na základě této studie a zkoušek, které byly provedeny v roce 1986, byly zvoleny tyto hodnoty:

$$\begin{aligned}n &= 3\ 000; \ 9\ 000 \text{ ot.min}^{-1} \\s &= 375, \ 750, \ 1\ 500 \text{ mm.min}^{-1} \\h &= 0,5; \ 4 \text{ mm}\end{aligned}$$

Přiřazení řezných podmínek k jednotlivým vzorkům je uvedeno v příloze č. 10.

Příprava vzorků se prováděla dle odběrového plánu /příloha č. 9/.

Vlastní frézování vzorků bylo provedeno v n. p. Rudý Letov v Praze na frézce FNL 08 NC, která se používá pro frézování hliníkových slitin vysokými řeznými rychlostmi.

Hlavním úkolem této diplomové práce bylo měření a vyhodnocení morfologie povrchu a drsnosti povrchu Al - slitin.

Pro měření drsnosti povrchu slitiny AlCu4Mg1 byl použit přístroj HOMMEL TESTER T3, který má volitelnou délku měrného intervalu. Protože rozteč podélné drsnosti u některých vzorků je až 1,8 mm byl interval podélné drsnosti volen 6,3 mm a příčné drsnosti 2 mm. Naměřené hodnoty podélné a příčné drsnosti jsou uvedeny v příloze č. 11.

Při hodnocení morfologie povrchu slitiny AlCu4Mg1 na mikroskopu NEOPHOT jsem vyfotografovala všech dvacetčtyři vzorků. Fotografie těchto vzorků neumožňují v dostatečné míře vyhodnocení odlišností morfologie povrchu. Z těchto fotografií můžeme usuzovat pouze na kvalitu povrchu z hlediska příčné drsnosti, u některých vzorků i z hlediska podélné drsnosti. Posuzování morfologie povrchu na těchto fotografiích není vhodné, protože se dosahuje zvětšení, které je pro porovnání vlnitosti moc velké a pro porovnání morfologie povrchu moc malé.

Závěry, které plynou z měření na mikroskopu NEOPHOT jsou měřením na REM zcela vyvráceny.

Při hodnocení morfologie povrchu slitiny AlCu4Mg1 na rastrovacím elektronovém mikroskopu jsme pozorovali jen vybrané vzorky /A1, A4, A7, A10, B1, B4, B7, B10/, které byly zkoumány bod po bodu měřeného vzorku. Místa, která byla charakteristická pro celý vzorek, jsme vyfotografovali. Při tomto měření se skutečně zkoumá morfologie povrchu a na první pohled je z tohoto hodnocení vidět, co za tvarové odchylky na obrobeném povrchu jsou.

Výsledkem pozorování bylo, že nesesledné frézování je z hlediska hodnocení morfologie povrchu lepší, než sousledné frézování. Avšak zůstává zde problém: "Co jsou kulovité tvary?" Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, REM není schopen dosáhnout takových zvětšení, abychom zjistili tuto skutečnost.

Na tuto otázku může odpovédět pouze analytický mikroskop, který vlastní například Akademie věd Praha. My jsme mohli pouze vyslovit hypotézy, které udávají, čím jsou kulovité tvary vytvořeny:

- flíčky po odpaření mlhy,
- vzhledem k vysokým rychlostem /tlakům/ mohlo dojít k místnímu natavení jedné z fází AlCu_4Mg
- nečistoty na povrchu materiálu.

Pro další měření bych doporučovala:

1. Zvětšit interval měření drsnosti, z toho vyplývá měření drsnosti povrchu na větších vzorcích.
2. Morfologii povrchu pozorovat:
 - a/ pouhým okem nebo za pomoci lupy o zvětšení 5x - 10x;
 - b/ pomocí REM při zvětšení, která byla použita /2 000x, 10 000x/;
 - c/ pomocí analytického mikroskopu vyřešit problematiku kulovitých částí.

Tato diplomová práce je součástí státního úkolu a bude tudíž problematika vyhodnocování morfologie povrchu a drsnosti povrchu dále zkoumána.

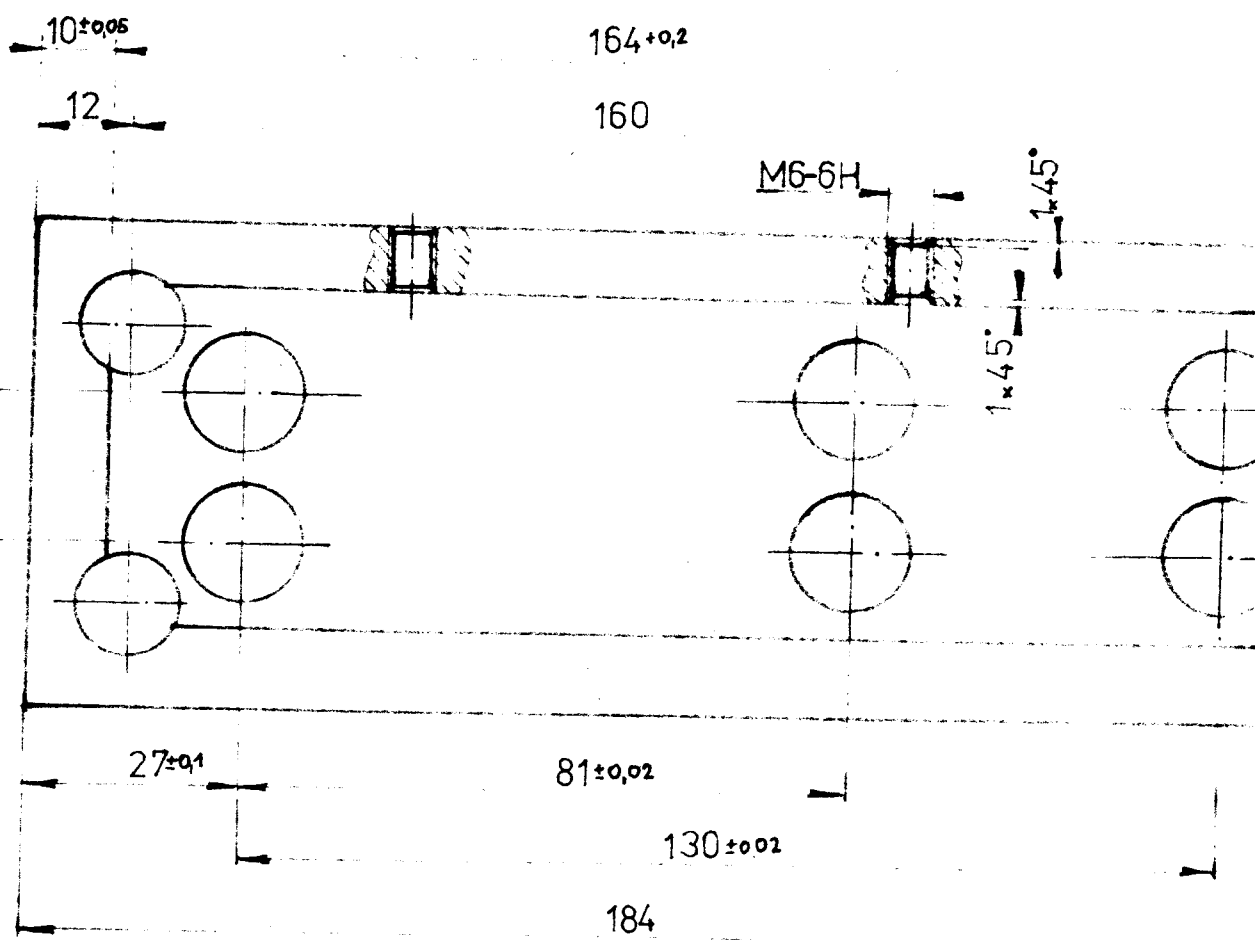
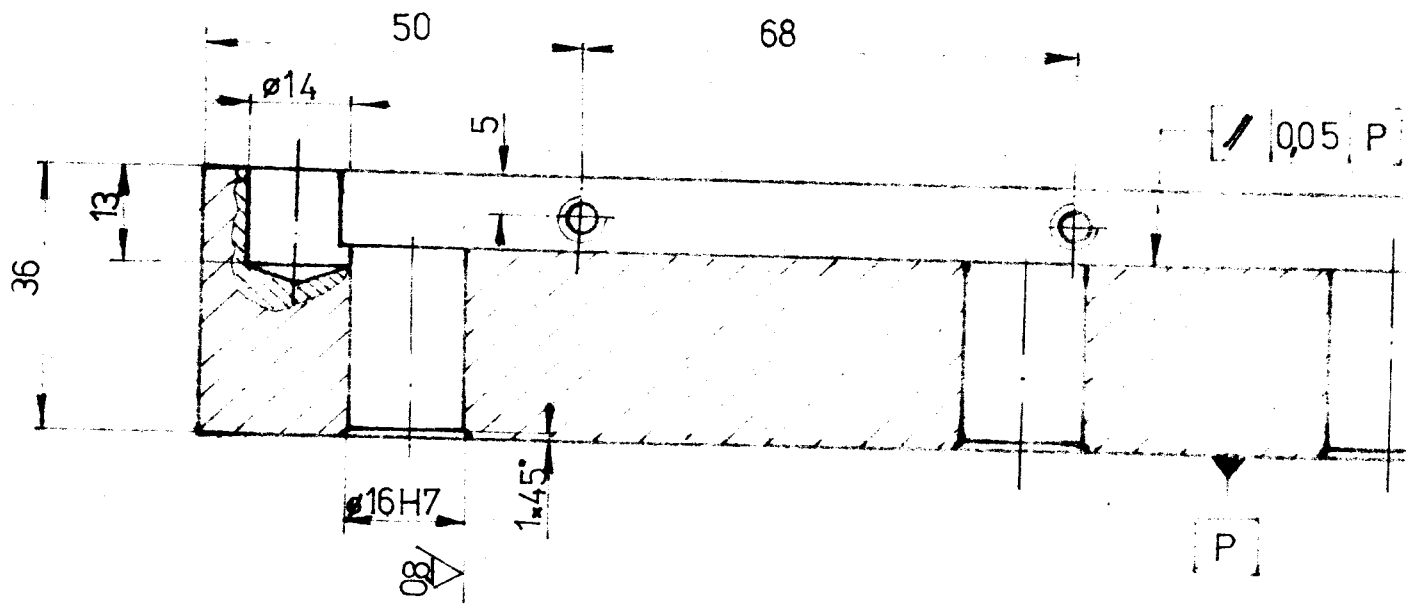
Závěrem bych chtěla poděkovat pracovníkům KOM VŠST Liberec, zvláště vedoucímu diplomové práce Ing. J. Jersákovi, za odborné rady a cenné připomínky k diplomové práci a s. Z. Heligarové za pomoc při realizaci experimentální části. Dále bych chtěla poděkovat Ing. J. Staňkovi, CSc, pracovníkovi KMP VŠST Liberec za pomoc při realizaci experimentální části a Doc. Ing. J. Horynovi, CSc, za odborné rady.

