

Technologie výroby kompozitů

Jak vyplývá již z charakteru jednotlivých složek a základního rozdělení plastů, vzniká (až na výjimky) vláknový kompozit – laminát teprve při výrobě polotovaru resp. výrobku.

Vzhledem k tomu je třeba posuzovat technologický postup při výrobě vyztužených plastů za velmi podstatný faktor, který v zásadě určuje jak jeho konečné vlastnosti, tak i ekonomiku výroby.

Proto je třeba věnovat volbě technologie značnou pozornost.

Určující faktory pro volbu technologie

Výrobní technologie je dána především charakterem výrobku a její volba se řídí několika zásadními faktory:

- a) seriovost dílce
- b) velikost a členitost výrobku
- c) kvalita povrchu
- d) požadované vlastnosti, zejména pevnost a hmotnost
- e) limit nákladů

Obvykle je třeba volit určitý kompromis, aby bylo možno alespoň do jisté míry vyhovět všem požadavkům nebo se těm, které jsou nejdůležitější, co nejvíce přiblížit.

Seriovost je jedním ze základních faktorů ovlivňující volbu zpracování. Je zřejmé, že dílce v malých seriích není možno vyrábět strojními technologiemi, naopak velké serie není ekonomické vyrábět ručním kladením.

Členitost a tvar výrobků:

Některé technologie připouštějí pouze určité tvary (např. navíjení), některé postupy lze aplikovat pouze na jednoduché tvary (strojní stříkání).

Kvalita povrchu:

Některými postupy lze získat pouze jednostranně kvalitní povrch od formy.

Požadavky na finální vlastnosti:

Většina mechanických vlastností závisí na obsahu a orientaci výtzuže v kompozitu a i na typu použité pryskyřice. Tyto faktory jsou značně závislé na použité technologii.

Výroba modelů a forem

Při ručním kladení, stříkání a injekčních metodách je prvním krokem návrh a příprava modelu.

Jako materiál slouží dřevo a překližka, modelářské hlíny, tuhé pěny a tmely, případně pro povrchové vyztužení také tenší laminát. Po dokonalém zpracování tvaru je nutno model tepelně stabilizovat na teplotu, které bude model při výrobě formy vystaven, povrchově upravit např. polyuretanovými laky nebo polyesterovým topcoatem, speciálními tmely vytvořit dělicí a ořezové roviny, v případě vícedílných forem dělicí roviny opatřit čepy nebo průchodkami pro přesné usazení forem a v případě potřeby osadit ořezové plochy kování chránícím vůči opotřebení a důkladně naseparovat.

Volba materiálu pro vlastní formu je dána hlavně seriovostí a také typem technologie.

Pro prototypy, které se téměř vždy vyrobí ručním kladením, se užívá speciální sádra, dřevo, pěny, tmely (v e-shopu je k dispozici spousta různých tmelů včetně velmi kvalitních epoxidových).

Výrobní formy pro ruční a injektážní technologie se zhotovují většinou z laminátu případně v kombinaci s pěny nebo balzou a dalšími sendvičovými materiály, pro injektážní technologie z polymerbetonu nebo kovové. Kovové jsou formy pro lisovací technologie, navíjení, tažení a odstředivé lití.

Pro výrobu nenáročných a levnějších laminátových forem jsou nejčastěji používanými materiály skleněné rohože a polyesterové pryskyřice.

Prvním, velmi důležitým krokem, je aplikace formového gelcoatu na naseparovaný model. Na kvalitě povrchu modelu, výběru a pečlivé aplikaci formového gelcoatu závisí kvalita povrchu formy a její životnost.

Aby se snížilo vnitřní pnutí a smrštení a tedy i změna rozměrů formy je třeba při stavbě konstrukční části formy postupovat po dílčích krocích, nejprve na vytvrzený formový gelcoat klást jednu, nejvýš dvě vrstvy kvalitní rohože o gramáži 225-450 g/m² a prosytit pečlivě pryskyřicí s co nejnižším smrštením včetně odstranění vzduchových bublin. Někteří výrobci forem dávají přednost před konstrukčními vrstvami aplikovat jako první na gelcoat jemnou povrchovou rohož nebo flís o nízké gramáži.

Teprve druhý den po vytvrzení prvních vrstev lze klást další konstrukční vrstvy, nejlépe opět s prodlevami na vytvrzení vrstev předchozích. Výroba formy je tak relativně časově náročnou operací.

Pro výrobu přesných nebo více namáhaných forem se v poslední době nejčastěji používají speciálně formulované, termoplasty modifikované a vysoce plněné polyesterové pryskyřice, kdy je možno v jednom kroku dosáhnout tloušťky až 14 mm a dosáhnout prakticky nulového smrštení. Výroba formy se tak zkrátí na 2 dny včetně zpevnění formy např. žebrováním na rubové straně a připevnění manipulačního rámu.

Lze rovněž použít kvalitnější epoxidové pryskyřice s pomalu vytvrzujícími tužidly, které výrazně snižují riziko smrštení a mechanické poškození často používané formy.

Před uvedením nových forem do provozu je nutno je opatřit spolehlivým separátorem buď na bázi tvrdých karnaubských vosků nebo kapalnými semipermanentními bezsilikonovými separátory.

Kvalitních separátorů je velký výběr, důležité je přesně dodržovat návod výrobce pro aplikaci na nové formy.

Ruční kladení

Nejstarší a nejjednodušší a dosud nejrozšířenější technologie, patří mezi tzv. otevřené technologie. Forma (negativní – matrice nebo pozitivní – patrice) se po naseparování obvykle nejprve opatří gelcoatem.

Gelcoat – speciálně formulovaná, většinou probarvená nevyztužená povrchová vrstva o tloušťce 0.3-1 mm se nanáší buď ručně nebo stříkáním a zajišťuje jednak estetickou stránku povrchu dílce a jednak tvoří ochranu vůči okolnímu prostředí (voda, povětrnost, chemická média).

Po částečném vytvrzení gelcoatu (nesmí se již mazat, ale může ještě být lepivý) se kladou jednotlivé vrstvy výztuže, které se prosycují iniciovanou pryskyřicí pomocí štetce nebo nanášecím válečkem a pak se přebytečná pryskyřice a vzduchové bubliny vytlačují rýhovanými válečky.

Laminát vytvrzuje za normální teploty většinou bez aplikace tlaku, pouze v případech, kdy je třeba vytvořit sendvičovou konstrukci stěny zabudováním lehkých jádrových materiálů (pěny, voštiny apod.) se užívá přítlaku vakuem pod separační folií. Pro zvýšení teplotní odolnosti je někdy nutné dle doporučení výrobce pryskyřic provést vytvrzování při zvýšené teplotě při dodržení programu postupného zvyšování teploty.

Ruční kladení / hand lay-up



Používané materiály:

Výztuže: Na bázi skleněných, uhlíkových, aramidových či jiných syntetických nebo přírodních vláken v různých formách, nejčastěji jako tkaniny různé gramáže, stylu tkaní a orientace nebo rohože (konstrukční i povrchové) a různé netkané či tkané sendvičové materiály.

