



TEORETYCZNE PODSTAWY I PRAKTYCZNE WSKAZÓWKI Z ZAKRESU ODLEWNICTWA

W technice dentystycznej odlewnictwo ma kluczowe znaczenie. Jest to technika wytwarzania przedmiotów metalowych o wymaganym kształcie i wymiarach poprzez wypełnienie ciekłym stopem odpowiednio przygotowanych form odlewniczych.

Odlewnictwo to nauka, przemysł, rzemiosło, a także sztuka. Jest ono nauką, gdyż zajmuje się badaniem procesów kształtowania i otrzymywania odlewów, przemysłem wówczas, gdy masowo produkuje części maszyn i przedmioty (wyroby) powszechnego użytku, rzemiosłem, gdyż wymaga od pracowników zatrudnionych przy procesach produkcji odlewów odpowiednich kwalifikacji,

natomiast sztuką dlatego, że poprzez odpowiednie kształtowanie surowca można otrzymywać przedmioty nie tylko użyteczne, ale również piękne, o dużej wartości artystycznej.

Wiele elementów i przedmiotów użytkowych można wykonać innymi technikami, jak kucie, prasowanie, spawanie czy obróbka mechaniczna. Jednak odlewnictwo, które w stosunku do tych technik wytwarzania jest niewątpliwie techniką najbardziej skomplikowaną i trudną, z powodzeniem z nimi konkuruje, będąc niejednokrotnie technologią niezastąpioną zarówno z punktu widzenia technicznego, jak i ekonomicznego. W technice dentystycznej jest po prostu

jedyne, zwłaszcza biorąc pod uwagę fakt, że korony tłoczone odchodzą powoli w zapomnienie.

Zróżnicowanie obecnie produkowanych odlewów pod względem masy jest bardzo duże i wynosi od 3 g do 250 t, a grubość ścianek od 0,2 do 500 mm.

Jak zaznaczono istotą odlewnictwa jest uzyskanie ciekłego stopu, podgrzanego odpowiednio powyżej temperatury topnienia, o wymaganym składzie chemicznym i jakości, oraz wypełnienie nim formy odlewniczej. W wyniku stygnięcia metal krzepnie i w stanie stałym zachowuje kształty nadane mu przez wnękę formy. W procesie krystalizacji i ochładzania stopu ustalają się mechaniczne i użytkowe właściwości odlewu, określone makro- i mikrostrukturą stopu, jego gęstością (szczelnością), odpornością i rozłożeniem wtrąceń niemetalicznych, a także wielkością naprężeń wewnętrznych odlewu, wywołanych m.in. nierównomiernym stygnięciem poszczególnych części odlewu.

Kształt odlewów może być w zasadzie dowolny. Jest on uzależniony od możliwości wykonania oprzyrządowania technologicznego i formy, jak również od minimalnej grubości ścianek, i dostosowany do leju stopu. Jak już wspomniano odlewy otrzymuje się w formach odlewniczych. Wymiary wewnętrznej powierzchni formy znacznie przewyższają wymiary odlewu, ponieważ metal wlewany do formy podczas krzepnięcia i stygnięcia kurczy się, więc odlew zmniejsza swoje wymiary. W technice dentystycznej formy wykonuje się oddzielnie dla każdego przypadku.



Rys. 1. Prawidłowo zatopione kanały (etap wosku)

ZASTOSOWANIE STOPÓW ODLEWNICZYCH I OGÓLNE WYMAGANIA

Metale i ich stopy odlewnicze muszą odpowiadać następującym wymaganiom:

- skład chemiczny stopu winien zapewnić odlewom zakładane właściwości fizyczne, mechaniczne i fizykochemiczne
- właściwości i struktura stopu winny być zachowane w okresie eksploatacji odlewu.

Ponadto stopy te powinny:

- charakteryzować się dobrymi właściwościami odlewniczymi, tzn. dobrą lejnością, niewielkim skurczem, wysoką szczelnością, niewielką skłonnością do powstawania naprężeń, pochłaniania gazów i in.
- odznaczać się łatwą obrabialnością i spawalnością.

Stopy odlewnicze, których ilość wynosi kilka tysięcy, umożliwiają wytwarzanie elementów o wysokiej trwałości w zróżnicowanych warunkach eksploatacyjnych, np. w jamie ustnej.

Szczególne miejsce w produkcji odlewniczej zajmują stopy o specjalnym przeznaczeniu, np. charakteryzujące się wysoką biokompatybilnością, odpowiednią rozszerzalnością cieplną, odpornością na korozję itp. Tego rodzaju stopy wymagają dotrzymania założonego składu chemicznego i całego procesu technologicznego, związanego z produkcją odlewów. Wytwarza się je z czystych materiałów wyjściowych, z uwzględnieniem bardzo dokładnych metod topienia, przy zastosowaniu kontrolowanej atmosfery (np. w próżni czy w atmosferze ochronnej, np. argon) i zachowaniu wąskiego przedziału temperatury. Stopy te często nazywane są stopami specjalnymi. Każdy stop składa się zazwyczaj z kilku pierwiastków metali (minimum

z dwóch) oraz innych dodatków mających mniejszy lub większy wpływ na właściwości fizykochemiczne stopu, i tak np.:

Domieszkami stałymi (nie do uniknięcia) nazywamy takie, których zawartość w metalu lub stopie związana jest ze specyfiką procesu metalurgicznego oraz występowaniem tych domieszek w surowcach i materiałach wyjściowych do pierwszego wytopu (w rudzie, topnikach itp.). Jeżeli domieszki pogarszają właściwości stopu, nazywa się je *zanieczyszczeniami*.

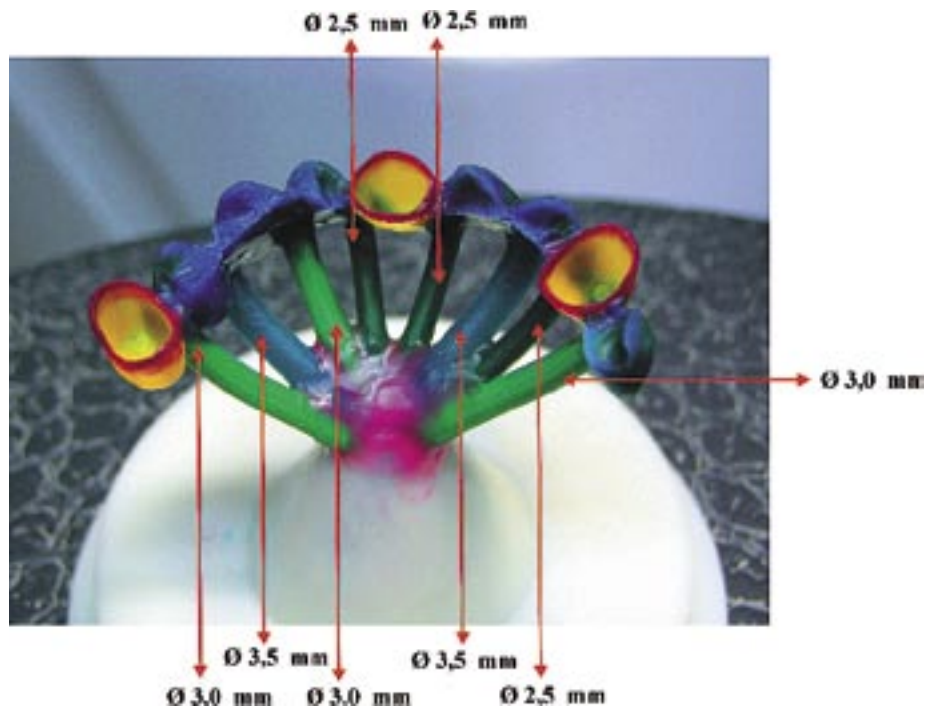
Domieszkami przypadkowymi są takie, które znalazły się w stopie przypadkowo i nie są uważane za charakterystyczne.