Na závěr bych chtěla poděkovat pracovníkům n. p. Rudý Letov za umožnění obrobění vzorků, zvláště pak Ing. Zvěřinovi.

9. POUŽITÁ LITERATURA

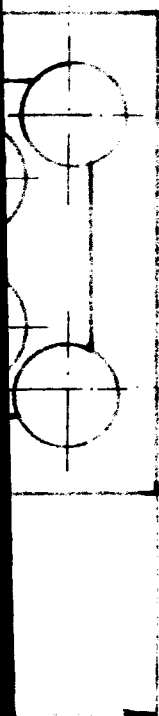
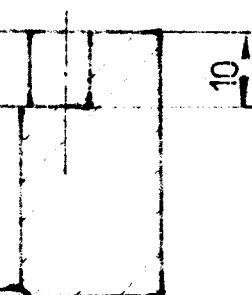
- /1/ Kolektiv: Příručka o hliníku, Praha, SNTL, 1969
- /2/ Roček, V.: Příručka obrábění, Praha, SNTL, 1973
- /3/ Autor neuveden: Revue de L'Aluminium, Principaux facteurs d'usinage, 1982, č. 521, s. 419 - 422
- /4/ Buda, J. - Békéš, J.: Teoretické základy obrábění kovov, SNTL - ALFA, 1977
- /5/ Schmeddel, D., Arnold, W., Scherer, J.: VDI-Z, 122, 1980, s. 243
- /6/ Bobek, V.: Frézování Al - slitin frézami a vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů /Diplomová práce/, Liberec, 1981, VŠST, Fakulta strojní
- /7/ Kahles, J., F., McGill, F., J.: American Machinist, 1979, s. 115
- /8/ Nielsen, H., Haufmagel, W., Gahoulis, G.: Aluminijevuyje splavy, Moskva, 1979
- /9/ Aluminium - Aluminyj, Moskva, 1972
- /10/ Věda a technika v zahraničí, 21, 1985, č. 17, s. 66
- /11/ Jakobson, M., O.: Šerochoratost, naklep i ostatočnyje naprjaženija pri mehaničeskoj obrabotke, 1956
- /12/ Rohmann, W.: Industrie anzeiger, 106, 1984, č. 87, s.59
- /13/ Mašín, I.: Obrábění Al - slitin válcovým frézováním /Diplomová práce/ Liberec, 1986, VŠST, Fakulta strojní
- /14/ Dráb, V.: Technologie I, VŠST, Liberec, 1985
- /15/ Přikryl, Z., Musílková, R.: Teorie obrábění, SNTL - ALFA, Praha, 1982
- /16/ Nikl, I.: Vznik a měření zoytkových pnutí, SVOČ, VŠST, Liberec, 1983
- /17/ Novák, A.: 1 144 - VL 338 - 73, VÚVL, Brno
- /18/ Gvozdozer, R., S., Komolovoj, L., F.: Rastrovaaja elektronnaaja mikroskopiija i rentgenovskij mikroanaliz, perevod s anglickovo, Moskva, Mír, 1987
- /19/ Klimeš, L.: Slovník cizích slov, SPN, Praha 1981

- /20/ Kvapil, R., Průšek, A., Jersák, J.: Vliv podmínek obrábění na stav povrchu při čelaím a válcovém frézování Al - slitin, vězkuuná zpráva, VŠST Liberec, 1986
- /21/ Sladkovský, P.: Vliv řezných podmínek při válcovém frézování Al - slitin na napjatost a zpevnění povrchové vrstvy po obrábění /Diplomová práce/, Liberec, 1987, VŠST, Fakulta strojní



C-C

32/ (✓)



40

44.5

64

C

1 70x40x188

ČSN425522 11373.0

001

SLADKOVSKÝ *Sladkovský*

1:1

19.2.1987

VŠST
LIBEREC

VRTACÍ
PŘÍPRAVEK

3-KOM-OM-475-02

STOPKA 40 PNL 0221

B3,15 ČSN 014915

Technical drawing of a mechanical part, likely a nozzle or connector, showing a front view and two cross-sectional views (A-A and B-B). The front view shows a tapered upper section (1) and a lower section (2) with a central bore. Dimensions include a total height of 167.5, a central bore diameter of 45, and various radii (R5, R8). Surface texture symbols (0.02 A) are present. Two cross-sections are shown: A-A at the top with a 35-degree angle, and B-B at the bottom with a 6-degree angle. The drawing is labeled "STOPKA 40 PNL 0221" and "B3,15 ČSN 014915".

STOPKA 40 PNL 0221

1

2

10

5

0.04

A

167,5

102,5

0.04

R5

ø45

R8

0.08

42

50

65

15

2

1°

0.02 A

0.02 A

B3,15 ČSN 014915

A

17

14,5

0.02

30°

35°

2°

3

2

6°

0.02

12°

12°

36

Technical drawing of a mechanical part, likely a nozzle or connector, showing a front view and two cross-sectional views (A-A and B-B).