Pryskyřice: Nejčastěji polyesterové nebo epoxidové pryskyřice, typ pryskyřice, iniciátoru nebo tužidla je třeba volit dle potřebné doby zpracování při výrobě, podle požadavků na pevnostní charakteristiky, teplotní a chemickou odolnost nebo speciální požadavky (snížená hořlavost, nízké smrštění pro stavbu forem apod.) vždy s ohledem na konečné použití výrobku.

Technologie ručního kladení je vhodná pro malé až velkorozměrové výrobky od jednoduchých až po značně tvarově složitě dílce při nižší až střední seriovosti (až do 1000 kusů) a vzhledem k nenáročnosti a nízkým nákladům také pro výrobu prototypů.

Stříkání

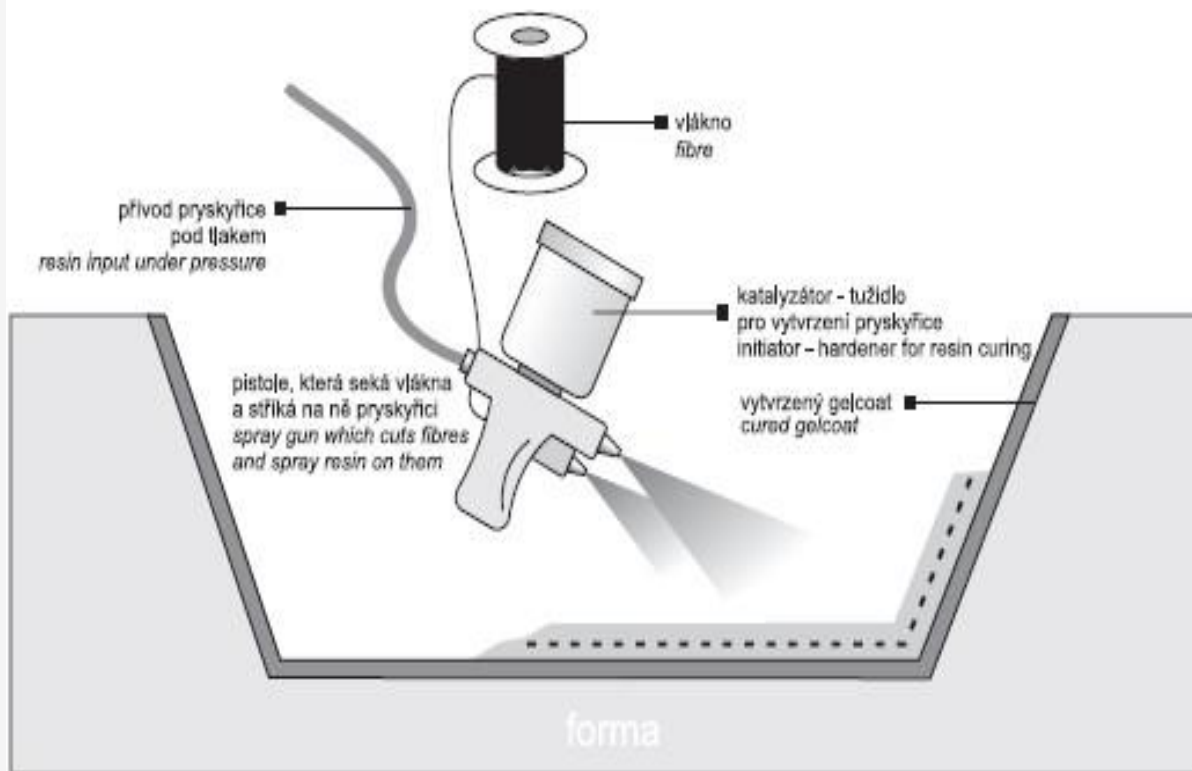
Touto strojní technologií se nanáší pneumaticky na formu speciální pistolí současně sekaný roving a iniciovaná pryskyřice. Nanášení se provádí převážně ručně, lze je však mechnizovat a řídit počítačem.

Formy jsou nenákladné, prakticky totožné jako pro ruční kladení, většinou z kompozitů.

Jako první bývá aplikována – ručně nebo nástřikem – gelcoatová vrstva. Vlastní stříkání se provádí v několika vrstvách „mokrě do mokrého“ v závislosti na požadované tloušťce výrobku. Každá vrstva nanesené směsi se zhutňuje rýhovanými nebo štětinovými válečky různé velikosti a tvaru, přičemž se zároveň vytlačí vzduchové bubliny.

Stříkání patří rovněž k tzv. otevřeným technologiím a je nutno jej provádět v odvětrávaném prostoru – stříkacích boxech a to především z důvodu, že pro tuto technologii se téměř výlučně používají polyesterové pryskyřice, obsahující styren.

Stříkání/ spray-up



Používané materiály:

Výztuže: Skleněný roving (nekonečný pramenec o různém texu), výjimečně i jiné kontinuální vlákno, např. speciální roving Spheretex jedná se o voluminezní roving tvořený základními skleněnými vlákny mezi nimiž jsou zakomponovány mikrokuličky expandovaného polymeru.

Takto vylehčený roving s tvrdou povrchovou úpravou typu GunCore je dobře sekateľný a dává výrobku lehkost, odolnost vůči rázům a zlepšuje ohybovou a torzní pevnost. Lze jej s výhodou použít jako vnitřní semisendvičovou vrstvu ve vnitřních vrstvách a to především pro usnadnění práce – odpadá předchozí příprava a sesazování plošných sendvičových materiálů.

Pryskyřice:

Většina polyesterových pryskyřic ortoftalového, izoftalového nebo tereftalátového typu.

Technologie stříkání je vhodná pro výrobu středních až velkorozměrových nepříliš složitých dílců. Používá se rovněž pro nanášení laminátové směsi na rub polymethylmetakrylátových sanitárních výrobků (vany, umyvadla, dna sprchových koutů) pro zvýšení jejich pevnosti a tvarové stability. Stříkání je vhodná metoda pro seriovou výrobu díky možnosti efektivního, rychlého nanášení velkého množství materiálu, nevýhodou je zvýšené množství odpadu a relativně vysoké vstupní investice na stříkací zařízení a odsávané boxy spojené se systémem likvidace styrenových par z odtahu, dále vyšší obsah pryskyřice a tím i výrazně nižší mechanické vlastnosti.

Lisování za studena

Provádí se působením nízkého tlaku 0.3 – 10 kg/cm² za normální teploty. Formy nejsou vyhřívány, mohou tedy být nákladově nenáročné (laminát, plech, hladké dřevotřískové lamino). Používá se forem dvoudílných, tzn. že výlisek má oboustranně hladký povrch. Tlak se získává nejjednodušeji pomocí šroubových svěrek nebo hydraulických válců v jednoduché rámové konstrukci nebo v etážových nízkotlakých lisech.

Používané materiály:

Výztuže: Nejčastěji tkaniny na bázi skleněných či jiných vláken o různé gramáži, stylu tkaní a orientaci.