Domieszkami śladowymi lub zanieczyszczeniami są domieszki lub zanieczyszczenia, które mogą być oznaczone analizą jakościową. Niekiedy mogą one wywierać wpływ na strukturę i właści-

wości stopu, przewyższając wpływ podstawowego składnika stopowego.

Modyfikatory to metale i stopy, które wprowadzone w bardzo małych ilościach do ciekłego jeszcze stopu prowadzą do zmiany procesu krystalizacji, a tym samym struktury i właściwości stopu w stanie stałym, jak również w stanie ciekłym.

Stopy odlewnicze dzielą się na dwie zasadnicze grupy, tj. stopy żelaza z węglem oraz stopy metali nieżelaznych, które nas techników będą interesować najbardziej. Zaliczamy do nich m.in. stopy na protezy szkieletowe: Co-Cr-Mo, stopy pod ceramikę Ni-Cr-Mo, stopy bezniklowe pod ceramikę oraz inne stopy niklowe. Wszystkie wymienione zawierają również inne pierwiastki, ale najczęściej poniżej 1%. Stopy te wg klasyfikacji tworzyw odlewniczych zaliczają się do stopów ciężkich



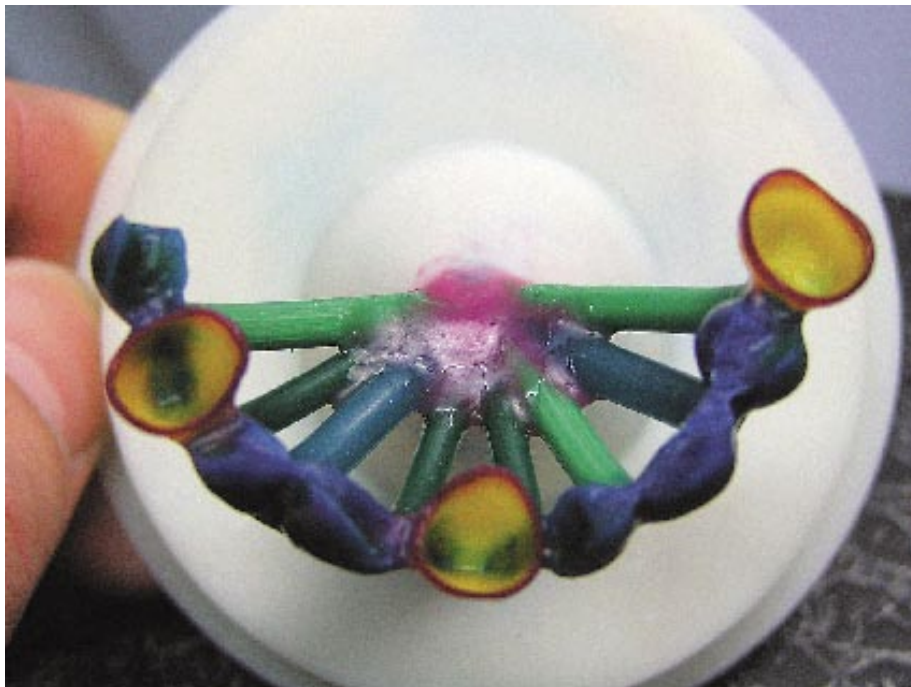
Rys. 2. Prawidłowo zatopione kanały (etap wosku)

CZESKA ELEKTROMET
CZESKA ELEKTROMET

ZĘBY AKRYLOWE

chema super lux

70-1 00 Pławeczka, ul. Piastowska 8
Dział handlowy tel. (0-17) 268 14 32; fax (0-17) 268 04 47



Rys. 3. Ułożenie konstrukcji na kopku

nieszlachetnych. Zawartość poszczególnych metali w stopach jest zależna od właściwości stopowych, np.:

– stopy szkieletowe: Co-63% ± 2%, Cr-30% ± 2%, Mo-5% ± 1%

– stopy pod ceramikę: Ni-61% ± 3%, Cr-26% ± 2%, Mo-11% ± 1%

– stopy bezniklowe pod ceramikę: Co-64% ± 2%, Cr-21% ± 2%, Mo-6% ± 1%, W-6%.

Występują w nich również inne metale w ilościach poniżej 1%, np. Si, Fe, Mn.

– inne stopy zawierające powyżej 65% Ni, stosowane pod kompozyty

– stopy złota: szlachetne o zawartości Au od 30 do prawie 90% + modyfikatory

– stopy palladowe, srebro palladowe i inne.

STOPY

– WŁAŚCIWOŚCI ODLEWNICZE

Możliwość wykonywania odlewów cienkościennych i dobrej jakości, przy złożonej konstrukcji i większych lub całkiem niewielkich wymiarach, bez jam skurczowych, pęknięć, rozrzedzeń i innych wad odlewniczych, jest ściśle związana z odlewniczymi właściwościami stopu. Należą one do tych właściwości technologicznych metali i stopów, które bezpośrednio i pośrednio wpływają na otrzymanie odlewów określonej konstrukcji, o wymaganych parametrach eksploatacyjnych, odpowiedniej czysto-

ści powierzchni i dokładności wymiarowej. Występują one w okresie zalewania form ciekłym metalem i w procesie jego krystalizacji. Ponadto ważne jest, do jakiego topienia stop jest przeznaczony (indukcyjnego czy gazowego).

Podobnie w czasie opracowywania procesu technologicznego wytwarzania odlewów przy innych stałych, jednakowych warunkach należy dawać pierwszeństwo stopom o lepszych właściwościach odlewniczych. Właściwości odlewnicze stopów przejawiają się w stanie ciekłym, w okresie krzepnięcia stopu i w ciekło-stałym stanie, jak również po jego zakrzepnięciu, w stanie stałym.

