

氏名	池原（森下） 佳奈
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	総博甲第106号
学位授与年月日	平成28年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項
文部科学省報告番号	甲第571号
専攻名	マテリアル創成工学専攻

学位論文題目 鉄鋼材料を切削加工した際の工具損傷機構に関する研究
(Damage mechanisms of cutting tools during machining of steel materials)

論文審査委員	主査 島根大学教授	大庭 卓也
	島根大学教授	白杵 年
	島根大学教授	山田 容士
	島根大学准教授	森戸 茂一

論文内容の要旨

工作機械の低振動かつ高速・高剛性主軸化、切削工具形状の最適化や皮膜の特性向上、被削材の快削化などの各種性能の向上により、金型製作時の加工能率が改善されてきた。しかし、工作物形状の複雑化、高精度化などが進み、かつ金型加工のさらなる短納期化が求められると予想され、今後も加工能率のさらなる改善が必要と考えられる。

本研究では、切削時に工具刃先に起きている現象の中でも、特に切りくずと切削工具間で生じる被削材成分の付着現象に着目し、工具損傷形態と Belag の関係、Belag 生成機構、Belag 生成条件について考察し、金型用鋼を切削した際に Belag を利用した加工能率向上の可能性について検討した。

第1章では、「本研究の目的」ならびに「各種金型用鋼と特徴」、「Belag に関する研究概要」、「本論文の構成」について述べた。

第2章では、比較的高硬度でプリハードン鋼として使用されている2種類のプラスチック金型用鋼（40 HRC）を転削加工（断続切削）した際の工具損傷形態と Belag の関係性について調査した。その結果、鋼材硬さは同じであるにも関わらず、被削材成分より工具刃先に Al 系酸化物が形成する場合は工具刃先にチップング、Mn-Si 系酸化物が形成する場合は摩耗が生じ、異なる工具の損傷形態を示した。さらに、Mn-Si 系酸化物は、工具刃先への形成量が 60~150 m/min の範囲で切削速度の上昇に伴い増加し、工具摩耗が抑制される傾向であった。よって、金型用鋼切削時において工具損傷現象と Belag に関係性があり、最適な Belag が工具表面に形成される条件の選定により、金型製作時の加工能率向上が可能であると示唆された。

第3章では、高硬度材の加工能率向上を目指し、異なる特性をもつ4種類の冷間金型用鋼（60 HRC）を転削加工（断続切削）した際の工具損傷形態と Belag の関係性について調査した。切削

工具における逃げ面摩耗の進行は、鋼材中の一次炭化物が少ないほど遅い傾向であった。一方、切削工具におけるチッピングは、一次炭化物が最も多い鋼種と少ない鋼種で生じていたことから、一次炭化物以外にチッピングを発生させる要因があると考えられた。TiN コーティング工具による工具刃先観察結果から、Al 系酸化物と MnS の複合 Belag が厚く形成されるほど TiN の塑性変形領域が低減され、チッピングが抑制される傾向であった。このことより、切削中に生じるコーティングへのせん断力が Belag により低減され、工具の損傷が抑制された可能性が考えられた。よって、60 HRC 調質後の冷間工具鋼は、鋼材特性を著しく低下させない程度に、一次炭化物を低減し、Al 系酸化物と MnS の複合 Belag を生成する成分設計にすることより、良好な被削性をえると考えられた。

第 4 章では、被削材中に微量にしか含まれない元素から Belag が生成するメカニズムを明確にすることを目的とした。現象を理解しやすくするため、非金属介在物をほとんど含まず、構成元素が少ない S50C を選定して評価した。その結果、工具刃先に形成された Belag は Al 系酸化物と Mn-Si 系酸化物であり、切りくず表面に形成された酸化物は Fe 系酸化物であった。S50C の組成において各酸素分圧・温度で形成される酸化物の計算結果と実際に形成された酸化物組成はおおむね一致しており、Al 系酸化物と Mn-Si 系酸化物は低酸素分圧・高温、Fe 系酸化物は高酸素分圧・低温で形成され易い酸化物であった。また、S50C 中の非金属介在物に Mn-Si 系酸化物は存在していなかった。よって、Belag は低酸素分圧・高温下において被削材中の固溶元素が酸素より高い移動度を有することにより形成したと考えられた。