Front View Dimensions:

- Total height: 167.5
- Main body height: 102.5
- Base height: 65
- Base diameter: $\varnothing 45$
- Top flange thickness: 10
- Flange offset: 5
- Surface texture: 0.02 A
- Radii: R5, R8
- Internal features: 42, 50, 1°

Cross-section A-A:

- Internal diameter: 45
- Internal features: 17, 14.5, 12
- Angles: 30°, 35°
- Surface texture: 0.02 A

Cross-section B-B:

- Internal diameter: 45
- Internal features: 12, 36
- Angles: 12°, 6°
- Surface texture: 0.02 A

Material and Standards:

- Material: B3.15 ČSN 014915
- Part Name: STOPKA 40 PNL 0221

Technical drawing of a mechanical part, likely a nozzle or connector, showing a front view and two cross-sectional views.

Front View Dimensions:

- Total height: 167,5
- Top section height: 102,5
- Base diameter: $\varnothing 45$
- Top section diameter: 10
- Top section thickness: 5
- Base thickness: 15
- Internal height: 42, 50, 65
- Radii: R5, R8
- Surface texture symbols: 0,02 A
- Section line A-A

Cross-sectional View Dimensions:

- Top section diameter: 17
- Top section thickness: 14,5
- Internal height: 12
- Base diameter: 36
- Angles: 30°, 35°, 12°, 6°
- Surface texture symbol: 0,02 A

STOPKA 40 PNL 0221

1

2

10

5

0.4

A

167,5

102,5

0.4

R5

ø45

R8

0.8

42

50

65

15

2

1°

0.02 A

0.02 A

B3,15 ČSN 014915

A

17

14,5

0.2

30°

35°

2°

3

2

6°

0.2

12°

12°

36

Technical drawing of a mechanical part, likely a nozzle or connector, showing a front view and two cross-sectional views (A-A and B-B).

Front View Dimensions:

- Total height: 167.5
- Main body height: 102.5
- Base height: 65
- Base diameter: $\varnothing 45$
- Top flange thickness: 10
- Flange offset: 5
- Surface texture: 0.02 A
- Radii: R5, R8
- Internal features: 42, 50, 1°

Cross-section A-A:

- Internal diameter: 45
- Internal features: 17, 14.5, 12
- Angles: 30°, 35°
- Surface texture: 0.02 A

Cross-section B-B:

- Internal diameter: 45
- Internal features: 12, 36
- Angles: 12°, 6°
- Surface texture: 0.02 A

Material and Standards:

- Material: B3.15 ČSN 014915
- Part Name: STOPKA 40 PNL 0221

STOPKA 40 PNL 0221

B3,15 ČSN 014915

Technical drawing of a mechanical part, likely a nozzle or connector, showing a front view and two cross-sectional views. The front view includes dimensions such as 10, 5, 167,5, 63,5, 15, 2, 42, 50, 65, 1, 7, 0,02, A, 0,02, A, 0,4, 0,2, R5, R8, 0,8, 0,4, 1, 2, 3, 2, 2°, 12°, 12°, 36, 6°. The cross-sections show internal features and dimensions like 17, 14,5, 0,2, 0,4, 1, 2, 3, 2, 2°, 12°, 12°, 36, 6°. The drawing is labeled 'STOPKA 40 PNL 0221' and 'B3,15 ČSN 014915'.

STOPKA 40 PNL 0221

B3,15 ČSN 014915

Technical drawing of a mechanical part, likely a nozzle or connector, showing a front view and two cross-sectional views (A-A and B-B).

The front view shows a tapered upper section (1) and a lower section (2) with a central bore. Dimensions include a total height of 167.5, a central bore diameter of 45, and various radii (R5, R8). Surface texture symbols are present.

Two cross-sections are shown: A-A (top) and B-B (bottom), both showing internal features and dimensions.

[illegible]

STOPKA 40 PNL 0221

B3,15 ČSN 014915

Technical drawing of a mechanical part, likely a nozzle or connector, showing a front view and two side views. The front view includes dimensions such as 10, 5, 167,5, 63,5, 15, 2, 42, 50, 65, 1, 0,02 A, and 0,02 A. The side views show profiles with dimensions like 17, 14,5, 0,2, 30°, 35°, 2°, 3, 2, 6°, 12°, 12°, 36, and 3. The drawing is labeled 'STOPKA 40 PNL 0221' and 'B3,15 ČSN 014915'.

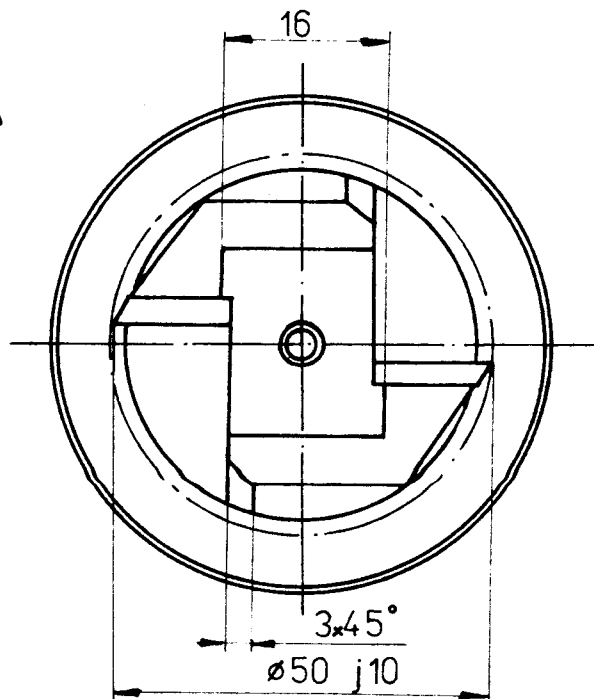
STOPKA 40 PNL 0221

B3,15 ČSN 014915

Technical drawing of a mechanical part, likely a nozzle or connector, showing a front view and two side views. The front view includes dimensions such as 10, 5, 167,5, 63,5, 15, 2, 42, 50, 65, 1, 0,02 A, and 0,02 A. The side views show profiles with dimensions like 17, 14,5, 0,2, 30°, 35°, 2°, 3, 2, 6°, 12°, 12°, 36, and 3. The drawing is labeled 'STOPKA 40 PNL 0221' and 'B3,15 ČSN 014915'.

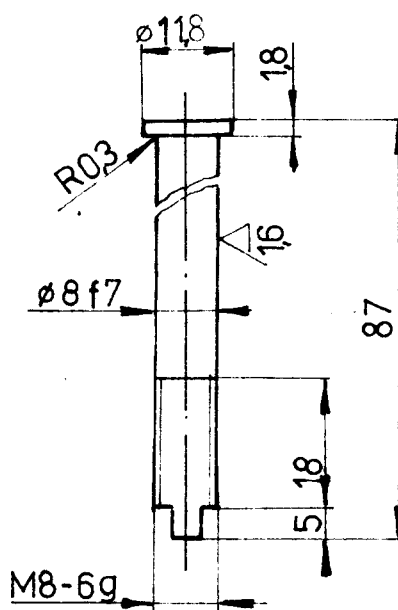
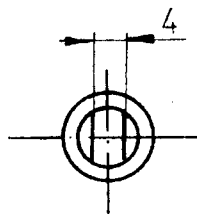
→ A

32/ (✓)



2	DESTIČKA		K40				4-PD-0880-623	2
1	ø63x183	ČSN425510	11700.0		001			1
SLADKOVSKÝ <i>Sladkovský</i> 1:1 19.2.1987 VŠST LIBEREC 50x50 PNL 2355 3-KOM-OM-475-03								

32/ (✓)



