



1. BMW i: karbonová revoluce.

1.2 Industrializace uhlíkových kompozitů díky BMW začala.

Společnost BMW Group vlastními silami vyvinula komplexní systém sériové výroby uhlíkových kompozitů, který dosud ve světovém měřítku nikdo nezrealizoval. Kromě vlastní produkce uhlíkových vláken a tkanin je srdcem celého systému technologie výroby samotných dílů z plastů vyztužených uhlíkovými vlákny, které se používají na konstrukci nosné struktury karoserie připravovaných modelů divize BMW i. BMW Group vyvinula unikátní výrobní proces, v němž budou ekonomicky vznikat desítky tisíc „karbonových“ automobilů ročně. Až do současnosti se uhlíkové kompozity používaly pouze na nejvýše několikatisícové série extrémně drahých a exkluzivních sportovních automobilů.

Srdcem výroby uhlíkových kompozitů je lisovna.

Lisovna, pracující s lisovacím tlakem až 4500 tun, dodržuje precizně definované časy, tlaky a teploty. Jejich hodnoty byly stanoveny v rámci vlastního vývoje, aby bylo zaručeno dokonalé spojení pryskyřice s výtuzí a její vytvrzení. Tento speciální výrobní proces, patentovaný společností BMW, nevyžaduje dodatečný, časově náročný proces tvrzení v samostatné peci, jenž obvykle následuje po fázi lisování uhlíkového kompozitu. Nová lisovna, navržená speciálně pro výrobu dílů z uhlíkových kompozitů, nemá nic společného s konvenčním výrobním zařízením pro ocelové plechy. Struktura celého výrobního zařízení je mnohem efektivnější, což mimo jiné výrazně snížilo náklady na výstavbu, protože bylo možné vypustit například klasickou lakovnu a provoz pro nanášení laku v ponorné katodické lázni. Výrobní proces přináší nový trend, šetří obrovské množství času a poprvé umožňuje realizaci průmyslové výroby velkých komponentů z uhlíkových kompozitů. Je to jediný způsob, jak získat předběžně vytvarované díly z lisovny v řádu jednotek minut.

Dokonce i komplexní montážní celky, jako je celý boční rám dveří modulu Life vozu BMW i3, opouštějí tento výrobní úsek již s mnoha integrovanými strukturálními prvky, optimální produktovou kvalitou, dokonalou funkčností a velmi vysokou montážní přesností. Zbývají už jen drobná dokončení, například precizní vyříznutí požadované kontury komponentu a vytvoření



případných chybějících otvorů. V této fázi jsou díly opracovávány speciálním řezacím systémem s vodní tryskou, pískovány a adhezní plochy zdrsňovány pro další zpracování. Na rozdíl od předběžně vytvarovaného dílu z uhlíkového kompozitu by bylo u tradičního bočního rámu z ocelového plechu nutné postupně smontovat několik vnitřních a vnějších komponentů. Normální konstrukce z ocelového plechu vyžaduje celkově výrazně více karosářských dílů a z konstrukčních důvodů by tak byla těžší než modul LifeDrive vozu BMW i3.

Revoluce v konstrukci automobilové karoserie s novými precizními nástroji.

Komponenty z uhlíkového kompozitu, vyráběné v nové lisovně v Lipsku, a díly, dodávané z lisovny v Landshutu, jsou montovány v nové karosárně. Přibližně 150 dílů, to je o třetinu méně než u konvenční konstrukce z ocelového plechu, tvoří základ modulu Life vozu BMW i3. V halách se nerozléhá hluk způsobovaný šroubováním nebo nýtováním a nelétají tu jiskry od svařování. Používají se pouze nejmodernější technologie lepení, které jsou 100% automatizované. BMW vyvinulo tuto výrobní technologii zcela ve vlastní režii. V jedinečném spojovacím procesu, vyvinutém společností BMW, jsou individuální komponenty montovány bez dotyku lidské ruky se spárou 1,5 milimetru pro lepení, aby byla zajištěna optimální pevnost lepeného spoje. V nově vyvinutém výrobním procesu jsou všechny navazující komponenty v modulu Life odděleny vždy stejnou spárou, aby obdržely stejné množství lepidla. Pouze preciznost na této úrovni zaručuje dokonalý přenos sil mezi jednotlivými komponenty z uhlíkového kompozitu, a tím i nejvyšší standard kvality ve velkosériové výrobě. Celkem mají precizně definované spoje u každého vozu délku 160 metrů a šířku 20 milimetrů.

