

平成 30年 7月 12日

機械工学専攻	学籍番号	第 123167 号	指導教員	森 謙一郎 柴田 隆行 安部 洋平
氏名	中川 佑貴			

論文内容の要旨 (博士)

博士学位論文名	超高強度鋼および炭素繊維強化プラスチック部品の熱間成形に関する研究
---------	-----------------------------------

(要旨 1,200 字程度)

本論文では、輸送機器用の軽量化を目的とした超高強度鋼および炭素繊維強化プラスチック部品の熱間成形プロセスにおいて、成形性、生産性の向上および高機能部材の製造について検討した。

超高強度鋼部材は主に車体の骨格部材に適用され、衝突安全性の向上および軽量化に有効である一方、高い成形荷重およびスプリングバックと呼ばれる形状精度の低下が問題となる。これらの問題を解決するために、ホットスタンピングの適用が拡大している。鋼板を加熱することで、変形抵抗が小さくなり、成形荷重が低下する。また金型で急冷するダイクエンチングによって焼入れされスプリングバックが消滅するメリットがあるが、その挙動は機械的特性のみならず熱収縮および相変態を伴うため非常に複雑である。またホットスタンピングにおける問題点として、ダイクエンチングのために金型をプレスの下死点で10s程度保持する必要があり生産性が低下する、製造された部材は非常に高強度であるため、後加工であるトリミングが困難であるという問題がある。さらに衝突安全性の向上のため、強度差を持つテーラード部材の製造も要求されている。

超高強度鋼のホットスタンピングにおいて、スプリングバックに及ぼす弾性回復、熱収縮および相変態の影響をそれぞれ実験によって評価し、スプリングバック消滅のメカニズムを解明した。

ホットスタンピングにおける生産性向上のために、水没金型を用いた直接水冷ホットスタンピング方法を提案した。鋼板を水冷することによってダイクエンチング中の冷却速度を増加させて、下死点保持時間を大幅に短縮した。

強度差を持つテーラード部材の製造のために、1段目で高強度部をダイクエンチングし、2段目で全体を成形する部分冷却2段ホットスタンピングを開発した。この方法は特別な鋼板や金型の加熱の必要はなく、低コストかつ高生産性である。

ホットスタンピングと同時にトリミングを行うホットトリミングにおいて、切口面性状および機械的特性に及ぼすトリミング条件の影響を調査した。マルテンサイト変態開始温度以上でトリミングを行うことで、切口面の引張残留応力は低減し、遅れ破壊を防止できた。

炭素繊維強化プラスチック部材のプレス成形も、超高強度鋼部材の製造と同様に成形性および生産性の向上が課題となっている。炭素繊維は変形しないため、形状自由度は非常に低い。また熱硬化性プラスチックを用いたものでは、炭素繊維シートをプレス成形し、金型内に樹脂を注入し加熱硬化させるが、硬化に時間を要するため生産性が低い。

3Dプリンターを用いた熔融積層造形法によって製造された樹脂層に炭素繊維を挟み込むことで、炭素繊維強化プラスチック部材を製造し、その強度を評価した。炭素繊維を挟み込むだけでは強度は向上せず、繊維と樹脂の加熱接着が必要であり、この接着工程を電子レンジを用いることで単純化した。

Date of Submission (month day, year) : 7 12, 2018

Department Mechanical Engineering	Student ID Number D123167	Supervisors Prof. Ken-ichiro Mori Prof. Takayuki Shibata Dr. Yohei Abe
Applicant's name Yuki Nakagawa		

Abstract (Doctor)

Title of Thesis	Study of hot forming processes of ultra-high strength steel and carbon fibre reinforced plastic parts
-----------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------

Approx. 800 words

In this study, improvement of formability and productivity, and manufacturing of high-value added products in hot forming processes of ultra-high strength steel and carbon fibre reinforced plastic parts were examined for reduction in weight and improvement of crash safety of transportation equipment.

Although application of the ultra-high strength steel parts on the body-in-white of automotive is effective for the reduction in weight and the improvement of crash safety, a large forming load and springback are problematic due to the high strength. To solve these problems, hot stamping of quenchable steel sheets is effective. In hot stamping using die quenching, automobile parts having a tensile strength of about 1.5 GPa are produced. Moreover, the springback is very small. This springback-free mechanism is more complicated than that in cold forming because of the thermal shrinkage and phase transformation.

In hot stamping, the productivity is lower than that in cold stamping because holding at the bottom dead centre is required for die-quenching for about 10 s. Moreover, trimming operation of the hot-stamped parts is difficult due to the high strength. In addition, development of manufacturing process of the parts having tailored properties is required for the high crash safety.

The springback-free mechanism in hot stamping of the ultra-high strength steel parts was investigated from the elastic recovery, the thermal effects and the phase transformation viewpoints.

A water and die quenching process with submerged tools was developed to improve the productivity of hot stamping. The stamped part was rapidly cooled by water and the holding time was drastically reduced. This process was applied to hot stamping of thick sheet.

A tailored tempering process by two-stage hot stamping was developed to manufacture tailored parts having the desired strength distribution. In this developed process, only the high strength part is formed and die-quenched in the first stage, and then the whole of part was

formed in the second stage. A conventional quenchable steel sheet for hot stamping without welding and the non-heated dies are employed in this process, thus it leads to the low costs and the high productivity.

The effect of hot trimming conditions on the quality of sheared edge and mechanical properties is investigated. The tensile residual stress on the sheared edge was reduced and the occurrence on the delayed fracture was prevented for the high trimming temperature above the start of the martensitic transformation.

A press forming operation of carbon fibre reinforced plastic is as difficult as that of the ultra-high strength steel sheet because no deformation of the carbon fibre. In the forming process of the carbon fibre reinforced thermoplastic, the fabric made of the carbon fibre is formed by a press, then a resin is injected into a mold and hardened by heating, whereas the productivity is low because of the long holding time for hardening.

Carbon fibre reinforced plastic parts were manufactured by sandwiching carbon fibres between upper and lower plastic layers made by a 3D printer using fused deposition modelling. Carbon fibre reinforced plastic tensile specimens were manufactured, and the strength of the specimens was measured. The strength is not increased only by sandwiching of the carbon fibres, and thermal bonding between the fibres and layers is required. The thermal bonding operation is simplified by using a microwave oven.