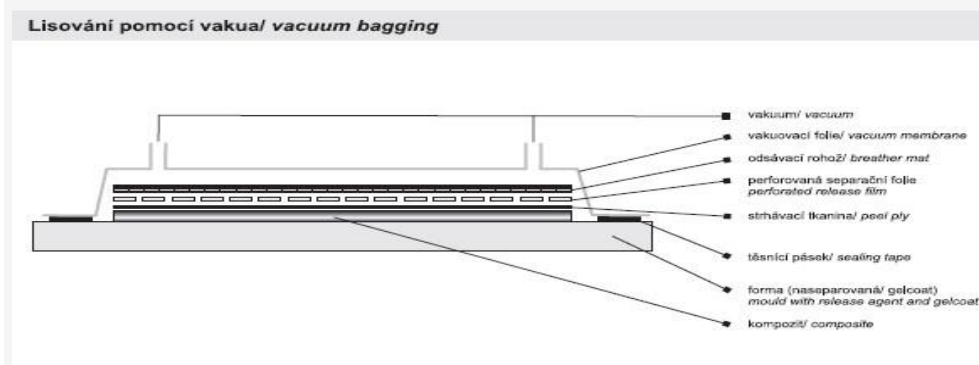
Pryskyřice: Polyesterové nebo epoxidové pryskyřičné systémy vytvrzující za normální teploty.

Technologie je vhodná pro investičně nenáročnou výrobu o seriích 100 – 5000 ks.

Lisování pomocí vakua

Je-li třeba zvýšit obsah výztuže a odsát přebytečnou pryskyřici pro zvýšení mechanických vlastností nebo zakomponovat tuhé sendvičové materiály – pěny nebo voštiny, volí se přítlak vakuum.

Při použití měkkých sendvičových materiálů, které je nutno prosytit pryskyřicí, je možno také použití vakua, je však nutné volit podstatně menší podtlak.



Prosycená výztuž se aplikuje do formy jako při ručním kladení. Na poslední konstrukční vrstvy se pokládá tzv. odtrhová (strhávací) tkanina ze syntetických vláken, která usnadňuje další operace (laminování, lepení, povrchové úpravy) tím, že jí lze kdykoli po vytvrzení lehce strhnout a na vzniklém povrchu pokračovat s dalšími operacemi aniž by bylo třeba povrch odmašťovat či brousit nebo zdršňovat. Následují perforovaná separační folie a odsávací rohož, která vstřebává přebytečné pojivo a zároveň umožňuje odsátí vzduchových bublin vakuem. Nakonec se aplikuje pružná vakuovací folie nebo pryžová plachetka, která se při obvodu formy přilepí těsnícím tmelem ve formě pásku či hmoty nebo oboustranně lepicí páskou k zajištění funkce vakua.

Evakuace vzduchu a přítlak se vyvozuje relativně malým pod tlakem cca 0.3-0.9 bar, formy mohou být relativně jednoduché a nákladově nenáročné jako u technologie ručního kladení.

Ve většině případů pak vytvrzování ve vakuované formě probíhá při normální teplotě, použijí-li se prepregy, je třeba dosáhnout předepsané vytvrzovací teploty umístěním formy do vyhřívaného tunelu nebo vytápěné komory.

Používané materiály:

Výztuže: Tkaniny a pásy na bázi skleněných, uhlíkových nebo syntetických vláken všeho druhu, jejich kombinace nebo tzv. hybridní (směsné) výztuže různé gramáže.

Pojiva: Polyesterové nebo epoxidové pryskyřice

Pro náročné aplikace se užívá tzv. prepregů, tj. výztuží předimpregnovaných vhodnými pryskyřicemi, které vyžadují vytvrzování za zvýšených teplot. Tkaninové prepregy se vyznačují vysokým obsahem

výztuže, je třeba však počítat s omezenou skladovatelností několik dnů až týdnů v závislosti na typu pojivového systému a skladovací teplotě (při -18°C až 12 měsíců).

Vakuové lisování se používá pro malé až střední serie, technologie nevyžaduje vysoké náklady vyjma investice do vakuové pumpy. Výsledkem jsou oboustranně hladké výrobky včetně sendvičových struktur s vysokým obsahem výztuže a velmi dobrými mechanickými vlastnostmi.

Lisování v autoklávu

Jedná se o nejnákladnější a nejsložitější technologii pro seriovou výrobu velkorozměrných konstrukcí. Výchozím materiálem jsou vždy prepregy, vyžadující vytvrzování za zvýšených teplot. Skladba vrstev je prakticky stejná, jako při lisování vakuem, forma pokrytá pružnou folií nebo plachetkou se umístí do vyhřívaného autoklávu, provede se nejprve evakuace podtlakem cca 0.8 bar a pak se autokláv natlakuje na cca 6 bar. Obsah výztuže se pak pohybuje přes 60%.

Prepregy jsou kladeny buď ručně nebo v případě velkoseriové výroby leteckých nebo kosmických dílů jsou ukládány speciálním zařízením, řízeným počítačem.

Používané materiály:

Prepregy na bázi skleněných, uhlíkových nebo aramidových vláken (pro letecké a kosmické aplikace jsou užívána také vlákna borová nebo siliciumkarbidová) nejčastěji s epoxidovou matricí, vytvrzující při 120-200°C.

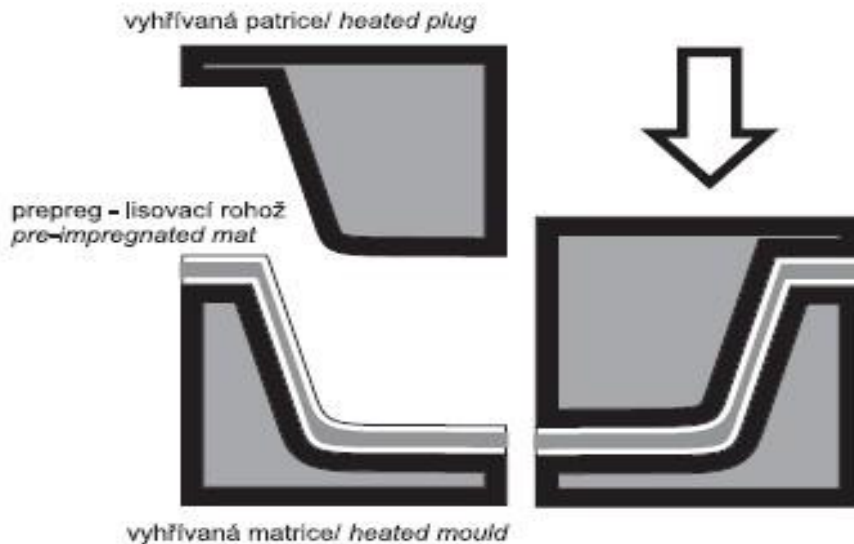
Lisování v autoklávu se používá pro nejnáročnější velkorozměrové struktury pro kosmický a letecký průmysl, závodní automobily a velkorozměrové obkladové panely dopravních prostředků se střední až vysokou seriovostí.