Do podstawowych właściwości odlewniczych należą:

– lejność, czyli zdolność ciekłych metali i stopów do wypełniania wnętrza formy odlewniczej i dokładnego odwzorowania jej kształtów

– skłonność do pochłaniania gazów i tworzenia porowatości gazowych w odlewie

– skłonność do tworzenia wtrąceń niemetalicznych

– skurcz objętościowy w ciekłym i ciekło-stałym stanie, objętościowy i liniowy w stanie stałym

– skłonność do tworzenia jam skurczowych rzadzisz, a także podczas przemian fazowych

– skłonność do likwacji

– skłonność do tworzenia, w wyniku krystalizacji pierwotnej i wtórnej, makro- i mikrostruktury

– skłonność do tworzenia naprężeń odlewniczych i pęknięć.

W dalszej części artykułu zostaną omówione właściwości odlewnicze związane z ciekłym stanem stopu. Pozostałe natomiast poruszymy przy omawianiu procesu krzepnięcia stopu i innych zjawisk związanych z kształtowaniem odlewu.

WYGRZEWANIE PIERŚCIENI

O ile przy odlewaniu pierścieni należy się spieszyć, bo im szybciej ciekły metal dostanie się do środka formy, tym lepiej, o tyle z wygrzewaniem pierścienia nie powinniśmy się spieszyć.

Producenci mas osłonowych podają, w jakich temperaturach powinny być robione przestoje, ile stopni na minutę powinien „wychodzić” piec, a także ile czasu pierścienie powinny stać w ostatniej temp. i jaka powinna być ta temperatura. Jeśli wszystko dokładnie policzymy, to okaże się, że piec powinien „wychodzić” ok. 4 godz., a w ostatniej temperaturze (np. 1050°C) pierścienie powinny stać:

– „I” – 20-30 min

– „III” – 30-40 min

– „VI” – 40-60 min

– szkielet – 40-60 min

– „IX” – 60-90 min.

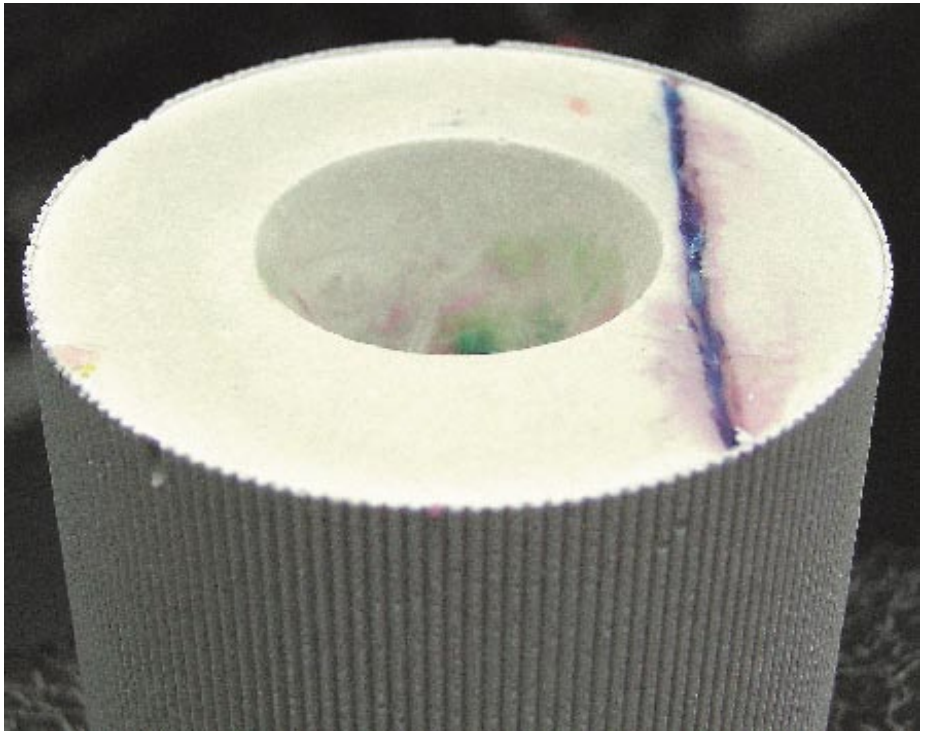
Tak być powinno, jednakże w naszej rzeczywistości nie możemy sobie pozwolić na wygrzewanie pierścieni przez 4 godz. Natomiast czasów wygrzewania w temp. końcowej powinniśmy przestrzegać bezwzględnie. Forma odlewnicza musi być wygrzana jak należy, jest to warunek poprawnego odlania się naszej pracy. Zatem nasuwa się pytanie jak wygrzewać? Uważam, że jeśli piec „wychodzi” w 2 godz., a utrzymanie w temp. końcowej jest zachowane jw., to nic odlewowi nie grozi. Oczywiście jest jeszcze parę warunków, które trzeba spełnić, aby można było powiedzieć, że mamy dobry odlew. Zaliczają się do nich (w przypadku szkieletów):

– mieszanie masy osłonowej z płynem ekspansyjnym dokładnie wg zaleceń producenta

– do rozcieńczenia płynu ekspansyjnego używamy wyłącznie wody destylowanej i mieszamy ją z płynem wg proporcji zalecanej przez producenta

- stężenie płynu ekspansyjnego na model musi być identyczne jak na pierścieni min. 50/50%
- przy wtapianiu kanałów wlewowych kierujemy się zasadą: **lej zawsze z grubego w cienie**
- ilość kanałów głównych – 2 o grubości 3,5 mm, kanałów dosycających tyle ile trzeba, bywa, że 8-10
- nie kierujemy się zasadą: „żeby tylko się odlało”, ale: „żeby tylko stop się nasycił”, jest to warunek doskonałego odlewu
- pamiętamy o ramce kompensującej gazy i zanieczyszczenia.

Jeśli będziemy przestrzegać powyższych reguł, to efektem naszej pracy będzie szkielec o zdrowej strukturze krystalicznej, wyjątkowo sprężystych klamrach i pięknym połysku, a co najważniejsze o pasowności rzędu 50-100 mikronów (grubość ludzkiego włosa).



Rys. 4. Oznaczenie pierścienia przed włożeniem do pieca

PROCES TOPNIENIA

STOPÓW ODLEWNICZYCH – TEORETYCZNE PODSTAWY

Metale różnią się od pozostałych ciał stałych obecnością w ich strukturze wolnych elektronów. Elektrony te, niezwiązane z atomami, przemieszczają się w całej masie metalu. Określają one takie właściwości metalu, jak biokompatybilność, przewodność elektryczną, cieplną i inne. Cechy charakterystyczne metalu w stanie stałym w zasadzie są zachowane po jego roztopieniu, a więc gdy znajduje się on w stanie ciekłym. Szczególny charakter tzw. wiązań metalicznych prowadzi do powstania różnych, mieszanych kryształów stanowiących osnowę stopów odlewniczych.