第 5 章では、第 2 章と第 3 章で評価した鋼材を用いて、旋削加工した際の切削温度、切削抵抗および付着物の関係性について調査した。さらに、工具刃先への酸素の供給量が増加すると推察された連続切削と断続切削の評価を実施した。断続切削時は工具刃先に Belag が形成し、連続切削時は主に Fe が付着していた。よって、Belag 形成には切削中にある程度の酸素の供給が必要であると考えられた。さらに、断続切削時に工具刃先に形成された Al 系酸化物は、安定的に工具刃先へ形成される温度範囲が広く、MnS と同時に形成されることで Fe の付着が抑制されていた。一方、Mn-Si 系酸化物は形成される温度範囲が限られていた。よって、高硬度材切削時の高温、高圧下で安定して形成される Al 系酸化物と Fe の付着を抑制する MnS を同時に Belag として利用することが冷間金型用鋼 (60 HRC) の加工能率向上に有効であると考えられた。一方、鏡面性重視のプラスチック金型鋼や耐ヒートクラック性重視の熱間金型用鋼では MnS を積極的に添加できないが、冷間工具鋼ほど切削工具が高温・高圧化にさらされないため、Belag として Mn-Si 系酸化物を利用することが有効であると考えられた。

本研究結果より、金型用鋼切削時に工具刃先に形成される Belag と工具損傷形態に関係があることを確認した。また、鋼材組成、切削温度および酸素分圧が Belag 生成に影響を与えていると考えられた。よって、今後、これらを意識した鋼材や切削工具の開発、切削条件の設定により、金型の加工能率向上の可能性が広がると考えられる。

論文審査結果の要旨

工作機械の高性能化、切削工具形状の最適化や皮膜の特性向上、被削材の快削化などの各種性能の向上により、金型製作時の加工能率が改善されてきた。しかし、工作物形状の複雑化、高精度化などが進み、今後も加工能率のさらなる改善が必要と考えられる。

本研究においては、切削時に工具刃先に起きている現象の中で、特に切りくずと切削工具間で生じる被削材成分の付着現象に着目し、工具損傷形態と Belag の関係、Belag 生成機構、について考察し、金型用鋼を切削した際に Belag を利用した加工能率向上の可能性を検討した。

第 1 章では、「本研究の目的」ならびに「各種金型用鋼と特徴」、「Belag に関する研究概要」、「本論文の構成」について述べた。

第 2 章では、比較的高硬度な 2 種類のプラスチック金型用鋼 (40HRC) を断続切削した際の工具損傷形態と Belag の関係性について調査した。その結果、金型用鋼切削時において工具損傷現象と Belag との関係性があり、最適な Belag が工具表面に形成される切削条件の選定により、金型製作時の加工能率向上が可能であると示唆された。

第 3 章では、高硬度材の加工能率向上を目指し、4 種類の冷間金型用鋼 (60HRC) を断続切削した際の工具損傷形態と Belag の関係性について調査し、切削中に生じるコーティングへのせん断力が Belag により低減され、工具の損傷が抑制された可能性が考えられた。

第 4 章では、Belag が生成するメカニズムを明確にすることを目的とした。現象を理解しやすくするため、非金属介在物をほとんど含まず、構成元素が少ない S50C を選定して評価した。その結果、工具すくい面に付着した酸化物は Al 系酸化物、ホーニングは Mn-Si 系酸化物であり、工具位置により付着物組成が異なった。一方、切りくず表面に形成された酸化物は Fe 系酸化物であり、酸化物中の金属相近傍に Al, Si, Mn が濃化した。さらに、S50C の組成において種々の酸素分圧で形成される酸化物の計算結果から、ホーニングに付着した Mn-Si 系酸化物は低酸素分圧下で形成される酸化物の計算結果とおおむね一致した。

第 5 章では、第 2 章と第 3 章で評価した鋼材を用いて、旋削加工した際の切削温度、切削抵抗および付着物の関係性について調査し、さらに、加工雰囲気の変化すると推察された連続切削と断続切削の評価も実施した。Belag 形成には切削中にある程度の酸素の供給が必要であると考えられた。さらに、断続切削時に工具刃先に形成された Al 系酸化物の形成温度範囲は広く、MnS と同時に形成することで Fe の付着が抑制されていた。一方、Mn-Si 系酸化物は形成する温度範囲が限られていた。よって、高硬度材切削時の高温、高圧下で安定して形成される Al 系酸化物と Fe の付着を抑制する MnS を同時に Belag として利用することが冷間工具鋼(60HRC)の加工能率向上に有効であると考えられた。一方、鏡面性重視のプラスチック金型鋼などでは MnS を積極的に添加できないが、冷間工具鋼ほど切削工具が高温・高圧化にさらされないため、Belag として Mn-Si 系酸化物を利用することが有効であると考えられた。

本研究結果より、金型用鋼切削時に工具刃先に形成される Belag と工具損傷形態に関係があることを確認した。また、Belag は低酸素分圧下において被削材の固溶元素が相対的に高い移動度を有することにより形成したと考えられた。さらに、鋼材組成、切削温度および酸素分圧が Belag 生成に影響を与えていると考えられた。よって、今後、これらを意識した鋼材や切削工具の開発、切削条件の設定により、金型の加工能率向上の可能性が広がると考える。