22 $\phi 12 \times 90$

ČSN 4 26530 15 230.0

022

SLADKOVSKÝ *Sladkovský*

1:1

19.2.1987

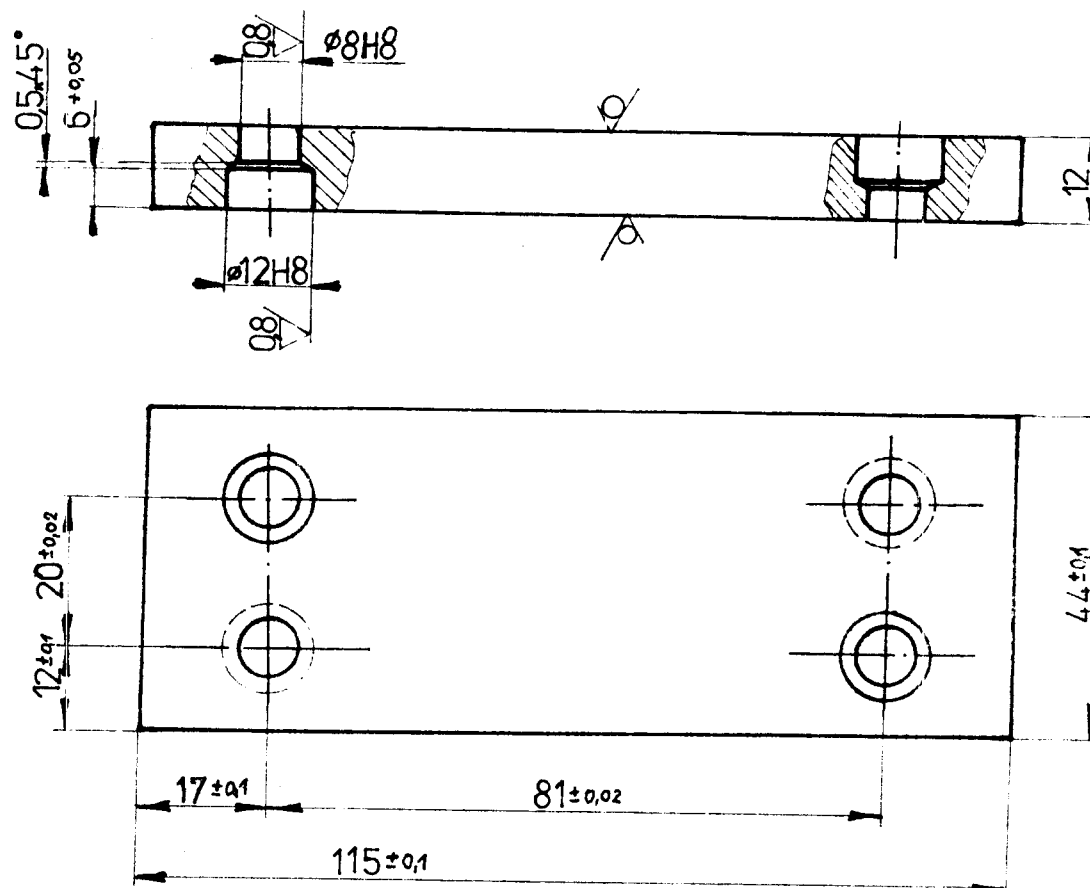
VŠST

LIBEREC

ŠROUB

4-KOM-OM-475-04

16/ (✓, ✓)



OTVORY VRTAT V PŘÍPRAVKU Č.V. 3-KOM-OM-475-02

38 118x46x12

VÁLC.PLECH 424202

812

SLADKOVSKÝ *Sladkovský*

1:1

19.2.1987

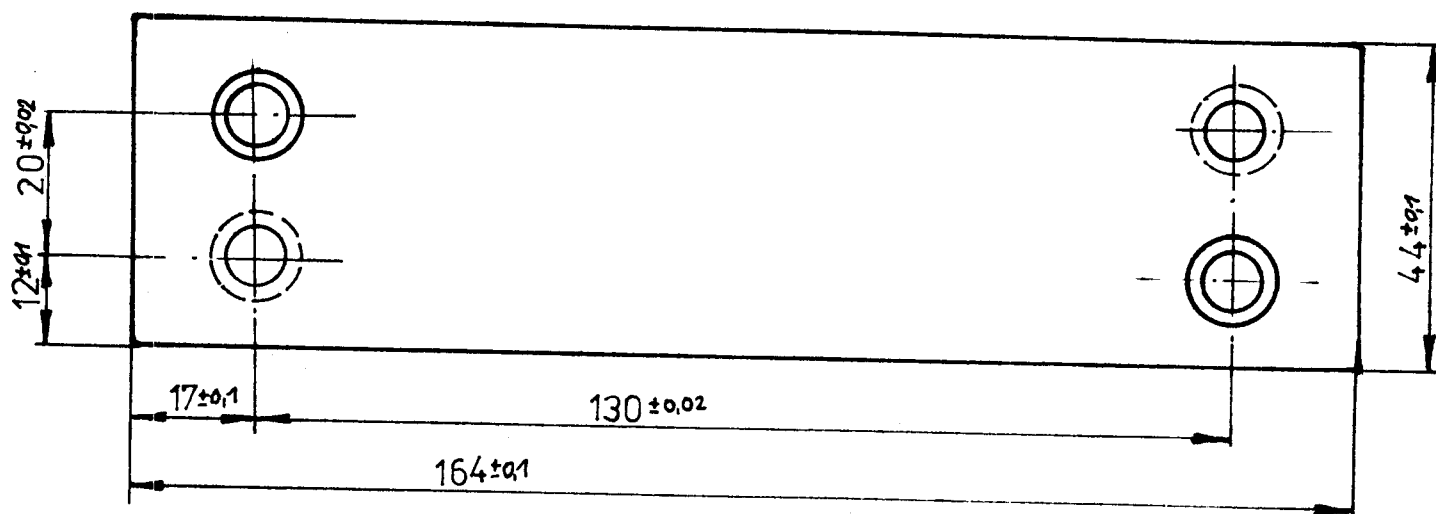
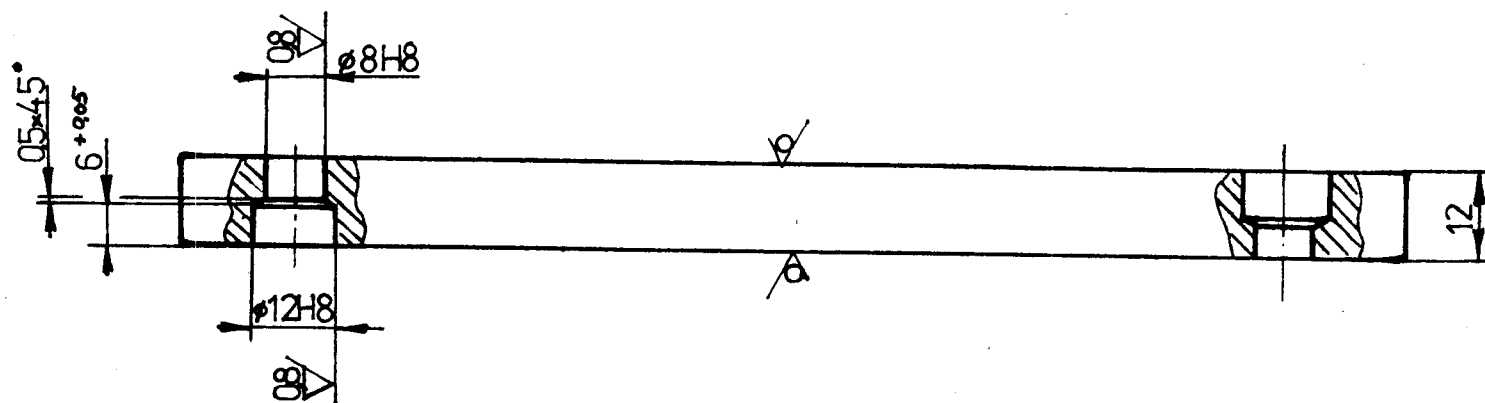
VŠST
LIBEREC