Proces topienia metali jest procesem złożonym, w którym liczne zjawiska fizykochemiczne nakładają się wzajemnie, jednak można go łatwiej scharakteryzować od krystalizacji stopu. Tłumaczy się to tym, że topienie nie wymaga powstawania zarodków, a proces przejścia ze stanu stałego w stan ciekły rozpoczyna się bezpośrednio w momencie osiągnięcia przez stop temperatury początku jego topnienia. Należy dodać, że przegrzanie stopu powyżej jego temperatury topnienia, co ma miejsce w praktyce, jest niezbędne (nie zagotowanie stopu), aby topnienie kryształu zaczynało się w jego wnętrzu. W topiącej się fazie stałej praktycznie nie

zachodzi ponowny podział substancji chemicznych, natomiast dochodzi do ujednorodnienia składu chemicznego. Nie wolno dopuścić do niedogrzenia stopu, gdyż wówczas mamy do czynienia z tzw. „zimnym odlewem”, którego właściwości fizykochemiczne są dużo gorsze niż stopu lekko przegrzanego.

Przy nagrzewaniu metali i stopów (od temperatury otoczenia do temperatury topienia) zachodzi ciągłe pochłanianie energii, która zostaje zużytkowana na wzrost intensywności odłączania się od położenia równowagowego atomów w krystalicznej siatce metali, ich wahań i ruchu. Do pewnego momentu każdy atom znajduje się na swoim miejscu i jest otoczony odpowiednią liczbą najbliższych atomów, rozłożonych w odległości mniej więcej odpowiadającej strukturze doskonałej. Następuje jednak moment, kiedy odległości te zostają naruszone, a więc zostaje naruszona trwałość termodynamiczna siatek krystalicznych. W końcu stałe ciała krystaliczne tracą swoją postać, zachodzi skokowa zmiana (wzrost) energii wewnętrznej, objętości, entropii i innych właściwości fizycznych metali i stopów.

Stopy, w odróżnieniu od metali, topią się w pewnym zakresie temperatur, zależnym od ich składu i ciśnienia.

Wraz ze wzrostem temperatury ruchliwość (częstotliwość wahań) atomów uwielokrotnia się i ciało stałe (stop) po przejściu przez ten stan nietrwały zamienia się w ciecz. Ażeby proces ten mógł być doprowadzony do końca, do roboczej części urządzenia do topienia należy doprowadzić tyle ciepła, aby było możliwe odrywanie się dalszych atomów z ich stanu równowagowego oraz aby można było zrekompensować straty ciepła występujące w procesach topienia metali i stopów.

Z powyższego wynika, że topienie można rozpatrywać jako przejście metalu lub stopu ze stanu stałego, w którym atomy rozłożone są w siatce krystalicznej w formie uporządkowanej, w stan quasi-krystaliczny. Należy jednak nadmienić, że nie zawsze przejściu ze stanu stałego w stan ciekły towarzyszy zanik siatki krystalicznej. W niektórych stopach można bowiem stwierdzić obecność submikroskopowych cząsteczek o uporządkowanym rozłożeniu atomów, stanowiących szczątkowe kryształy stopu. Występowanie tego typu cząsteczek ma miejsce w ciekłych stopach o temperaturze zbliżonej do temperatury topnienia. Całkowity ich zanik uzyskuje się dopiero po dalszym podwyższeniu temperatury i długotrwałym wygrzewaniu ciekłego stopu.

Charakterystyczną cechą szeregu procesów topienia w produkcji odlewniczej jest konieczność osiągnięcia temperatury przemiany stałego wsadu stopu w stan ciekły, w którym w maksymalnym stopniu zostałyby zniszczone resztki struktury stałego stopu, jakim są kryształy szczątkowe. Zapewnia to uzyskanie stopów o wymaganych właściwościach mechanicznych.

Przy przejściu metalu lub stopu ze stanu stałego w stan ciekły jego objętość zwiększa się o 3-4%, co należy uwzględnić przy określaniu krystalizacji odlewów w formach odlewniczych.

Należy podkreślić, że dla jakości przyszłego odlewu nie jest obojętne, z jaką intensywnością i w jakiej atmosferze (ośrodku) przeprowadza się topienie, jaki jest stopień (temperatura) przegrzania ciekłego stopu powyżej temperatury topienia. Czynniki te mogą wpływać w sposób decydujący na proces krystalizacji odlewu i jego właściwości.

Praktycznie wszystkie stopy odlewnicze w stanie ciekłym zawierają określoną ilość drobnych, nierozpuszczalnych domieszek, które mogą mieć wpływ na warunki krystalizacji. Dlatego właśnie stopy odlewnicze zarówno w stanie ciekłym, jak i stałym należy odnosić do układów koloidalnych. Charakterystyczną cechą tego typu układów jest ich wielodispersyjność. Charakter powstającego układu i jego zdolność do takiego lub innego oddziaływania związana jest pośrednio z warunkami topienia i przegrzania metalu lub stopu. Liczne stopy odlewnicze, w szczególności metali nieżelaznych, zawierają łatwo parujące składniki. Z tych też względów wytapianie szeregu stopów powinno prowadzić się w próżni lub w argonie.

LEJNOŚĆ STOPÓW I METALI

Lejność metali i stopów przejawia się ich zdolnością do płynięcia (w stanie ciekłym) poprzez kanały układu wlewowego formy, wypełniania wnętrza formy i dokładnego odwzorowywania kształtów zaformowanego odlewu.

Lejność zależy od wielu fizycznych i fizykochemicznych właściwości stopu i nie można jej scharakteryzować jakkolwiek jedną stałą fizyczną lub fizykochemiczną. Dobra lejność jest bardzo istotna dla przeprowadzenia szeregu niezbędnych zabiegów zapewniających uzyskanie szczelnych,

wysokojakościowych odlewów, polepsza warunki wyprowadzania jam skurczowych poza powierzchnię odlewu, zmniejsza niebezpieczeństwo tworzenia się wszelkiego rodzaju porowatości, pęknięć itp.

Przy porównywaniu lejności różnych metali i stopów rozróżniamy lejność rzeczywistą, zerową i praktyczną. Pierwszą z wymienionych określa się przy jednakowym przegrzaniu stopów powyżej temperatury zerowej lejności. Ma ona miejsce wtedy, kiedy stop znajdujący się pod ciśnieniem statycznym przestaje płynąć. Występuje ona pomiędzy temperaturą *likwidus* i *solidus* w momencie, kiedy lepkość stopu szybko rośnie w wyniku powstawania znacznej ilości fazy stałej. Lejność praktyczna natomiast jest mierzona dla różnych stopów przy jednakowej temperaturze zalewania, niezależnie od stopnia przegrzania powyżej temperatury lejności zerowej i *likwidus*.

W warunkach przemysłowych ustalenie temperatury lejności zerowej jest trudne, dlatego też lejność stopu określa się przy jednakowym przegrzaniu stopu powyżej temperatury *likwidus*. Lejność taką nazywa się umowną lejnością rzeczywistą.