Lisování za tepla a tlaku

Provádí se za zvýšených teplot a tlaků ve dvou nebo vícedílných kovových formách, které musí mít leštěné nebo lépe tvrdě chromované pracovní povrchy. Formy se vyhřívají nejčastěji elektricky nebo topným médiem a jsou upevněny v hydraulických lisech schopných vyvodit tlaky 10-300 kg/cm². Výchozím materiálem jsou buď prepregy- tzv. lisovací rohože (SMC – sheet moulding compounds), lisovací těsta (DMC- dough moulding compounds) nebo lisovací směsi -premixy (BMC – bulk moulding compounds).

Prepregy – lisovací rohože (SMC) jsou směsi sekaných, nejčastěji skleněných vláken, pojiva, většinou na bázi polyesterových nebo vinylesterových pryskyřic převedeného do částečně vytvrzeného stavu B, plniv, pigmentů a různých aditiv zlepšujících tokové vlastnosti, kvalitu povrchu a upravujících některé vlastnosti, např. snižují hořlavost nebo smrštění. Za zvýšené teploty a tlaku jsou prepregové přířezy schopny ve formě dalšího toku, materiál zcela zaplní dutinu formy a dalším působením tepla nastane kompletní vytvrzení.

Lisování za tepla SMC/ Hot press moulding SMC



Použité materiály:

Prepregy – lisovací rohože (SMC) ve formě listového materiálu, krytého oboustranně separační folií, dodávané v rolích. Pojivem jsou nejčastěji polyesterové pryskyřice různých typů. V případě lisovacích těst (DMC) a premixů (BMC) se používají i speciální tereftalátové typy.

Lisování za tepla a tlaku je jednou z nejproduktivnějších výrobních technologií pro velkoseriovou výrobu (2-5 tis. kusů) malých a středně velkých dílů. Výhodou jsou krátké výrobní cykly v řádu několika minut, vysoká reprodukovatelnost kvality a rozměrů a možnost automatizace procesu.

Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady na lisy a formy.

Injektážní a infuzní technologie

Tyto metody patří mezi tzv. uzavřené technologie, které omezují odpar škodlivého styrenu během zpracování a vytvrzovacího procesu. Vzhledem k zpřísnujícím se předpisům na kvalitu pracovního prostředí a snížení emisí do komunálního prostředí nabývají čím dále tím více na důležitosti a rozšíření na úkor ručního kladení a stříkání.

Všechny modifikace těchto technologií vycházejí z kapalných pryskyřičných systémů, které prosycují suchou výztuž uloženou do formy pomocí injektáže, vakua nebo kombinací obou.

Vysokotlaké vstříkávání

(RTM – resin transfer moulding)

Formy jsou robustní konstrukce, kovové nebo polymerbetonové, aby snesly vysoké vnitřní tlaky.

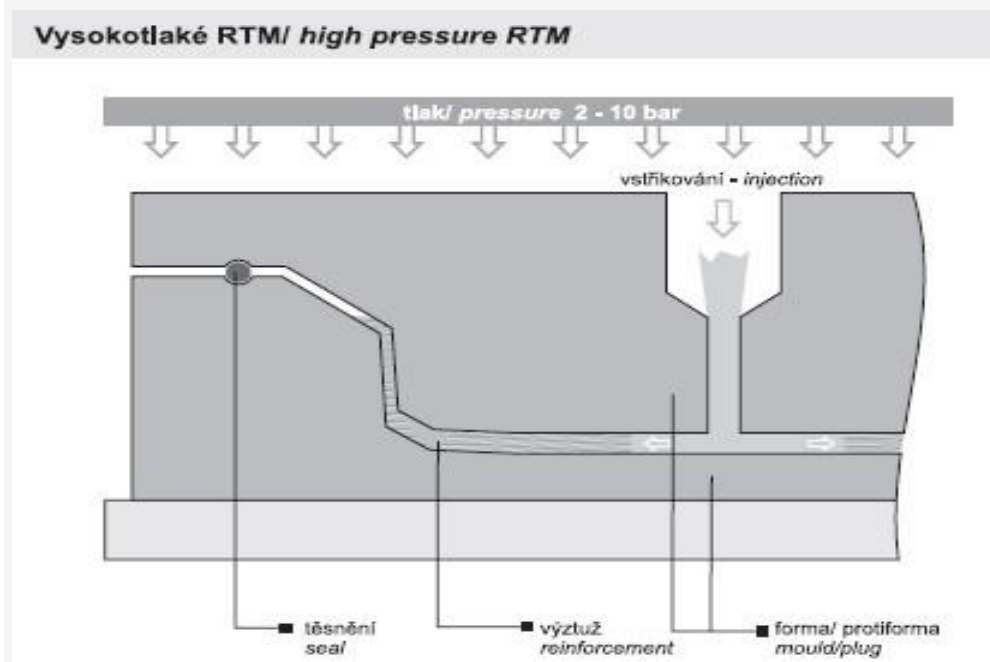
Do formy, opatřené gelcoatem, se vyskládá suchá výztuž dle konstrukčního návrhu, při velkoseriové výrobě se vkládají tzv. předlisky z výztužného materiálu. Vytvuzující materiál, ať už na bázi skleněných nebo jiných vláken, musí mít strukturu umožňující snadný tok pryskyřičného systému, aby se dosáhlo úplného prosycení v krátkém čase.

Forma se poté uzavře vrchním dílem podobně tuhé konstrukce a zajistí rychloupínacím systémem.

Do vstříkovacího otvoru se umístí injektážní pistole, kterou se přivádí pojivo ze speciálního strojního zařízení – vysokotlaké pumpy se spřaženým regulovatelným směšováním iniciátoru.

Pojivo se vstřikuje tak dlouho, pokud nezačne vytékat z kontrolních otvorů na okrajích formy, což znamená, že výztuž je zcela prosycena v celém objemu dílce.

Pojivový systém je volen tak, aby vytvrzovací reakce s využitím exotermu proběhla v řádu 10-20 minut.



Používané materiály

Výztuže: Rohože z nekonečného vlákna (např. typ Unifilo) nebo prošívané rohože a speciální komplex skleněná rohož+vnitřní řídká rohož ze syntetických vláken typu Rovicore nebo Combiflow, povrchové rohože o nízké gramáži.

Pojiva: Nejčastěji polyesterové pryskyřice se zabudovaným urychlovačem, v řadě případů ve směsi s levnými plnivy (uhlíčitán vápenatý, aluminiumtrihydrát) pro snížení nákladů a úpravu vlastností, např. snížení hořlavosti, speciální typy tzv. Class A se sníženým smrštěním pro automobilové díly k přímému nasazení bez dalších povrchových úprav.

Vysokotlaké RTM je díky krátkým výrobním cyklům a reprodukovatelné kvalitě vhodná technologie pro vyšší série – několik stovek až tisíců kusů. Je třeba počítat s dost vysokou investicí na vstřikovací zařízení a s náklady na středně finančně náročné formy. Náklady na protikus formy lze snížit použitím tzv. distančních voskových folií o různé tloušťce odpovídající tloušťce výrobku, odpadá tak výroba druhého modelu.