KRÁTKÝ
VZOREK

4-KOM-OM-475-05

Příloha č.5

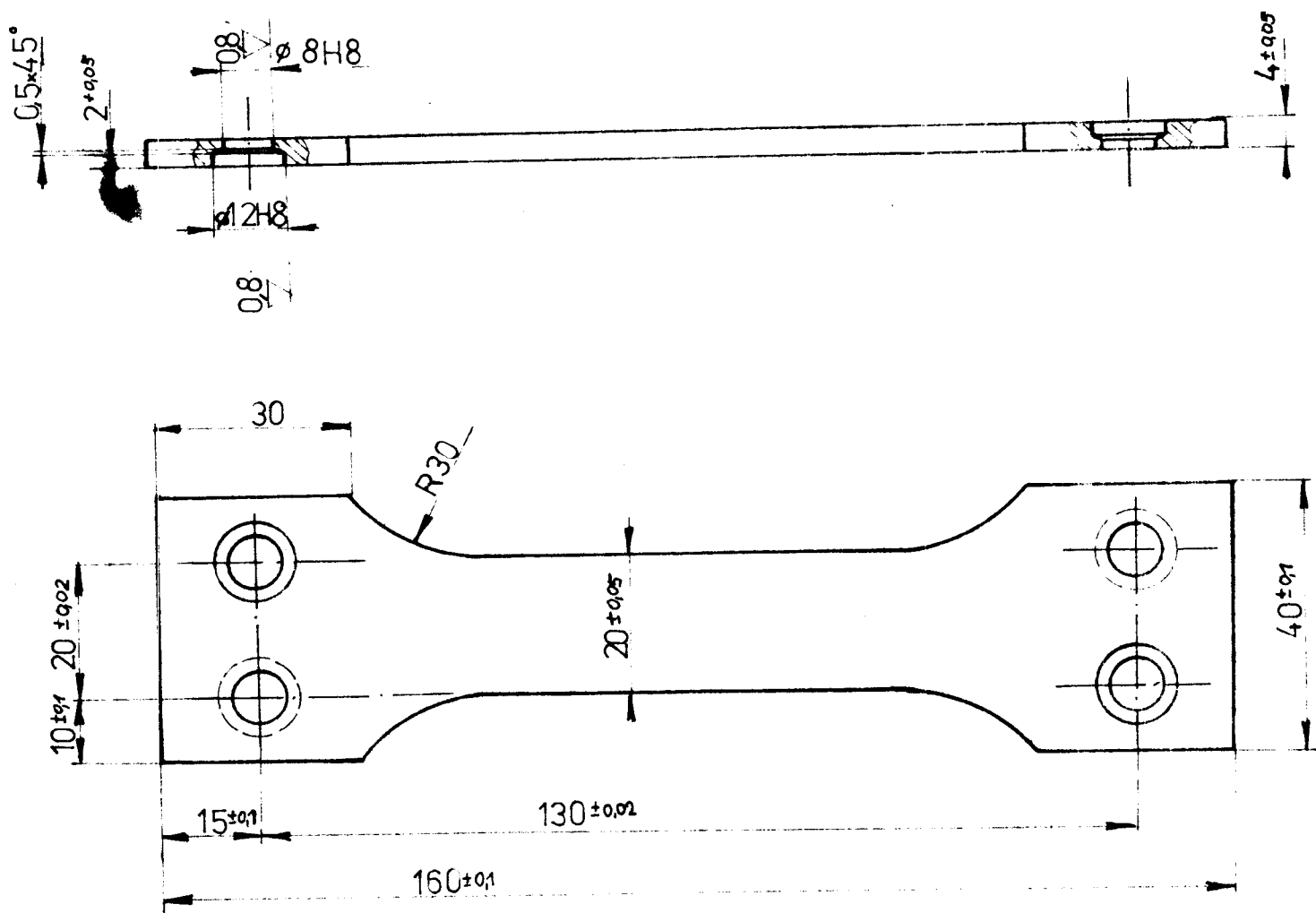
16/ (✓, ✓)



OTVORY VRTAT V PŘÍPRAVKU Č.V. 3-KOM-OM-475-02

72	166×46×12	VÁLČ. PLECH	424202	812					
SLADKOVSKÝ <i>Rachborsky</i>									
1:1									
19.2.1987									
VŠST		DLOUHÝ		4-KOM-OM-475-06					
LIBEREC		VZOREK							

16/ (✓)



OTVORY VRTAT V PŘÍPRAVKU Č.V.3-KOM-OM-475-02

72 164x44x12

VÁLC.PLECH 424 202

812

SLADKOVSKÝ *Sladkovský*

1:1

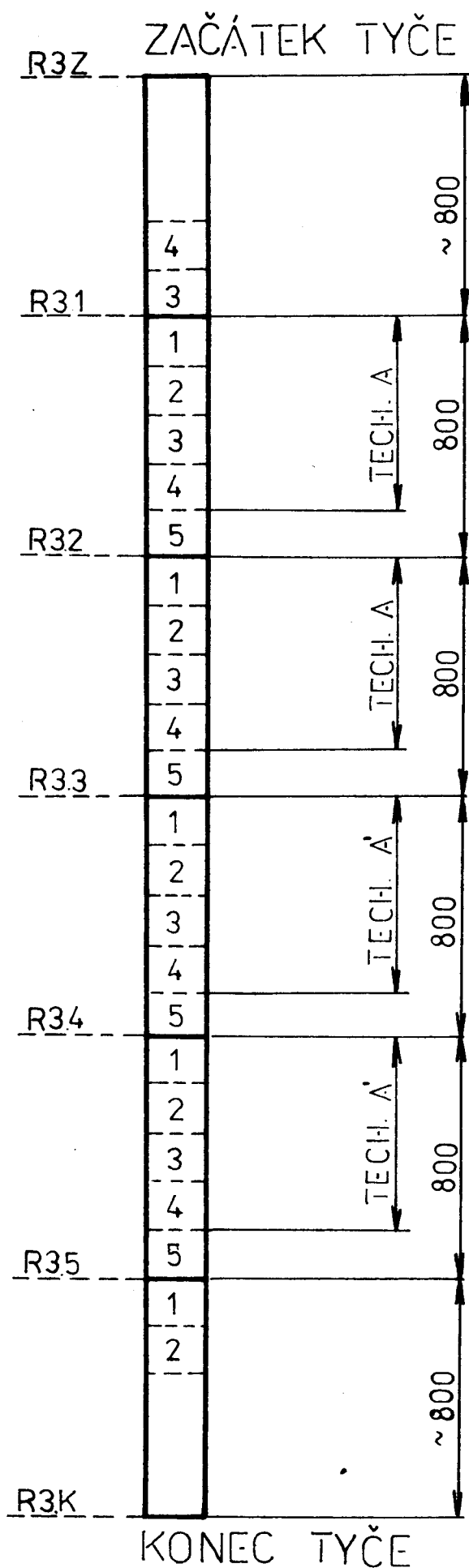
19.2.1987

VŠST
LIBEREC

TVAROVÝ
VZOREK

4-KOM-OM-475-07

ODBĚROVÝ PLÁN



TECHNOLOGIE :