Úspora času díky sekundovému lepidlu.

Karosářské díly z uhlíkového kompozitu jsou v současnosti vyráběny zpravidla pouze pro speciální a závodní vozidla nebo pro velmi drahé individuální sportovní vozy. U těchto malých výrobních počtů nejsou výrobní náklady tak důležité. Doba tvrzení lepených spojů může být delší než jeden den. BMW muselo proces tvrzení výrazně zrychlit, aby byl tento prostoj ve velkosériové výrobě vozu BMW i3 minimalizován.

Nově vyvinuté lepidlo umožňuje nyní další zpracování po pouhých 90 sekundách od nanesení lepidla na díl. O půl hodiny později je zcela vytvrzené. Tato vlastnost představuje desetinásobné zrychlení tradičního procesu lepení. Pro další zkrácení doby tvrzení na jednotky minut vyvinulo BMW doplňkový zahřívací proces, který zahrnuje zvýšení teploty ve



specifických lepených bodech na lepeném dílu z uhlíkového kompozitu. Tím se podařilo 32krát zrychlit proces tvrzení.

Barevné koncepty lze měnit do šesti dnů před finální montáží.

Vysokopevnostní schránka vnitřního prostoru pro cestující, vyráběná v Lipsku z uhlíkového kompozitu (modul Life), přechází z karosárny do nové montážní haly, kde se připevní k hliníkovému modulu Drive. Základní modul Drive, dodávaný z Dingolfingu, je v Lipsku dokončen a následně neoddělitelně přišroubován a přilepen k modulu Life. Až poté obdrží vnitřní modul Life z uhlíkových kompozitů vnější panely z plastu. Lakovaný vícedílný vnější plášť je tvořen převážně díly vyráběnými injekčním vstřikováním z termoplastu, stejně jako u tradiční konstrukce vozidel (přední/zadní nárazník, boční prahy, atd.). Barevné plastové lisované díly jsou nenápadně přišroubovány k modulu Life během finální montáže za pomoci speciálních spojů.

Komplexní přístup BMW Group k výrobě uhlíkových kompozitů.

Komplexní přístup BMW Group k výrobě uhlíkových kompozitů spočívá ve vlastní výrobě uhlíkových vláken, tkanin, samotných kompozitů a jejich spojování v celé karoserie. Důraz je kladen na minimální spotřebu energií během celého výrobního procesu.

a) Moses Lake: výroba uhlíkových vláken pomocí energie z vodní elektrárny.

Závod SGL ACF v Moses Lake (USA) vyrábí uhlíková vlákna z termoplastických textilních vláken získávaných z polyakrylonitrilu. Všechny nežádoucí složky vlákna jsou během komplexního vícefázového procesu od sebe v plynném stavu oddělovány, dokud nezůstane pouze jednolitě vlákno tvořené prakticky čistým uhlíkem se stabilní grafitovou strukturou. Toto vlákno má tloušťku pouhých sedm mikrometrů (0,007 mm). Pro porovnání: lidský vlas má průměr přibližně 50 mikrometrů. Pro aplikace v automobilovém odvětví je 50 000 těchto jednotlivých vláken splétáno do „provazců“ nebo „silných koudelí“ a navíjeno pro další zpracování. Kromě automobilových aplikací se kompozity s vlákny této tloušťky používají například také k výrobě rozměrných listů turbín větrných elektráren.

Veškerá energie potřebná k výrobě uhlíkových vláken v Moses Lake je získávána trvale udržitelným způsobem v místní vodní elektrárně, takže se



jedná o provoz s nulovými emisemi CO₂. Ultramoderní závod ve státě Washington stanovuje měřítka rovněž v oblasti energetické účinnosti. V porovnání s konvenční výrobou uhlíkových kompozitů činí snížení ukazatele CO_{2e} (potenciálu pro globální oteplování) přibližně 50 procent. Aby bylo zajištěno zahájení výroby vozů BMW i3 v Lipsku podle plánu koncem roku 2013, jsou ultralehká, technicky vyspělá vlákna produkována již od konce roku 2011. Potřebné dodávky zajišťují dvě výrobní linky s aktuální kapacitou po 1500 tunách za rok. V současnosti to představuje uspokojení poptávky pro zhruba deset procent globální výroby uhlíkových kompozitů.

Obě mateřské společnosti, BMW Group a SGL Group, dosud investovaly do výrobního závodu v Moses Lake přibližně 100 milionů USD a vytvořily 80 nových pracovních míst.

b) Wackersdorf: zpracování vláken na tkaninu.