Vakuo-injekční technologie

(VARTM – vacuum assisted resin transfer moulding, RTM light))

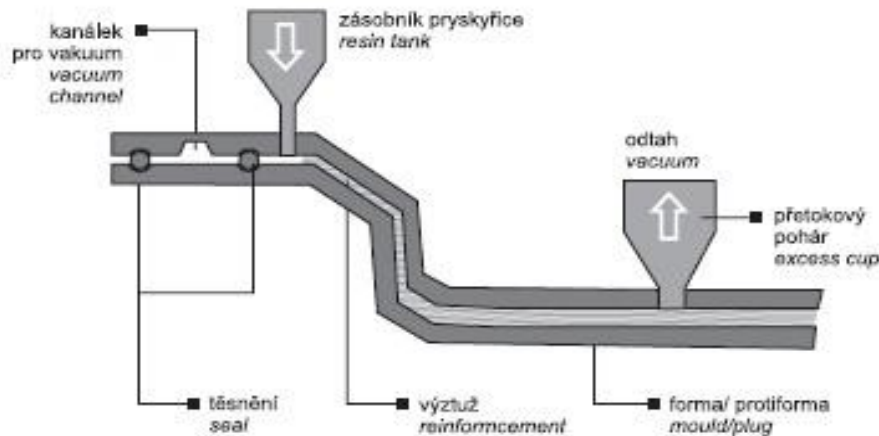
Jedná se o modifikaci klasické technologie RTM, kdy prosycení výztuže napomáhá vakuum.

Užívá se 2 základních uspořádání:

- vstřikování do středu formy, vakuum je aplikováno po obvodu formy
- přívod pojivy do obvodového kanálku, vakuum je aplikováno ve středu formy

Výhodou této technologie je díky nižším tlakům (0,4-1 bar) možnost konstruovat formy méně robustní, což umožňuje výrobu i větších dílců.

Vakuuminjekční technologie/ Vacuum injection technology



Používané materiály:

Jako u klasické vysokotlaké RTM technologie, navíc těsnicí profily a pásky pro zajištění funkce vakua ve formě.

Vakuové prosycování

(vacuum infusion, VIP- vacuum infusion process)

Technologie obdobná RTM light, odpadá zcela injekční zařízení. Užívají se 3 modifikace:

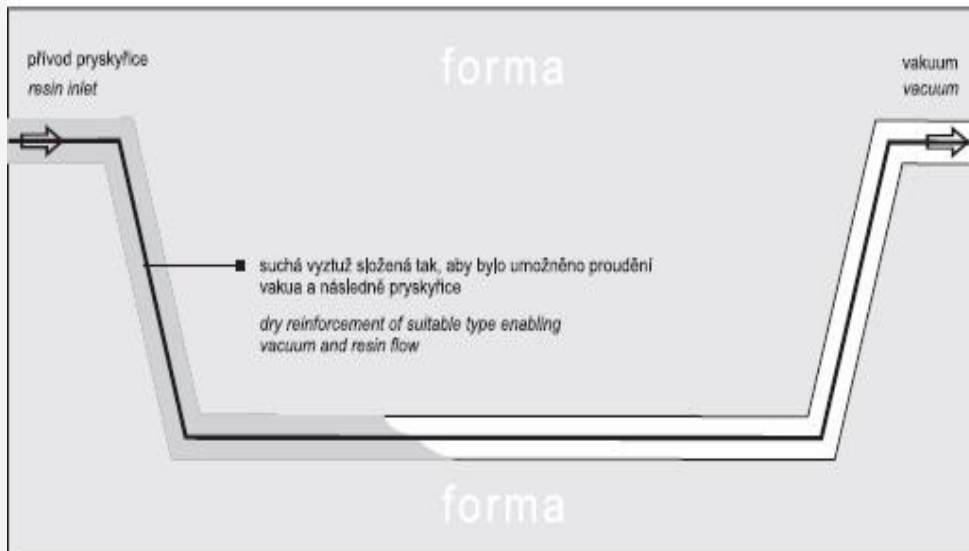
1) Vakuové prosycování s pružnou vrchní částí formy. Spodní forma je tuhá, podobně jako u RTM light s odsávacími kanálky, vrchní část, nejčastěji kompozitní, má určitou pružnost, která reguluje přítlak, uzavírací sílu a prosycování zajišťuje vakuum 0.6-0.8 bar.

Pojivo je buď přiváděno ze zásobníku nebo se před uzavřením formy zhruba rozprostře na suchou výztuž. Metoda je vhodná pro oboustranně hladké dílce, do kterých mohou být zakomponovány jádrové materiály – pěny nebo voštiny- pro vytvoření sendvičové struktury.

2) Vakuové prosycování pod pružnou folií. Technologie má mnoho společného s lisováním pomocí vakua. Spodní forma je klasického typu jako pro ruční kladení. Místo druhé části formy se používá pružná folie, která je k okrajům formy připevněna těsníci pásky. Iniciované pojivo se přisává ze zásobníku, v případě velkorozměrných dílců se rozvádí perforovanými trubičkami až do vzdálenějších míst. Vakuum je aplikováno na obvodu formy pomocí kanálku, vytvořeného těsníci profily.

3) Metoda SCRIMP je velmi podobná metodě 2), pouze rozvod pryskyřice je zajišťován speciální sítkou, umístěnou na celý povrch suché výztuže. Závěr tvoří opět pružná folie.

Vakuové prosycování/ vacuum infusion



Použité materiály:

Výztuže: Vyztužující materiály všeho druhu, od tkanin na bázi skleněných, uhlíkových nebo aramidových vláken nebo jejich kombinací o různé gramáži a stylu tkaní, s různou orientací až po speciální prošívání nebo složené rohože. Je možno vkládat pěnové materiály pro tvorbu sendvičových struktur nebo semisendvičové materiály typu Coremat. Lze použít i strhávacích tkanin, pásků a povrchových rohoží.

Pojiva: Polyesterové i epoxidové nízkoviskozní pryskyřice, pro velkorozměrové dílce vzhledem k dlouhým dobám prosycování je třeba volit vytvrzovací systémy s dlouhou dobou zpracovatelnosti. Metody vakuového prosycování jsou obzvláště vhodné pro velkorozměrné díly jako trupy a paluby lodí, velké dílce pro kapotáž lokomotiv a vagonů, lopatky větrných elektráren apod., kde by jiné metody byly velmi pracné (ruční kladení) nebo neúnosně nákladné (RTM nebo klasické lisování).

Pracovní cykly jsou ovšem delší, někdy až několik hodin. Infuzí prosycování je vhodné pro malé až střední serie.