A - R 3.1
R 3.2

A' - R 3.3
R 3.4

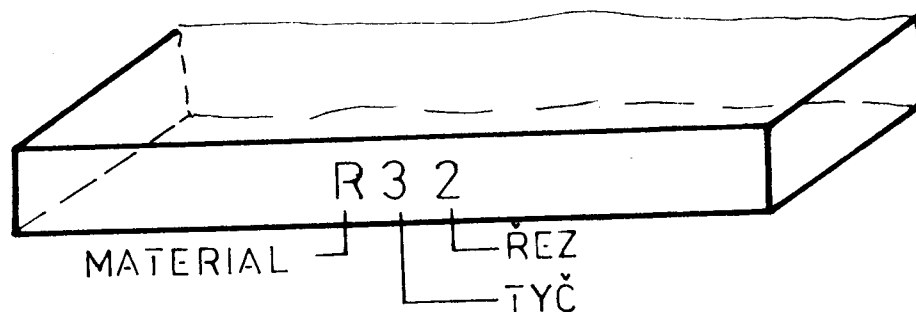
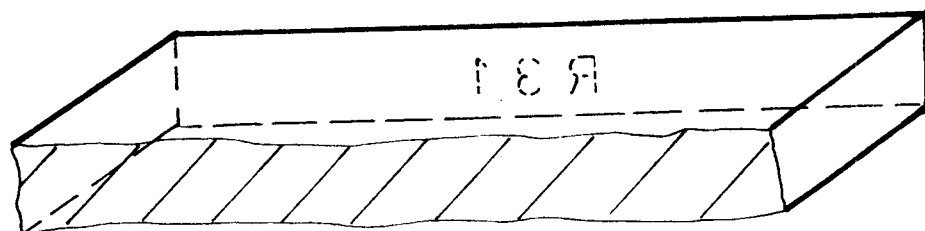
B - R 4.1
R 4.2

B' - R 4.3
R 4.4

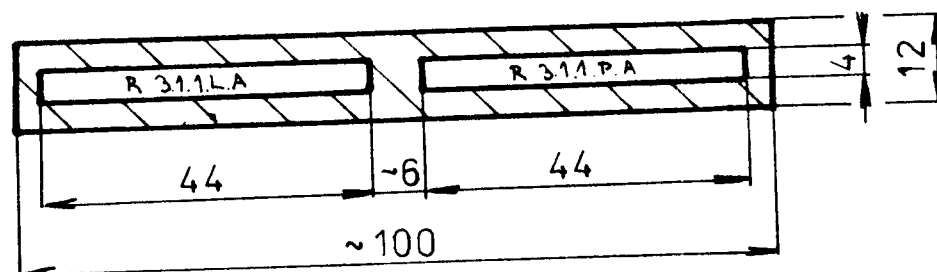
DATUM: 12. 3. 1987
VYPRACOVAL: TOMÁŠKOVÁ
LISTŮ: 7 LIST: 1.

. Příloha č. 9

TĚLESA PRO ÚNAVOVÉ ZKOUŠKY



ODBĚR A OZNAČENÍ TĚLES:



R 31.1.L.A - TECHNOLOGIE I/A,B/

POLOHA ŘEZU Z POHLEDU OD ZAČÁTKU TYČE
POLOHA PODÉL TYČE
ŘEZ
TYČ
MATERIAL TYČE

KONEČNÝ TVAR TĚLESA:

NÁZEV VÝKRESU: TVAROVÝ VZOREK

ČÍSLO VÝKRESU: 4-KOM-OM-475-07

DATUM: 12.3. 1987

VYPRACOVAL: TOMÁŠKOVÁ

LISTŮ: 7 LIST: 2.

Příloha č. 9

SEZNAM TĚLES PRO ÚNAVOVÉ ZKOUŠKY

R 3.1.1.L.A ... 1
 R 3.1.2.L.A ... 3
 R 3.1.3.L.A ... 5
 R 3.1.4.L.A ... 7
 R 3.2.1.L.A ... 9
 R 3.2.2.L.A ... 11
 R 3.2.3.L.A ... 13
 R 3.2.4.L.A ... 15
 R 3.3.1.L.A' ... 17
 R 3.3.2.L.A' ... 19
 R 3.3.3.L.A' ... 21
 R 3.3.4.L.A' ... 23
 R 3.4.1.L.A' ... 25
 R 3.4.2.L.A' ... 27
 R 3.4.3.L.A' ... 29
 R 3.4.4.L.A' ... 31
 R 4.1.1.L.B
 R 4.1.2.L.B
 R 4.1.3.L.B
 R 4.1.4.L.B
 R 4.2.1.L.B
 R 4.2.2.L.B
 R 4.2.3.L.B
 R 4.2.4.L.B
 R 4.3.1.L.B'
 R 4.3.2.L.B'
 R 4.3.3.L.B'
 R 4.3.4.L.B'
 R 4.4.1.L.B'
 R 4.4.2.L.B'
 R 4.4.3.L.B'
 R 4.4.4.L.B'

R 3.1.1.P.A ... 2
 R 3.1.2.P.A ... 4
 R 3.1.3.P.A ... 6
 R 3.1.4.P.A ... 8
 R 3.2.1.P.A ... 10
 R 3.2.2.P.A ... 12
 R 3.2.3.P.A ... 14
 R 3.2.4.P.A ... 16
 R 3.3.1.P.A' ... 18
 R 3.3.2.P.A' ... 20
 R 3.3.3.P.A' ... 22
 R 3.3.4.P.A' ... 24
 R 3.4.1.P.A' ... 26
 R 3.4.2.P.A' ... 28
 R 3.4.3.P.A' ... 30
 R 3.4.4.P.A' ... 32
 R 4.1.1.P.B
 R 4.1.2.P.B
 R 4.1.3.P.B
 R 4.1.4.P.B
 R 4.2.1.P.B
 R 4.2.2.P.B
 R 4.2.3.P.B
 R 4.2.4.P.B
 R 4.3.1.P.B'
 R 4.3.2.P.B'
 R 4.3.3.P.B'
 R 4.3.4.P.B'
 R 4.4.1.P.B'
 R 4.4.2.P.B'
 R 4.4.3.P.B'

NÁHRADNÍ TĚLESA :

R 5.4.1.L
 R 5.4.2.L
 R 5.4.3.L
 R 5.4.4.L

R 5.4.1.P
 R 5.4.2.P
 R 5.4.3.P
 R 5.4.4.P

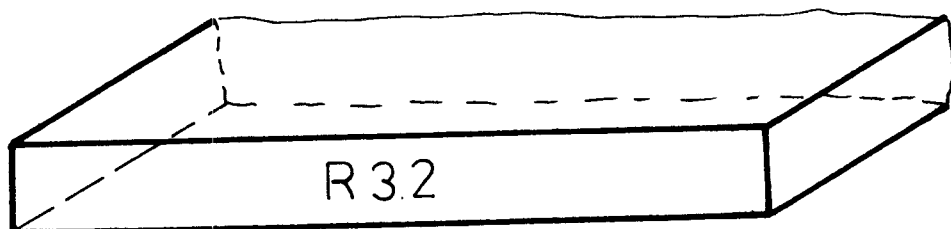
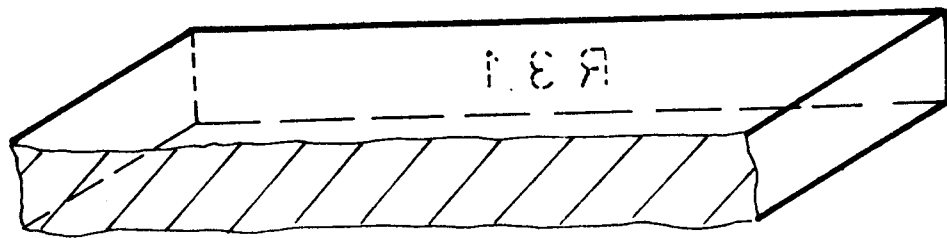
DATUM: 12.3. 1987