V druhém výrobním závodě společného podniku, v inovačním parku Wackersdorf, jsou svazky vláken vyráběné v Moses Lake dále zpracovávány na lehkou tkaninu v průmyslovém měřítku. Na rozdíl od tkaných látek jsou vlákna ukládána vedle sebe v jedné rovině, a nikoli vzájemně proplétána a protkávána. Tkaná struktura by vlákna ohýbala, a poněkud by tak zhoršovala excelentní vlastnosti, protože je to právě uspořádání vláken v tkanině, co zaručuje optimální charakteristiku z ní vyrobeného komponentu.

Po investici 20 milionů EUR a vytvoření přibližně 100 nových pracovních míst je dnes závod ve Wackersdorfu schopen vyrábět několik tisíc tun tkaniny z uhlíkových vláken. Ta je výchozím materiálem pro výrobu dílů a komponentů z uhlíkového kompozitu v závodech BMW v Landshutu a Lipsku.

c) Landshut: další zpracování na komponenty z uhlíkového kompozitu.

Tkaniny z uhlíkových vláken dodávané z Wackersdorfu se dále zpracovávají na karosářské díly z uhlíkových kompozitů v lisovnách závodů v Landshutu a Lipsku. V Landshutu se specialistům BMW Group podařilo během uplynulých deseti let dále vyvinout a zautomatizovat proces výroby komponentů z uhlíkových vláken do té míry, že je dnes možná ekonomická a velmi kvalitní hromadná výroba s vysokou úrovní bezpečnosti procesu. V Landshutu se již nějakou dobu z uhlíkového kompozitu průmyslově vyrábějí střešní panely pro modely BMW M3 a M6 a nosníky nárazníků pro M6.



Po investici 40 milionů EUR a zahájení výroby uhlíkových kompozitů s přibližně 100 zaměstnanci v březnu 2012 je závod v Landshutu považován za rozhodující inovaci a výrobní centrum pro komponenty z uhlíkového kompozitu. Landshut spoléhá na vlastní mladé zaměstnance v úsilí o zajištění vysoké úrovně technického know-how potřebného pro zpracování inovativních lehkých konstrukčních materiálů. Proto zvýšil počet učňů na 40 za rok.

d) Lipsko: patentovaná výroba materiálu s variabilním složením.

Nově postavená lisovna v Lipsku je vybavena nejmodernější technologií pro výrobu automobilových dílů z uhlíkových kompozitů. BMW nyní vyrábí vlastní kompozitní materiály vyztužené uhlíkovými vlákny v tomto závodě postaveném za účelem průmyslové hromadné výroby. Složení, pevnost a tvary dílů z uhlíkového kompozitu lze v lisovně individuálně měnit nebo přizpůsobovat kdykoli během výrobního procesu v závislosti na konstrukční specifikaci. Na míru vyrobená tkanina z uhlíkových vláken, dodávaná z Wackersdorfu, získá nejprve požadovaný tvar v procesu předlisování. Ohřívání formou dodá vrstvené hmotě stabilní trojrozměrný tvar. Jednotlivé předběžně vytvarované polotovary pak lze sestavovat do větších komponentů. To umožňuje vyrábět rozměrné karosářské díly, jejichž výroba z oceli nebo hliníku by byla obtížná. Dalším výrobním krokem je prosycení výztuže pryskyřicí pod vysokým tlakem za použití technologie RTM (Resin Transfer Moulding). Metoda vstřikování pryskyřice RTM, používaná v leteckém průmyslu a v konstrukci lodních a větrných turbín, zahrnuje vstřikování kapalné pryskyřice do předem vytvarovaných polotovarů pod vysokým tlakem. Propojení vláken pryskyřicí a následné vytvrzení dodává materiálu pevnost a další vynikající vlastnosti.

BMW i: karbonová revoluce.

BMW se díky dlouhodobému vývoji výroby a použití uhlíkových kompozitů stalo v daném oboru světovým technologickým lídrem. Ve čtyřdílném seriálu představujeme nejvýznamnější technologie, stejně tak jako výrobní systém a v neposlední řadě i chystané „karbonové“ automobily BMW i3 a BMW i8.

Více informací o značce BMW spolu s fotografiemi je k dispozici v českém jazyce na: www.press.bmwgroup.com/pressclub/p/cz/startpage.htm nebo na mezinárodních stránkách <https://www.press.bmwgroup.com>

Veronika Jakubcová

Corporate Communication Manager
BMW Group Czech Republic