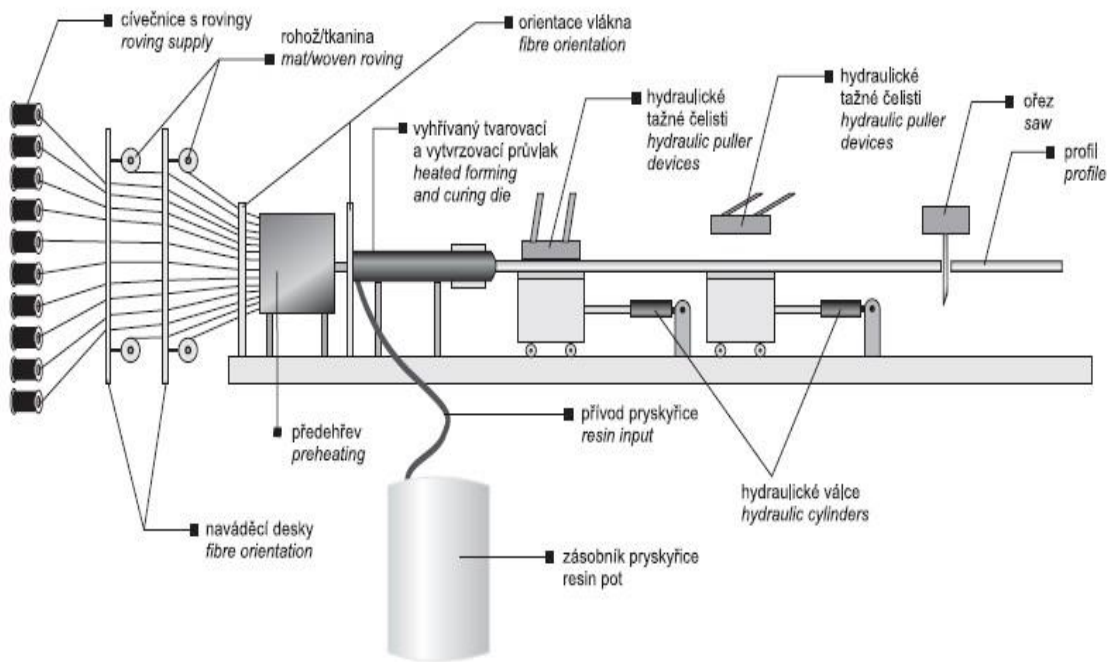
Tažení (pultruze)

Touto metodou lze vyrábět velmi efektivně kontinuálním způsobem různé plné, duté i tvarové profily s vysokým obsahem výztuže (až do 80%). Výztuž, nejčastěji skleněná, ale i uhlíková nebo i jiné pramence případně v kombinaci se stuhami z tkanin nebo rohoží pro získání příčného vyztužení, prochází lázní s iniciovanou pryskyřicí a po prosycení a odždímání přebytečné pryskyřice je vtahována do tvarovacích a vytvrzovacích průvlaků (forem), jejichž dutina odpovídá vnějšímu tvaru vyráběných profilů. Modifikací této technologie je tlakové prosycování suché výztuže až v počáteční sekci formy.

V průvlaků dochází buď působením sdíleného tepla (formy jsou vyhřívány elektricky nebo topným médiem) nebo vývojem tepla účinkem vysokofrekvenčního pole k vytvrzení. Kompozitní profil je odtahován regulovatelnou rychlostí hydraulickými čelistmi nebo pásovými elementy a dělen na požadovanou délku.

Varianta prosté pultruze je tzv. pulforming, kdy se během semikontinuálního procesu táhne prosycená výztuž, které je v následujícím kroku v dvoudílné vyhřívané formě udělen konečný tvar, např. listové eliptické pero-pružina s proměnným průřezem po délce.

Schéma tažení/ pultrusion-process lay-out



Použité materiály:

Výztuže: Zejména skleněný roving, méně často uhlíkové pramence, tkané stuhy a pásy z různých vláken nebo rohože s těžko rozpustným pojivem, povrchové rohože, případně s potiskem.

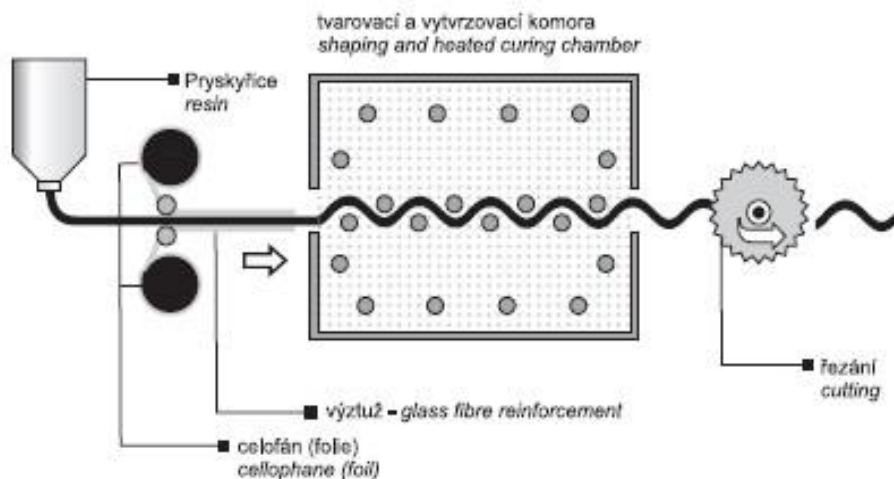
Pojiva: Nízkoviskozní polyesterové, vinylesterové nebo epoxidové pryskyřičné systémy vytvrzující rychle za zvýšených teplot (80-160°C). Pojiva obvykle obsahují vnitřní separátory, aditiva pro zlepšení hladkosti povrchu a usnadňující probarvení, pigmenty a plniva např. pro snížení hořlavosti.

Technologie je vhodná pro kontinuální výrobu profilů od velmi tenkých a jednoduchých (1 mm pásy pro vyztužení hokejek a lyží) až po velmi složité a rozměrné (šíře a výška několik desítek cm, tloušťka stěny až 15 mm).

Ostatní kontinuální metody

Rovné laminátové desky nebo vlnitá střešní krytina se vyrábí rovněž na kontinuálních linkách. Výchozím materiálem mohou být jak tkané materiály, rohože nebo sekané pramence, nanášené na nosnou folii, prosycované pryskyřicí průchodem v lázni nebo zkrápěním. Po překrytí vrchní separační folií je materiál vtahován do tvarovací a vytvrzovací zóny. Linka je zakončena odtahovým, formátovacím a řezacím zařízením.

Kontinuální laminování / Continuous sheet production



Použité materiály:

Výztuže: Pramence, rohože, tkaniny, případně jejich kombinace, převážně ze skleněných vláken.