VYPRACOVAL: TOMÁŠKOVÁ

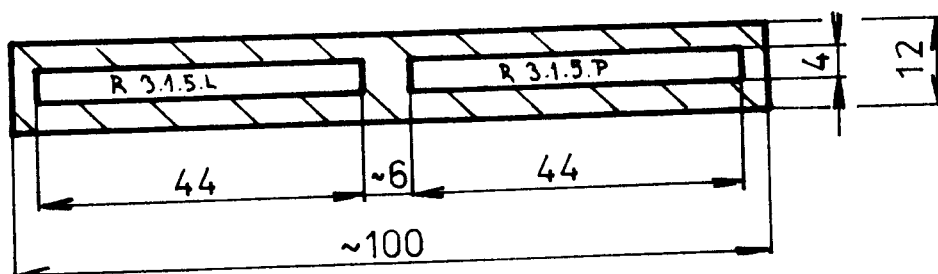
LISTŮ: 7 LIST: 3

Příloha č. 9

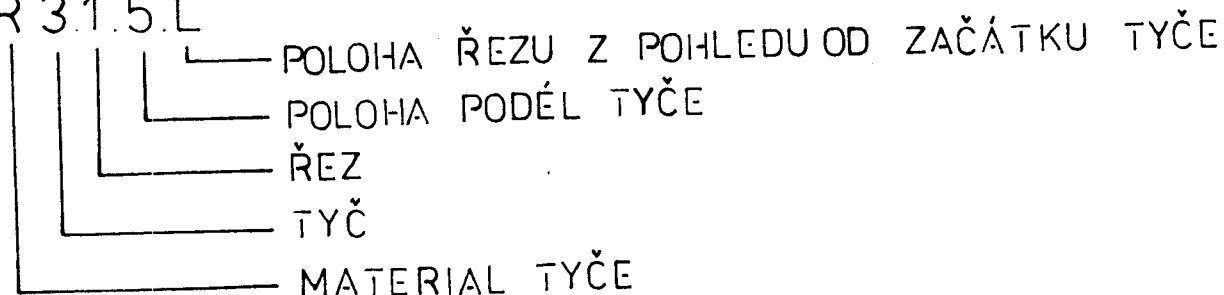
TĚLESA PRO KVALITATIVNÍ HODNOCENÍ OBRABĚNÍ



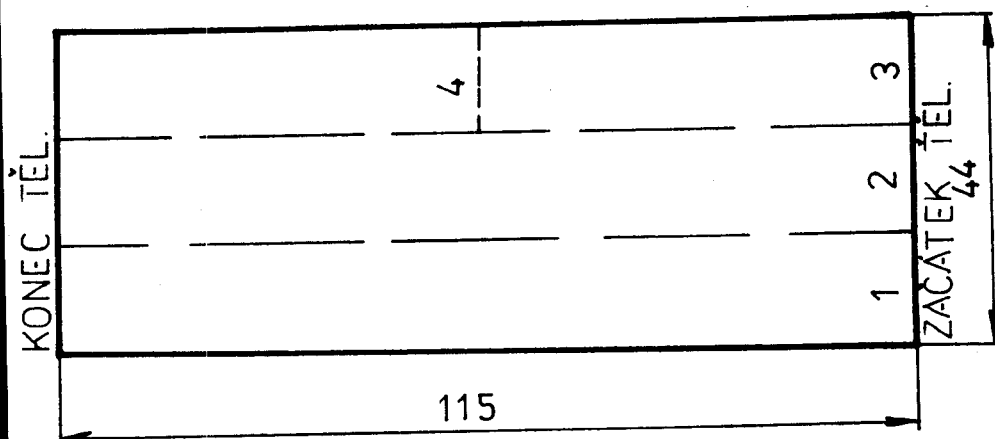
ODBĚR A OZNAČENÍ TĚLES:



R 3.1.5.L



ROZDĚLENÍ TĚLESA PRO ZKOUŠKY:



- 1..... R 3.1.5.LA
- 2..... R 3.1.5.LB
- 3..... R 3.1.5.LC1
- 4..... R 3.1.5.LC2

DATUM: 12.3. 1987
VYPRACOVAL: TOMÁŠKOVÁ
LISTŮ: 7 LIST: 4.
Příloha č. 9

SEZNAM TĚLES PRO KVALITATIVNÍ HODNOCENÍ OBRÁBĚNÍ:

1. TĚLESA PRO ZKOUŠKY V ROCE 1987 - 1988 :

R 3.2.3.L.B	R 3.2.3.P.B
R 3.2.4.L.B	R 3.2.4.P.B
R 3.1.5.L.B	R 3.1.5.P.B
R 3.2.5.L.B	R 3.2.5.P.B
R 3.3.5.L.B	R 3.3.5.P.B
R 3.4.5.L.B	R 3.4.5.P.B
R 3.5.1.L.B	R 3.5.1.P.B
R 3.5.2.L.B	R 3.5.2.P.B
R 4.2.3.L.B	R 4.2.3.P.B
R 4.2.4.L.B	R 4.2.4.P.B
R 4.1.5.L.B	R 4.1.5.P.B
R 4.2.5.L.B	R 4.2.5.P.B
R 4.3.5.L.B	R 4.3.5.P.B
R 4.4.5.L.B	R 4.4.5.P.B
R 4.5.1.L.B	R 4.5.1.P.B
R 4.5.2.L.B	R 4.5.2.P.B
R 6.2.1.L.B	R 6.2.1.P.B
R 6.2.2.L.B	R 6.2.2.P.B

2. TĚLESA PRO HODNOCENÍ MORFOLOGIE POVRCHU :

R 3.2.3.L.C2	R 3.2.3.P.C2
R 3.2.4.L.C2	R 3.2.4.P.C2
R 3.1.5.L.C2	R 3.1.5.P.C2
R 3.2.5.L.C2	R 3.2.5.P.C2
R 3.3.5.L.C2	R 3.3.5.P.C2
R 3.4.5.L.C2	R 3.4.5.P.C2
R 3.5.1.L.C2	R 3.5.1.P.C2
R 3.5.2.L.C2	R 3.5.2.P.C2
R 4.2.3.L.C2	R 4.2.3.P.C2
R 4.2.4.L.C2	R 4.2.4.P.C2
R 4.1.5.L.C2	R 4.1.5.P.C2
R 4.2.5.L.C2	R 4.2.5.P.C2
R 4.3.5.L.C2	R 4.3.5.P.C2
R 4.4.5.L.C2	R 4.4.5.P.C2
R 4.5.1.L.C2	R 4.5.1.P.C2
R 4.5.2.L.C2	R 4.5.2.P.C2
R 6.2.1.L.C2	R 6.2.1.P.C2
R 6.2.2.L.C2	R 6.2.2.P.C2

DATUM: 12.3. 1987

VYPRACOVAL: TOMÁŠKOV

LISTŮ: 7 LIST: 5.

Příloha č. 9

SEZNAM TĚLES PRO KVALITATIVNÍ HODNOCENÍ OBRÁBĚNÍ:

3. TĚLESA PRO HODNOCENÍ POVRCHOVÝCH PRUTÍ :

R 3.2.3.L.A
R 3.2.4.L.A
R 3.1.5.L.A
R 3.2.5.L.A
R 3.3.5.L.A
R 3.4.5.L.A
R 3.5.1.L.A
R 3.5.2.L.A
R 4.2.3.L.A
R 4.2.4.L.A
R 4.1.5.L.A
R 4.2.5.L.A
R 4.3.5.L.A
R 4.4.5.L.A
R 4.5.1.L.A
R 4.5.2.L.A
R 6.2.1.L.A
R 6.2.2.L.A

R 3.2.3.P.A
R 3.2.4.P.A
R 3.1.5.P.A
R 3.2.5.P.A
R 3.3.5.P.A
R 3.4.5.P.A
R 3.5.1.P.A
R 3.5.2.P.A
R 4.2.3.P.A
R 4.2.4.P.A
R 4.1.5.P.A
R 4.2.5.P.A
R 4.3.5.P.A
R 4.4.5.P.A
R 4.5.1.P.A
R 4.5.2.P.A
R 6.2.1.P.A
R 6.2.2.P.A

4. TĚLESA PRO MĚŘENÍ MIKROTVRSTOSTI :

R 3.2.3.L.C1
R 3.2.4.L.C1
R 3.1.5.L.C1
R 3.2.5.L.C1
R 3.3.5.L.C1
R 3.4.5.L.C1
R 3.5.1.L.C1
R 3.5.2.L.C1
R 4.2.3.L.C1
R 4.2.4.L.C1
R 4.1.5.L.C1
R 4.2.5.L.C1
R 4.3.5.L.C1
R 4.4.5.L.C1
R 4.5.1.L.C1
R 4.5.2.L.C1
R 6.2.1.L.C1
R 6.2.2.L.C1

R 3.2.3.P.C1
R 3.2.4.P.C1
R 3.1.5.P.C1
R 3.2.5.P.C1
R 3.3.5.P.C1
R 3.4.5.P.C1
R 3.5.1.P.C1
R 3.5.2.P.C1
R 4.2.3.P.C1
R 4.2.4.P.C1
R 4.1.5.P.C1
R 4.2.5.P.C1
R 4.3.5.P.C1
R 4.4.5.P.C1
R 4.5.1.P.C1
R 4.5.2.P.C1
R 6.2.1.P.C1
R 6.2.2.P.C1

DATUM: 12.3. 1987

VYPRACOVAL: TOMÁŠKOV

LISTŮ: 7 LIST: 6.