Metale czyste i większość stopów eutektycznych krzepnie z wyraźnie zarysowanym frontem krystalizacji i charakteryzuje się lepszą lejnością niż stopy tworzące roztwory stałe i krzepnące w przedziale temperatur. Stopy potrójne, o składzie eutektycznym charakteryzują się lepszą lejnością niż eutektyczne stopy podwójne (eutektyk to mieszanina ciekła).

Występowanie domieszek w stopach w jednych przypadkach pogarsza, a w innych poprawia lejność, podobnie modyfikowanie. Łatwo topliwe eutektyki poprawiają lejność wszystkich stopów.

Lejność związana jest również ze stopniem przechłodzenia stopu. Lepkość ciekłego metalu w momencie zalewania go do form jest współmierna do lepkości wody w temperaturze pokojowej. Jednak na skutek większej prędkości oddawania ciepła lepkość metalu szybko wzrasta w wyniku, czego maleje jego lejność, czyli zdolność do płynięcia kanałami formy. Utrzymując wysoką temperaturę przegrzania stopu w okresie jego przepływu przez kanały formy, można bez trudu ze stopów o odpowiedniej lepkości otrzymać odlewy o bardzo małych przekrojach ścianek. Doświadczalnie stwierdzono, że lejność zależy

w mniejszym stopniu od lepkości stopu aniżeli od przedziału krystalizacji stopu.

SKŁONNOŚĆ DO POCHŁANIA GAZÓW

Gazy mogą występować w stopach odlewniczych w postaci: rozpuszczonej, stałych związków chemicznych z pierwiastkami składu chemicznego stopu (tlenki, azotki i in.), roztworów, w których atomy gazu mogą umiejscawiać się między atomami metalu podstawowego, względnie mogą wchodzić w siatkę krystaliczną jego cienkich warstw, adsorbowanych na powierzchni metalu lub stopu. W jednych przypadkach oddziałują one niekorzystnie na właściwości stopu, tworząc porowatość gazową, w innych wprowadzane są dla podwyższenia szeregu właściwości, jak np. wytrzymałość, twardość, żaroodporność itp. Rozpuszczalność gazów w stopie wzrasta wraz ze wzrostem temperatury i rozpoczyna się adsorpcją tych gazów, która w miarę wzrostu aktywacji tego procesu prowadzi do ich dysocjacji na powierzchni adsorbenta i tworzenia z nim połączeń chemicznych. Adsorpcja to powierzchniowe wiązanie cząsteczek gazu przez cząsteczki ciała stałego.

Obecność gazów w ciekłym stopie prowadzi przy ich nadmiarze do wystąpienia porowatości gazowej. Zostaje ona zapoczątkowana pojawieniem się zarodków porowatości w ciekłym, krystalizującym stopie. Może to być zarodkowanie homogeniczne, kiedy zarodki porowatości powstają wewnątrz stopu, lub heterogeniczne, kiedy powstają one tam, gdzie naruszono ciągłość budowy ciekłego stopu, np. front krystalizacji, zawiesina wtrąceń niemetalicznych czy ścianki tygla.

Rosnące, a następnie wypływające pęcherzyki gazowe wywołują gotowanie kąpieli i powiększanie powierzchni faz. Wydzielanie gazów z ciekłego stopu w miarę obniżenia jego temperatury i związanego z tym spadku ich rozpuszczalności wzrasta, co przy równoczesnym wzroście naprężenia powierzchniowego utrudnia ich wypływanie na powierzchnię stopu i prowadzi do powstawania porowatości odlewu.

Bardzo skutecznym zabiegiem, pozwalającym na uniknięcie powstawania porowatości gazowych w odlewie, jest odlewanie stopów w osłonie argonowej lub próżni. Przy odlewaniu gazowym jesteśmy

skazani na powyższe zaburzenia struktury powierzchniowej, jednakże zastosowanie ramek wyrównujących ciśnienie gazów (wyłapujących zanieczyszczenia gazowe) wyraźnie poprawi jakość odlewu.

POWSTAWIANIE ODLEWÓW W FORMIE

Krzepnięcie odlewu w formie odlewniczej rozpoczyna się w warstwie powierzchniowej i rozprzestrzenia się w kierunku węzłów cieplnych i nadlewów, zgodnie z kierunkiem gradientu temperatury. Podczas krzepnięcia czystych metali, względnie stopów eutektycznych, w odlewie powstaje przemieszczający się front krystalizacji, oddzielający metal stały od ciekłego. Natomiast krzepnięcie stopów krystalizujących w zakresie temperatur zachodzi w dwufazowej strefie przejściowej, przemieszczającej się stopniowo od powierzchni odlewu do jego środka. Im większa różnica pomiędzy temperaturami *likwidus* a *solidus*, tym grubsza jest przejściowa strefa dwufazowa. Krystalizacja stopu rozpoczyna się utworzeniem zarodka krystalizacji, którego krytyczna wielkość maleje wraz ze wzrostem przechłodzenia stopu. W stopie obecność domieszek, mogących spełniać rolę zarodków, przyspiesza rozpoczęcie procesu krystalizacji. Wzrost zarodków krystalizacji związany jest z wydzielaniem ciepła krystalizacji, co prowadzi do dalszego przechłodzenia stopu. W miarę odprowadzania ciepła temperatura odlewu obniża się i po osiągnięciu stopnia przechłodzenia stopu w cieczy zaczynają rozwijać się kryształy, których zarodkami mogą być domieszki. Spontaniczne powstawanie zarodków krystalizacji bezpośrednio w cieczy powyżej temperatury stopnia przegrzania praktycznie nie jest możliwe. Ze wzrostem kryształów wzrasta ilość wydzielanego ciepła krystalizacji, co przejawia się zmniejszeniem swobodnej energii układu. Wzrost stopnia przechłodzenia wywołuje wzrost prędkości krystalizacji, a kiedy temperatura obniży się, następuje spontaniczne powstanie zarodków krystalizacji. Przez cały okres krzepnięcia układ znajduje się w równowadze dynamicznej, wyrównującej ciepło pochłaniane przez formę i ciepło wydzielane przez odlew, stąd też przechłodzenie układu zależy

tak od właściwości samego stopu i ilości występujących w nim domieszek, jak i od właściwości formy. Odlew może oddać tyle ciepła, ile potrafi przyjąć forma, tak więc prędkość odprowadzenia ciepła przez formę odlewniczą praktycznie w pełni określa prędkość wzrostu ilości fazy stałej w krzepnącym odlewie. Stopień przegrzania stopu powyżej temperatury topnienia decyduje w sposób istotny o przebiegu procesu jego krystalizacji i makrostruktury. Największą liczbę zarodków i bardzo drobną strukturę uzyskują stopy przegrzane nieznacznie powyżej temperatury topnienia, co odpowiada największej liczbie aktywnych domieszek w stopie i możliwości jego krystalizacji już przy niewielkim jego przechłodzeniu. Wzrost stopnia przegrzania stopu prowadzi do dezaktywacji domieszek jako zarodków krystalizacji, a tym samym do zmniejszenia się ilości zarodków i wzrostu wielkości ziaren osnowy stopu, przy czym najgrubsza struktura stopu powstaje po znacznym przegrzaniu stopu do temperatury powodującej jego zagotowanie. Mówimy wówczas, że stop ma budowę gruboziarnistą, co skutkuje dużym skurczem odlewu i pozbawieniem właściwości przypisanych stopowi przez producenta, np. twardości, sprężystości czy ciągliwości.