Pojiva: Polyesterové, omezeně i epoxidové pryskyřice

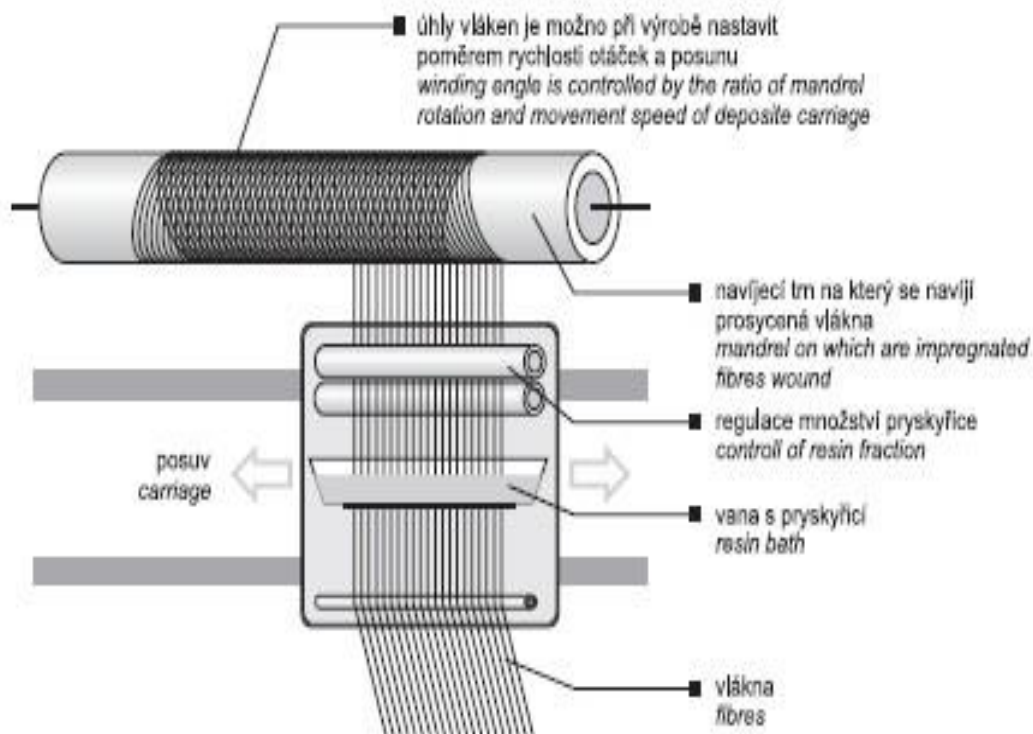
Navíjení

Při technologii navíjení se výztuž, většinou skleněné, ale i uhlíkové nebo aramidové pramence impregnované pojivem ovíjejí na jádro (trn) ve tvaru výrobku. Takto se vyrábějí kompozitní dutá tělesa – trubky, nádrže a nádoby různého i proměnného tvaru a velikosti.

Pohyb ukládacího ramene podél osy za současné rotace trnu a poloha ukládacího oka dovolují přesné kladení vláken v několika osách a umožňují vytváření i relativně složitých tvarů. Proces navíjení je plně řízen počítači.

V impregnačním a naváděcím zařízení se výztuži uděluje určité předpětí, které umožňuje přesné uložení na jádro. Poměrem rychlosti otáčení trnu a posunem ukládacího zařízení lze regulovat úhel návinu od 90° (obvodový návin) přes křížový návin s různým navíjecím úhlem až po 0°, např. osově vyztužení hřídelí a trubek. Díky rozebíratelným a vyjímatelným trnům lze tzv. integrálním navíjením získat kompletní nádoby včetně dnů a vrchlíků pouze s malými polárními otvory.

Navíjení/ filament winding



Používané materiály:

Výztuže: Většinou pramence – skleněný roving o různém texu, pro náročné aplikace uhlíkové pramence.

Nově je používán i roving Twintex (Vetrotex), který se skládá ze skleněných a polymerních termoplastických vláken. Kromě tzv. přímého rovingu lze použít i speciální vylehčené pramence Spheretex na bázi skleněných, uhlíkových nebo aramidových vláken, mezi nimiž jsou zakomponovány expandované polymerní mikrokuličky.

Pojiva: Polyesterové pryskyřice různého typu, vinylestery i epoxidy. Pro skladování potravin a pitné vody je třeba hotové nádrže tepelně dotvrzovat, aby se dosáhlo co nejvyššího stupně vytvrzení a minimálního obsahu volného styrenu.

Technologie navíjení je jednou z nejprogresivnějších metod pro výrobu dutých těles z kompozitů.

Investiční náročnost je dána cenou navíjecího stroje a náklady na navíjecí trny. Běžně se navíjením vyrábějí trubky od průměru 150 mm do 3000 mm a nádrže od 1 m² až do 100 m².

Odstředivé lití

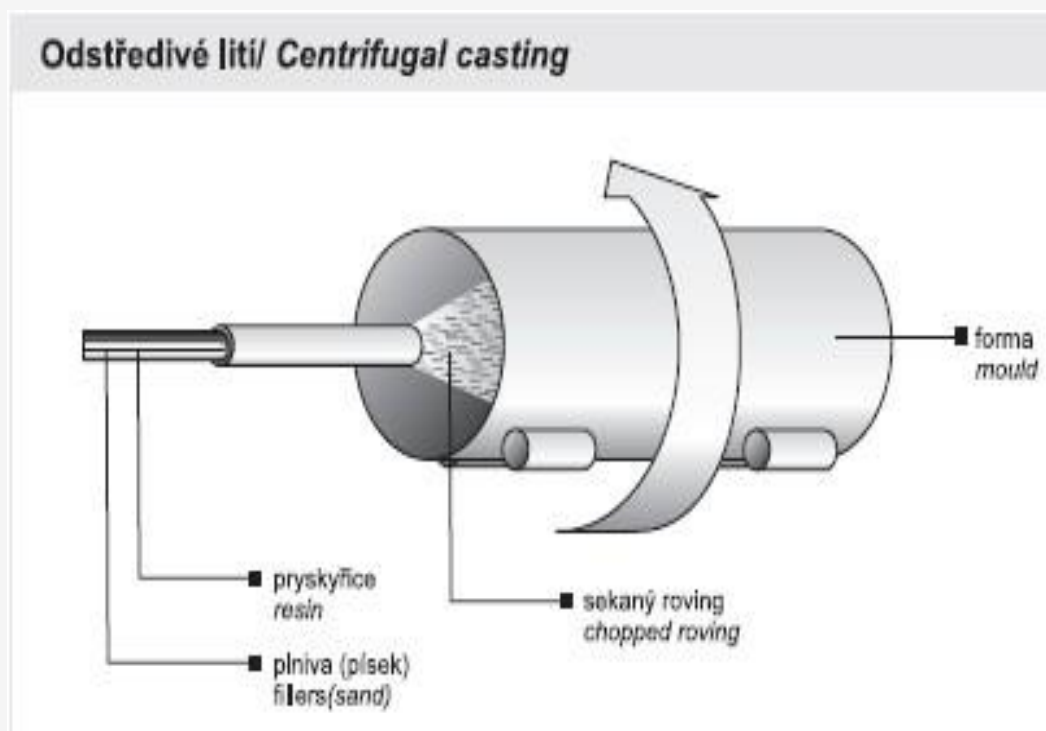
Dutá tělesa rotačního tvaru, zejména potrubí pro zásyp, se vyrábějí na strojním zařízení, které je kombinací strojního stříkání a odstředivého lití.

V duté rotující formě – trubce dané jmenovité světlosti se pohybuje v ose stříkací zařízení, které podle počítačem řízeného programu nanáší směs sekaných vláken, iniciované pryskyřice a různých plniv.

Nanesené vrstvy se postupně zhutňují působením odstředivé síly, vznikající rychlým otáčením formy.