SEZNAM TĚLES PRO KVALITATIVNÍ HODNOCENÍ OBRÁBĚNÍ:

5. JEDNODUŠŠÍ OZNAČENÍ TĚLES :

R 3.2.3.L . . . A1
R 3.2.4.L . . . A3
R 3.1.5.L . . . A5
R 3.4.5.L . . . A7
R 3.5.1.L . . . A9
R 3.5.2.L . . . A11

R 4.2.3.L . . . B1
R 4.2.4.L . . . B3
R 4.1.5.L . . . B5
R 4.4.5.L . . . B7
R 4.5.1.L . . . B9
R 4.5.2.L . . . B11

R 3.2.3.P . . . A2
R 3.2.4.P . . . A4
R 3.1.5.P . . . A6
R 3.4.5.P . . . A8
R 3.5.1.P . . . A10
R 3.5.2.P . . . A12

R 4.2.3.P . . . B2
R 4.2.4.P . . . B4
R 4.1.5.P . . . B6
R 4.4.5.P . . . B8
R 4.5.1.P . . . B10
R 4.5.2.P . . . B12

DATUM: 12.3. 1987
VYPRACOVAL: TOMÁŠKOVÁ
LISTŮ: 7 LIST: 7.

Vnorky krátké /pro kvalitativní hodnocení obrábění/

A-sousledně frézováno					B-nesousledně frézováno				
Š.	h	v	s	s _z	Š.	h	v	s	s _z
	/mm/	-1 /m.min/	-1 /mm.min/	/mm/		/mm/	-1 /m.min/	-1 /mm.min/	/mm/
A1	0,5	462	575	0,06	B1	0,5	462	575	0,06
A2			750	0,13	B2			750	0,13
A3			1500	0,25	B3			1500	0,25
A4		1586	575	0,02	B4		1586	575	0,02
A5			750	0,04	B5			750	0,04
A6			1500	0,06	B6			1500	0,06
A7	4,0	462	575	0,06	B7	4,0	462	575	0,06
A8			750	0,13	B8			750	0,13
A9			1500	0,25	B9			1500	0,25
A10		1586	575	0,02	B10		1586	575	0,02
A11			750	0,04	B11			750	0,04
A12			1500	0,06	B12			1500	0,06

Vnorky tvarové /pro šňavové šnečky/

souběžně řezované				
Š.	h	v	s	s _z
	/mm/	-1 /m.min/	-1 /mm.min/	/mm/
1-16	0,5	462	575	0,06
17-32	4,0	1586	1500	0,06

Tabulka naměřených hodnot příčné drsnosti povrchu /Ra, Rm/

	Ra				Rm			
	číslo měření				číslo měření			
	1	2	3	4	1	2	3	4
A 1	1,20	1,26	1,20	1,20	6,6	7,5	5,2	7,5
A 2	0,95	0,9	0,95	0,95	5,0	4,9	5,4	5,6
A 3	1,35	1,48	1,48	1,42	7,4	8,0	8,0	7,6
A 4	0,92	1,20	0,92	0,94	5,6	6,0	4,6	5,3
A 5	0,96	0,96	1,06	1,18	4,9	5,1	5,0	5,7
A 6	0,90	1,04	0,95	0,94	5,3	5,8	5,6	5,1
A 7	1,10	1,10	1,05	1,02	6,0	5,5	6,1	6,7
A 8	1,15	1,12	1,10	1,12	7,9	7,4	7,6	7,7
A 9	1,42	1,43	1,35	1,38	8,0	8,0	7,1	7,6
A10	1,30	1,20	1,60	1,48	7,0	6,9	10,2	9,3
A11	1,10	1,15	0,85	0,94	5,4	5,5	4,5	4,7
A12	1,48	1,40	1,30	1,35	9,8	7,5	6,7	7,0
B 1	0,96	0,95	0,98	1,05	5,1	5,0	5,0	4,9
B 2	1,40	1,42	1,38	1,45	8,2	8,2	8,3	8,6
B 3	1,40	1,50	1,49	1,50	7,9	9,0	9,0	8,3
B 4	1,18	1,00	1,10	1,15	5,6	6,0	5,9	6,2
B 5	1,22	1,25	1,48	1,7	7,6	7,8	9,0	8,7
B 6	1,25	1,05	1,00	0,96	5,8	5,2	5,3	5,1
B 7	1,30	1,35	1,36	1,50	6,9	7,1	7,1	7,7
B 8	1,18	1,18	1,28	1,26	8,1	7,2	8,2	8,0
B 9	1,08	1,10	1,12	1,18	5,5	5,9	6,6	6,6
B10	1,25	1,22	1,42	1,10	7,6	7,3	10,3	6,5
B11	1,22	1,22	1,15	1,22	6,9	6,9	6,3	7,1
B12	0,78	1,05	1,20	1,15	4,5	4,6	5,7	5,5

Tabulka naměřených hodnot podélné drsnosti povrchu /vlnitosti/
Ra, Rm

	Ra				Rm			
	číslo měření				číslo měření			
	1	2	3	4	1	2	3	4
A 1	1,50	0,95	1,10	1,05	5,7	4,4	5,2	5,1
A 2	0,75	0,92	0,65	0,84	3,4	4,9	3,5	4,0
A 3	0,72	1,18	0,92	1,00	3,1	4,6	4,4	4,5
A 4	1,18	0,95	0,92	1,16	6,9	5,6	5,3	6,0
A 5	1,16	0,98	0,80	1,10	5,0	1,6	3,4	5,6
A 6	1,12	0,78	0,60	0,90	4,8	3,8	3,2	6,0
A 7	0,50	0,50	0,60	0,48	2,0	2,1	2,9	2,0
A 8	0,65	0,75	0,98	0,70	2,9	3,6	3,8	3,2
A 9	0,92	0,92	1,25	1,14	3,8	4,5	6,8	6,0
A10	1,12	1,00	1,10	1,02	4,7	4,6	5,7	5,4
A11	0,82	0,92	1,02	0,88	3,8	4,1	4,3	5,0
A12	0,90	0,90	1,05	1,12	4,4	5,7	6,0	5,9
B 1	0,63	1,10	0,50	0,80	2,6	4,6	2,7	3,8
B 2	0,98	0,98	1,15	0,84	3,4	4,4	5,8	4,5
B 3	1,40	1,20	1,02	1,10	6,5	5,8	5,2	4,8
B 4	0,88	0,85	0,88	0,82	4,8	3,6	3,9	3,3
B 5	0,70	0,60	0,20	0,30	3,1	2,9	1,0	1,0
B 6	0,62	0,75	0,58	0,85	3,1	3,5	2,4	3,6
B 7	0,98	0,95	1,08	0,84	4,6	5,8	4,8	3,5
B 8	1,10	0,90	0,40	0,65	5,7	3,7	1,6	2,6
B 9	1,42	1,50	1,70	1,30	6,2	7,2	10,2	5,6
B10	0,46	0,45	0,46	0,60	2,1	2,2	1,8	2,8
B11	0,70	0,45	0,60	0,63	3,1	1,7	3,5	2,7
B12	0,72	0,75	0,93	0,58	3,4	2,8	4,0	3,0



vzorek A 1



vzorek A 2



vzorek A 3

Měřítka na mikroskopu NEOPHOT