Proces krystalizacji zależy od warunków wymiany ciepła pomiędzy metalem i formą. Formy jednorazowego użycia charakteryzują się bardzo niską (w porównaniu z metalem) przewodnością cieplną, co powoduje, że zetknięcie się gorącego metalu z roboczą częścią formy prowadzi do szybkiego osiągnięcia przez nią temperatury metalu, podczas gdy jej warstwy zewnętrzne zachowują temperaturę otoczenia. W technice dentystycznej używa się wyłącznie form jednorazowych z kategorii SMS – sypkie masy szybko wiążące. Formy te, zwane potocznie pierścieniami, mają różną wielkość.

POWSTAWIANIE JAM SKURCZOWYCH I PORÓW

Ochłodzenie ciekłego metalu, jego krzepnięcie, a także następne chłodzenie w stanie stałym związane są ze zmniejszeniem jego objętości. Dopóki metal zalany w formę nie tworzy

powierzchniowej skorupy (naskórka odlewniczej) i utrzymuje się w ruchu, zmniejszenie jego objętości powoduje obniżenie poziomu ciekłego stopu w górnej części formy: w pionowym wlewie głównym, przelewie lub nadlewie. Gdy kontur odlewu jest zakrzepnięty, wówczas powstałą skorupę można rozpatrywać jako naczynie, w którym zamknięta jest ciecz przegrzana do wysokiej temperatury. W miarę obniżania temperatury objętość cieczy będzie maleć podczas jej ochładzania do temperatury krzepnięcia i dalej podczas krystalizacji i ochładzania (już w stanie stałym) do temperatury otoczenia. W tym samym czasie utworzona na początku powierzchniowa skorupa, stygnąc, nieznacznie się kurczy, zmieniając swoją objętość, jednak w stopniu znacznie mniejszym niż ciekły stop. Wynikiem tej różnicy jest powstawanie w odlewie pustych (bez metalu) przestrzeni, które nazywamy jamami skurczowymi. Ich wymiary są tym większe, im wcześniej utworzy się skorupa powierzchniowa odlewu, im większy współczynnik skurczu objętościowego krzepnącego odlewu oraz im większy jest stopień skurczu stopu przy jego przejściu ze stanu ciekłego w stan stały i w końcu im mniejszy współczynnik skurczu objętościowego w stanie stałym.

Rozróżnia się dwa rodzaje jam skurczowych: skupione i rozproszone. Skupione jamy skurczowe są to wolne przestrzenie o większej lub mniejszej objętości, znajdujące się w najpóźniej (na końcu) krzepnących częściach odlewu. Rozproszone jamy skurczowe są to drobne przestrzenie (pustki), niekiedy widoczne dopiero pod lupą lub mikroskopem i rozłożone w odpowiednio dużej przestrzeni (objętości) odlewu.

Przy zetknięciu się ciekłego stopu ze ścianką formy najpierw krzepnie cienka warstewka odlewu. W wyniku tego, że objętość skrzepniętej warstewki jest mniejsza od objętości ciekłego stopu, z którego została utworzona, poziom metalu w niezakrzepniętej części odlewu równocześnie obniża się. W następnym etapie na skrzepniętej warstewce, poniżej wcześniejszego poziomu narasta kolejno krzepnąca



Rys. 5. do 8. Odlew po odlaniu i wypiaskowaniu



Rys. 6.



Rys. 7.



Rys. 8.

warstewka, a poziom cieczy znów obniża się. Tak warstwa po warstwie, aż do całkowitego zakrzepnięcia odlewu. Znacznie bardziej złożony jest proces powstawania jamy skurczowej w odlewie ze stopu krzepnącego w przedziale temperatur. Jama skurczowa może powstawać w odlewie z takiego stopu tak długo, jak długo ciekły metal z jego środka może przenikać do miejsc krystalizacji, rozmieszczonych w warstwie przejściowej, i w ten sposób kompensuje skurcz ciekłego stopu.

Jak długo trwa przenikanie ciekłego stopu, tak długo zapewnia ono wysoką gęstość krzepnącego stopu. Jednak cyrkulacja ciekłego stopu wewnątrz strefy (warstwy) przejściowej może zachodzić z dostateczną intensywnością do początku ostatniego stadium krzepnięcia, czyli do łączenia się krzepnących w środku odlewu stref przejściowych, rozwijających się ze wszystkich stron. Do tego momentu mechanizm procesu polega na tym, że część cyrkulującego, ciekłego metalu zużywa się na kompensację jamy skurczowej. Objętość jamy skurczowej jest równa różnicy pomiędzy objętościami stopu macierzystego, zassanego przez siły kapilarne do strefy przejściowej, i ciekłego stopu wzbogaconego w likwenty wyciśnięte z tej strefy. Różnica ta jest tym większa, im większy stopień ściśliwości metalu przy krzepnięciu. Kiedy cyrkulacja ciekłego metalu w strefie przejściowej zaniknie, względnie osłabnie (ostatnie stadium krzepnięcia), przemieszczenie się stopu do miejsc krystalizacji staje się trudne i w odpowiednim miejscu odlewu powstaje porowatość skurczowa. Wiadomo, że objętość odlewu z porowatością skurczową znajdować się będzie w pobliżu miejsc najpóźniej krzepnącego metalu. Objętość ta przylega bezpośrednio do jamy skurczowej i także znajduje się w nadlewie. Dla odlewnika ważna jest znajomość wymiarów strefy, w której powstaje porowatość skurczowa, i umiejętność zmian tych wymiarów.

NAPRĘŻENIA I PĘKNIĘCIA W ODLEWACH

Po utworzeniu na powierzchni ciekłego metalu (zalanego do formy) nieprzerwanej, stałej fazy (skorupy) metal

uzyskuje trwałe kontury zewnętrzne i staje się odlewem. Od tego momentu wraz ze spadkiem temperatury następuje zmniejszanie liniowych wymiarów odlewu zwane skurczem. Nieprzerwana stała faza na powierzchni metalu powstaje jeszcze do czasu utworzenia w pełni zakrzepłej skorupy, dlatego temperatura początku liniowego skurczu jest nieco wyższa od temperatury *solidus*. Skurcz liniowy może wywołać pojawienie się w metalu naprężeń, deformację odlewu, a w niektórych przypadkach powstanie pęknięć.