U většiny potrubí pro odpadní vody nebo pro korozní aplikace se jako poslední vnitřní vrstva nanáší vysoce pružná resp. chemicky odolná pryskyřice (liner-HAVELpol 10).

Po vytvrzení lze hotové trubky díky smrštění kompozitu snadno vytáhnout z formy.



Použité materiály:

Výztuže: Převážně sekaný skleněný roving

Pojiva: Jako základní jsou používány běžné polyesterové pryskyřice ortoftalového typu, pro vnitřní líniovou vrstvu se používají vinylestery pro korozně namáhané aplikace nebo vysoce pružná (až 50%) speciální pryskyřice odolná vůči abrazi pro odvod splaškových vod.

Jako plniva (až 35 %) se používá směs křemičitého písku a uhličitanu vápenatého

Metoda odstředivého lití (technologie Hobas) konkuruje do jisté míry navíjení pro výrobu trubek, je však nejvhodnější pro silnostěnná potrubí pro zásyp. Potrubí o standardní délce 6 m se vyrábí ve jmenovitých světlostech od 250 do 1500 mm.

Odlévání

Technologie odlévání (lití) se používá pro výrobu vlákniny nevyztužených kompozitů. Podstatou procesu je lití směsi pryskyřic, plniv, případně pigmentů, aditiv a vytvrzovacích složek do forem za určitých podmínek, závislých na konečném produktu.

Umělý (syntetický) mramor

Vzniká smísením nízkoviskozní polyesterové pryskyřice s plnivou, jejichž výběr je velmi pestrý – od uhličitanu vápenatého (křída) přes různá inertní plniva (drcené kamenivo, slída, drcená zrcadlovina aj), dále s pigmenty, aditivy a iniciačním systémem a následným litím do forem s předem aplikovaným

obvykle čirým gelcoatem vysoké kvality na bázi ISO/NPG pryskyřic, odolným horké vodě, saponátům a teplotním změnám.

Stupeň plnění může být relativně vysoký – 75-80%. Aby bylo možno dosáhnout tak vysokého obsahu plniv (žádoucího jak z cenových tak estetických důvodů) při dodržení nutného úplného smočení všech částic a přitom zachování dobrých licích a zatékačích vlastností doporučuje se užívat směs plniv o různé granulometrii (velikosti částic):

0,0 - 0,1 mm 16%

0,1 - 0,25 mm 9%

0,25 - 1,0 mm 25%

1,0 - 4,0 mm 50%

Mísení může probíhat v závislosti na objemu výroby v malých mixerech až po užití automatizovaných mísících a licích strojů.

Pro dosažení hloubkového tzv. *onyx* efektu je třeba použít jako plnivo jemně mletý aluminium trihydrát a transparentní pigmenty.

Formy opatřené vhodným separátorem mohou být laminátové, epoxidové, ocelové, hliníkové, z polymerbetonu nebo silikonových elastomerů v závislosti na velikosti dílců a seriovosti. Formy si musí zachovat tvar a pevnost, aby snesly teplo vznikající exotermickou reakci při vytvrzování a případné vyšší teploty při dotvrzování.

Polymerbetony

V podstatě se jedná o shodnou technologii jako při výrobě umělého mramoru, ale protože se využívají zejména pro průmyslové aplikace, nepoužívá se gelcoat a většinou ani pigmenty, naopak výběr plniv je širší, zejména se uplatňují levnější materiály – písek, drcené kamenivo, uhličitán vápenatý, mastek, kaolin a další. Formy bývají vyhřívány pro urychlení výrobního cyklu.

Solid surface

Pro tento materiál se dosud neustálil český termín. Jedná se o velmi tvrdou a odolnou variantu umělého mramoru, napodobující přírodní kámen nebo vytvářející zvláštní efekty.

Základem je směs speciálních pryskyřic, zejména akrylátových nebo polyesterových vyznačujících se vysokou tepelnou a chemickou odolností, schopné vytvrzení do vysokého stupně tvrdosti a plniv.

Jako plniva se používají zejména vysoce kvalitní a čisté typy aluminium trihydrátu a/anebo vločky z vytvrzené pigmentované polyesterové pryskyřice (gelcoatu), případně ve směsi s pigmenty.

Technologie se od výroby umělého mramoru liší ve dvou hlavních bodech:

a) nepoužívá se gelcoat jako povrchová vrstva

b) mísení pojiva, plniv, pigmentů a vytvrzovacích komponent probíhá pod vakuem

Tím vzniká homogenní, neporézní a velmi tvrdý materiál, který se po vytvrzení brousí a leští.

Je možno jej řezat a i jinak mechanicky obrábět, jednotlivé díly k sobě bezspárově lepit a díky absenci gelcoatu lze případné poškození povrchu opravit přebroušením a vyleštěním.

Používané materiály:

Umělý mramor: vysoce kvalitní ISO/NPG gelcoaty, běžné

polyesterové pryskyřice orto nebo izoftalového typu, plniva a pigmenty

Onyx: jako umělý mramor, jako plnivo aluminium trihydrát a transparentní pigmenty

Polymerbeton: jako pro umělý mramor, bez gelcoatu, levná plniva

Solid surface: Akrylátové nebo vysoce kvalitní ISO/NPG polyesterové pryskyřice (příp. modifikované akryláty), inertní plniva, zejména aluminium trihydrát a polyesterové vločky (chipsy).

Technologie lití je vhodná pro výrobu umělého mramoru- sanitární aplikace (vany, umyvadla, WC a koupelňové doplňky, okenní parapety), polymerbeton- průmyslové aplikace jako odpadní trubky a drenážní systémy, dlažby a kraje chodníků, průmyslové podlahy a solid surface – vybavení koupelen, kuchyňské a jiné pulty, desky stolů, dlaždice a dekorativní aplikace.

-

Výroba knoflíků

Licí technologie se uplatňuje i při výrobě knoflíků z polyesterových pryskyřic. Průmyslově jsou používány dvě technologie:

- 1) Lití směsi pryskyřice, pigmentů, příp. plniv do forem – trubek, po vytvrzení se tyčovina dělí na soustružnických automatech na kolečka, která se dále opracovávají (dokončení tvaru, dírky apod.)
- 2) Lití do odstředivkových bubnů, po částečném vytvrzení se plát vyjme a raznicemi se vysekávají základní tvary pro další zpracování.

Používané materiály:

Polyesterové pryskyřice střední kvality, pigmenty vč. transparentních, speciální plniva.

Technologie jsou vysoce produktivní, doplněné dalšími automatizovanými zpracovatelskými kroky.

-

Zalévací technologie

Tzv. zalévání pryskyřicemi se používá zejména pro:

- zalévání resp. zakapávání vinutí elektrických strojů (izolační a fixační funkce)
- zalévání elektrosoučástí a zapouzďování el. přístrojů a čidel
- zalévání biologických a přírodních materiálů pro vědecké a estetické účely

Použité materiály:

Pro izolační a pouzďřicí účely zejména různé typy epoxidových pryskyřic, pro zakapávání vinutí elektromotorů polyesterové pryskyřice tereftalového typu, pro zalévání preparátů vodočiré epoxidové a polyesterové pryskyřice.