Przyczyną stanu naprężenia w metalu może być hamowanie jego skurczu przez formę i nierównomierne ochładzanie poszczególnych części odlewu. Naprężenia skurczowe są niebezpieczne, szczególnie w początkowym okresie ochładzania, ponieważ przy wysokich temperaturach metale i stopy wykazują bardzo niską wytrzymałość i plastyczność, a właściwości te maleją dodatkowo w obecności komponentów, tworzących w stopie niskotopliwe fazy. Naprężenia skurczowe mogą w odlewach wywołać pęknięcia na gorąco. Zarodkowanie tych pęknięć zachodzi w przedziale pomiędzy temperaturą początku skurczu liniowego a temperaturą *solidus*. Podczas dalszego ochładzania odlewów pęknięcia te albo się rozwijają, albo ulegają zaspawaniu w wyniku przenikania do nich ciekłego metalu ze środkowych warstw odlewu.

Podstawową metodą walki z pęknięciami na gorąco jest bardzo powolne studzenie odlewu, najlepiej, kiedy zaraz po odlaniu pierścienia wróci on do pieca i tam stygnie już przy wyłączonym piecu. Jest to jedna z form obróbki cieplnej odlewu.

Naprężenia skurczowe rzadko są przyczyną pęknięć na gorąco, a znacznie częściej wywołują wewnętrzne końcowe naprężenia w odlewach, pacznięcia się odlewów, a także pęknięcia na zimno, powstające w stosunkowo niskich temperaturach.

WTAPIANIE KANAŁÓW ODLEWOWYCH W MOSTACH – BEZBELKOWE

W tej części postaram się omówić problemy z odlewami konstrukcji dużych mostów. Najczęstsze to napręże-

nia, odkształcenia, pęknięcia kanałów oraz niedolewy. W zasadzie duże mosty to te powyżej 5 pkt. i min. 3 filarów. W polskiej technice dentystycznej koron i mostów najpopularniejszą metodą zatapiania kanałów jest metoda belkowa, tzn. do mostka, np. 4p., dajemy po 1 kanale grubości 2-2,5 mm i dł. 2-3 mm, na to nakładamy belkę gr. 3-5 mm (zależy od technika). Od belki 2 lub 3 kanały gr. 3 mm. Tak wygląda 90% konstrukcji woskowych: most i kanały. Jest to system mający ponad 40 lat i nic szczególnego w tym zakresie się nie zmieniło. Jednakże w metalurgii zmieniło się wiele i na szczęście nowoczesne technologie odlewnicze są już w Polsce, dotyczy to również techniki dentystycznej. Szanowne Koleżanki i Koledzy zapomnijmy o belkowej metodzie odlewania mostów, a także o stopach z niklem. We współczesnych, nowoczesnych laboratoriach Europy Zachodniej i w kilku w Polsce już od paru lat odlewa się bezbelkowo, tak jak szkielety, bez żadnych tzw. zapasów, analogicznie powinno być w przypadku mostów. Ilustracje prac z naszego laboratorium pokazują jak powinny być zatopione kanały; najpierw na etapie wosku (rys. 1, 2), następnie jak konstrukcja woskowa powinna być ułożona na kopku (rys. 3), w końcu jak powinien być oznaczony pierścień przed włożeniem do pieca (rys. 4). Po odlaniu i wypiąskowaniu odlew wygląda tak jak na rys. 5-8. Teraz parę słów o kanałach. W odróżnieniu

do metody belkowej kanały zatapiamy między elementy mostu nigdy, pod żadnym pozorem w szczyty koron czy przęseł (ilustracje powyżej). Kolejna ważna wskazówka: należy stopniować grubość kanałów, np.: między dwie korony kanał 2,5 mm, między koronę i przęsło (np. zęba 4 lub 5) kanał 3 mm, między koronę i przęsło zęba trzonowego – 3,5 mm, między przęsło i przęsło (oba przedtrzonowce) min. – 3,5 mm (można 4 mm, jeśli mamy naprawdę duże elementy np. przęsła o szerokości 1 cm to pomiędzy nie powinien iść kanał 5 mm). Wszystkie kanały idące bezpośrednio do kopka powinny być lekko łukowate. Do połączeń między elementami mostu, jak i między kanałami a mostem zalecam specjalne bezskurczowe woski. W ten sposób stopniując grubości kanałów i wtapiając między elementy mostu, gwarantuję Państwu brak jakichkolwiek „kołysań czy sprężynowania” na modelu składanym. Nawet konstrukcje 14-punktowe „siadają” bez problemu. Zastrzegam jednak, że wszystkie warunki solidnego wykonawstwa, począwszy od wycisku, przez odlew gipsowy (model składany), pracę z woskiem i odlanie muszą być bezwzględnie spełnione. Jeśli technik będzie przestrzegał kilku zasad metalurgicznych, zyska zdrowe odlewy, a co

za tym idzie wszystko będzie pasowało, a przecież o to chodzi.

Podstawowe zasady odlewnictwa w technice dentystycznej

1. Modelunek w wosku powinien być możliwie cienki, równomierny i czysty.
2. Umieszczenie i średnica kanałów wlewowych jest zależna od wielkości odlewanej przedmiotu. Kanał wtapiamy przed najgrubszym elementem, nie w niego.
3. Modelowane elementy nie powinny zawierać kątów ostrych, prostych. Wszystkie przejścia powinny być łagodne.
4. Lej zawsze z grubego w cienkie.
5. Temperatura końcowa wygrzewanego pierścienia powinna być niższa o ok. 400°C od temperatury lania stopu.
6. Nie należy zbyt długo przegrzewać, jak i niedogrzewać stopu (zimny odlew). Przykład poprawnie odlanego stopu – rys. 9.
7. Studzenie form odlewniczych powinno przebiegać możliwie wolno, najlepsza opcja: po odlaniu wsadzić pierścień z powrotem do komory pieca, a piec wyłączyć.



Rys. 9. Poprawnie odlany stop

POMED

Zaopatrzenie Stomatologiczne i Protetyczne

Rok założenia firmy: 1996

Kompleksowa oferta w zakresie:

- stomatologii
- protetyki
- farmacji
- dezynfekcji

Dystrybutor m.in. firm:

NTI, Ivoclar-Vivadent, Spofa-Dental, Kulzer, Espe, Dentaforum, Kerr, Drux, Zhermapol, Dentsply De Trey, Chema-Elektromet.

godziny otwarcia:

pon.–piątek: 8.00–16.00

sobota: 9.00–13.00

codzienny bezpłatny dowóz do odbiorców



44-200 Rybnik, ul. M.C. Skłodowskiej 7
tel. (0-32) 423 85 78
tel./fax (0-32) 423 78 02
e-mail: pomed@pomed.com.pl

ELAMED

Wiodący dystrybutor na rynku pld.-zach. Śląska

To tyle, jeśli chodzi o teorię nowoczesnej metalurgii, mam nadzieję, że wyjaśniło się przy okazji kilka problemów, z jakimi technicy borykają się na co dzień. Naprawdę polecam Państwu taki system odlewania. Gwarantuję, że skończą się problemy z rozrzedzeniami, kiwaniem, sprężynowaniem, niedolewami itd. W swoim laboratorium posługuję się tym systemem od przeszło 4 lat zarówno przy mostach, jak i szkieletach i jakość odlewów wyraźnie się poprawiła, co zauważają lekarze dentyści. Ceramika nie odpryskuje, klamry są bardziej sprężyste, a sam połysk metalu wyższy. Gorąco zachęcam do stosowania takiego systemu pracy.

BIOKOMPATYBILNOŚĆ METALI. TOKSYCZNOŚĆ NIKLU W STOPACH DENTYSTYCZNYCH

W związku z dużym wyborem stopów metali dostępnych na rynku dentystycznym (ponad 12.000 stopów) wzrasta również liczba pacjentów źle znoszących metalowe uzupełnienia protetyczne. Lista objawów w odczuciu subiektywnym, jak i w obiektywnej ocenie klinicznej obejmuje metaliczny smak, chroniczną paradontozę, a nawet rozpuszczanie się twardej, jak i miękkiej tkanki, a nawet obumarcie tych tkanek w jamie ustnej. Niestety, tylko niewielka ilość proponowanych na rynku stopów metali szlachetnych i nieszlachetnych posiada wystarczającą rezystencję na korozję w ustach pacjenta, co doprowadza w rezultacie do miejscowych reakcji toksycznych. Należy zwrócić uwagę na to, że nawet najlepsze stopy metali w wyniku nieczystego, jak i błędnego ich odlania lub obróbki wykazują w późniejszym czasie (w ustach pacjenta) tzw. korozję wżerową. Tego rodzaju reakcje są przyczyną emisji toksycznych jonów metali, co doprowadza u pacjenta do reakcji patologicznych. Również odporne na rozpuszczalność tlenki stopów złota, jak i lutowia oraz wszystkie stopy metali szlachetnych i nieszlachetnych, z niklem lub bez, mogą znacznie uszkodzić tkanki miękkie i twarde.

Stopy metali przeznaczone do wykonywania prac protetycznych muszą od-

powiadać wymogom DIN EN ISO 1562 lub międzynarodowemu standardowi wg ISO 9693.

Stopy zawierające więcej niż 0,1% Ni lub więcej niż 0,02% kadmu i berylu, lub innego niebezpiecznego dla zdrowia człowieka metalu powinny być na opakowaniu wyraźnie oznakowane i posiadać załączone wskazania, jakiego rodzaju środki ostrożności należy zachować.

Zaobserwowano, że ciężkie przypadki chorób jamy ustnej wywołanych przez metal są spowodowane uwalnianiem się jonów metali o wysokim toksycznym potencjale.

Najbardziej aktywne są jony niklu, które przy najmniejszej udowodnionej koncentracji mogą wywołać ciężkie, trudno odwracalne zmiany tkanek, np. fioletowienie kieszonek zębów koronowanych, odsuwanie się kieszonek od krawędzi koron czy zmiany chorobowe śluzówki jamy ustnej. Nikiel posiada jeszcze jedną ujemną właściwość – w formie jonowej, przy wszystkich możliwych pH pozostaje zawsze w roztworze i może przenikać do miękkiej, jak i twardej tkanki w jamie ustnej.

Zatrucia nikiem dotyczą głównie przewodu pokarmowego i centralnego systemu nerwowego. Organiczne związki niklowe atakują przeważnie płuca, mózg, wątrobę, nerki, przynercza, a także trzustkę i wykazują wysokie działanie toksyczne, jak również wchodzi w reakcję z magnezem, usuwając go z organizmu.

Korozja stopów niklowych jest korozją permanentną, tzn. objawy jej istnienia nie są widoczne w przeciwieństwie do np. stopów złota zawierających miedź, która poprzez utlenienie wywołuje brązowe plamy na powierzchni obiektów. Wynikający z tej reakcji odczyn niklu przenika bezpośrednio do organizmu. Proponowane przeprowadzenie testów alergicznych oraz użycie innych środków diagnostycznych nie są żadnym rozwiązaniem. Szczególnie trudne jest ustalenie przyczyny, jeżeli metalowe uzupełnienie zostało już zacementowane. Większość dentyków, techników dentystycznych

i pacjentów zwraca uwagę na alergogenne właściwości stopów z niklem, a w rzeczywistości alergia na nikiel jest sprawą drugorzędą, ponieważ odsetek pacjentów uczulonych na nikiel sięga maks. 5%, natomiast toksyczność niklu dotyczy wszystkich, którzy mają w jamie ustnej jakiegokolwiek uzupełnienia stałe wykonane na stopach z zawartością niklu. Gwoli wyjaśnienia, zawartość niklu w stopach pod ceramikę sięga grubo ponad 60%. Alternatywą są stopy Cr-Co, które mają biokompatybilność zbliżoną do stopów ze złotem. Stopy na szkielety nie zawierają w ogóle Ni. Reasumując, wykonując prace na stopach z niklem szkodzimy pacjentowi, a tak być nie powinno. Kraje Europy Zachodniej już od prawie 20 lat nie pracują na tego typu stopach. Cała produkcja idzie na Wschód, gdzie Ministerstwa Zdrowia bagatelizują problem. Jak długo jeszcze?! □

Słownik pojęć:

Adsorpcja – proces polegający na powierzchniowym wiązaniu cząsteczek cieczy lub gazu przez cząsteczki ciała stałego.

Eutektyk – mieszanina ciekła.

Likwacja – rozdzielanie się płynnego metalu na 2 niemieszalne ze sobą frakcje ciekłe o różnym składzie chemicznym.

Likwidus – temperatura początku krystalizacji.

Krystalizacja – proces tworzenia się i wzrostu kryształów ze stopu, roztworu lub z fazy gazowej.

Solidus – temperatura końca krystalizacji.

Piśmiennictwo

1. Allendorf H.: *Odlewanie precyzyjne za pomocą modeli wytapianych*. PWT, Warszawa 1960.
2. Longa W.: *Krzepnięcie i stygnięcie odlewów. Teoria procesów technologicznych w odlewnictwie metali*. WNT, Warszawa 1965.
3. Chudzikiewicz R.: *Metalurgia i odlewnictwo*. WNT, Warszawa 1977.
4. Górny Z.: *Odlewnicze stopy metali nieżelaznych*. WNT, Warszawa 1992.
5. Raczką J., Tabor A.: *Odlewnictwo*. FOTOBIT, Kraków 1996.