温間鍛造した鋼の材料強度学的研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 湯浅, 紘二 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/14668

氏　　　　名	湯淺　紘二
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	博乙第291号
学位授与の日付	平成17年9月30日
学位授与の要件	論文博士（学位規則第４条第２項）
学位授与の題目	温間鍛造した鋼の材料強度学的研究
論文審査委員(主査)	放生　明廣（自然科学研究科・教授）
論文審査委員(副査)	尾田　十八（自然科学研究科・教授），北川　正義（自然科学研究科・教授），門前　亮一（自然科学研究科・教授），立矢　　宏（自然科学研究科・助教授）

Abstract

A nomogram for determination of forming pressure in warm forging was constructed in accordance with experimental result for various steels in wide temperature range.

Mechanical properties and microstructures of warm extruded carbon steels were investigated in various forming condition. Tensile strength,elongation and hardness of products varied rather regularly with carbon content and forming temperature .But the impact values varied in a complex manner with the combination of carbon content, forming temperature and reduction in area. The impact values of products extruded with high reduction in area increased remarkably even at lower forming temperature and the strength also rather increased. The reason of high strength and high impact values was investigated from the viewpoint of metallurgical microstructures.

Mechanical properties were investigated also from the viewpoint of dynamic bending and fracture toughness. As a result, high strength and high impact values of warm extruded carbon steels were confirmed also with dynamic bending test and fracture toughness test.

A constitutive equation proposed by Hojo et al. was applied to the case of carbon steels S45C and S53C extruded in the various forming conditions. Four experimental constants of the equation obtained at the strain rate from the order of 10^{-4} 1/s to 10^{2} 1/s were determined. As a result, it was found that the dynamic constitutive equation for the present materials could be approximately expressed by mean of the static stress—strain relation.

第1章　緒言

温間鍛造が各種の工業部品の製造に適用されるようになるにつれて、加工に必要な加工荷重あるいは変形抵抗などのデータおよび温間鍛造品の力学的物性についての幅広いデータが必要になってきた。しかし温間鍛造の歴史はまだ浅いためこれらのデータは乏しい。

特に温間鍛造品を鍛造後に熱処理をせずにそのまま強度部品として使用するときや、鍛造後さらに冷間鍛造や切削加工をする時には、その力学的物性を把握していることが必要であり、また鍛造後に熱処理をするときにはその金属組織を把握していることが必要である。しかしこれまで温間鍛造品の力学的物性や金属組織が系統的に研究されていなかった。

本研究ではまず温間鍛造における変形抵抗を簡便に求めることのできる計算図表を作成した。ついで温間鍛造した鋼の力学的物性や金属組織をより系統的に明らかにし、特に温間鍛造した鋼の高い靭性について金属組織および動的強度特性の点から検討を加えた。最後に温間鍛造した鋼の応力とひずみ速度の関係を表す構成式を提案した。

第２章　温間鍛造と変形抵抗

温間鍛造にて部品を加工することを計画するときに、加工方案や金型を設計したり加工用設備を選定するために、まず必要になる情報はいま問題にしている材料の変形抵抗である。高温引張試験のデータは参考にはなるが、かなりの高速で動的に加工する鍛造加工においては、青熱脆性などの影響によって静的なデータと良い対応を取れない。また温間鍛造で利用されるような鋼材の高温引張試験のデータは乏しかった。

そこで実際によく用いられる２種類の鍛造方法で、各鍛造方法について加工度３水準、鋼材の種類１２種、加工温度 300℃から 1000℃まで８水準で鍛造実験を行い、鍛造荷重を測定した。鍛造荷重から変形抵抗を計算し、これらのデータをまとめて実験的に変形抵抗を求めるための計算図表を作成した。その結果を Fig.1 に示す。この図によれば点線矢印の方向へたどってゆけば簡単に変形抵抗が求められる。

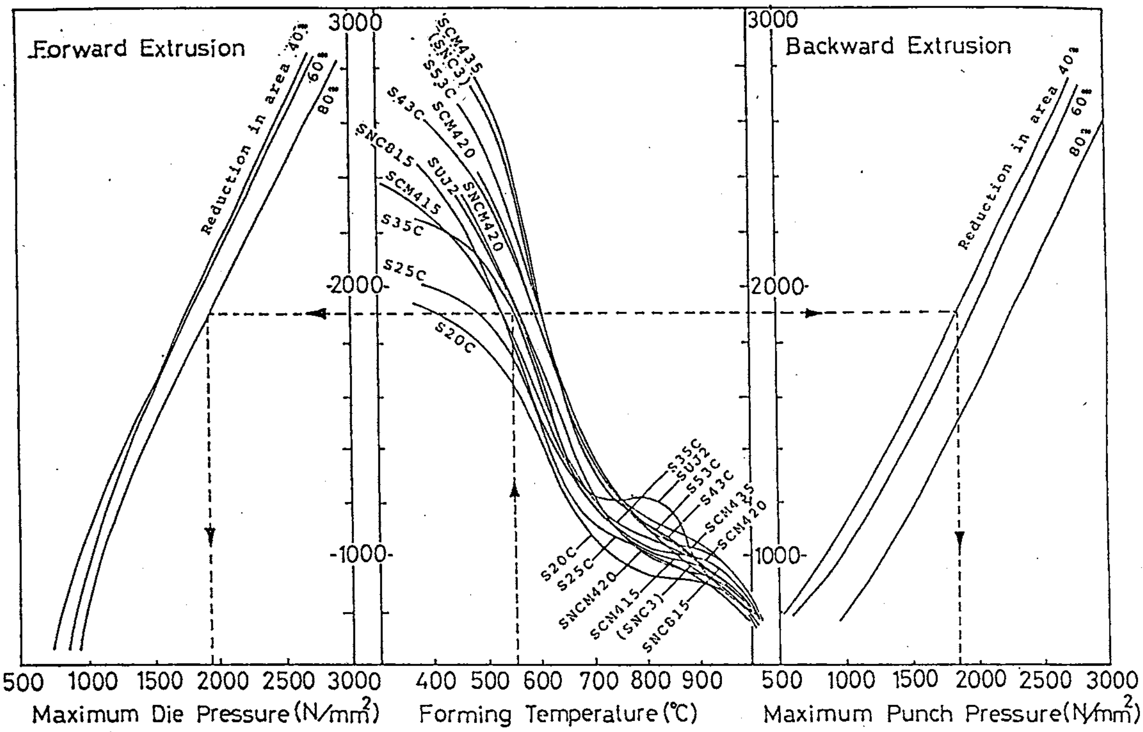

Fig.1 Nomogram for determination of forming pressure on forward extrusion and backward extrusion.

第3章　機械的性質と組織

炭素含有量0.20から0.53%にわたる各種機械構造用炭素鋼を300～900℃の温度範囲で、断面減少率40,60および80%で押出加工をして、加工品の機械的性質と組織を検討した。その結果、引張強さ、伸びおよび硬さは炭素含有量および加工温度によってかなり規則正しく変化したが、断面減少率の影響をあまり受けなかった。それに対してシャルピー衝撃値は炭素含有量、加工温度および断面減少率の組み合わせによって非常に複雑に変化した。高い断面減少率で押出された加工品のシャルピー衝撃値は、加工温度が低い場合でも非常に高くなった。中炭素鋼においては高い断面減少率、低い加工温度において硬さおよび衝撃値とも高い値を示した。たとえばS43Cでは断面減少率80%、加工温度300～600℃で押出加工した場合には、Fig.2に示すように焼き入れ焼き戻し材に匹敵するくらいの硬さおよびシャルピー衝撃値が得られた。

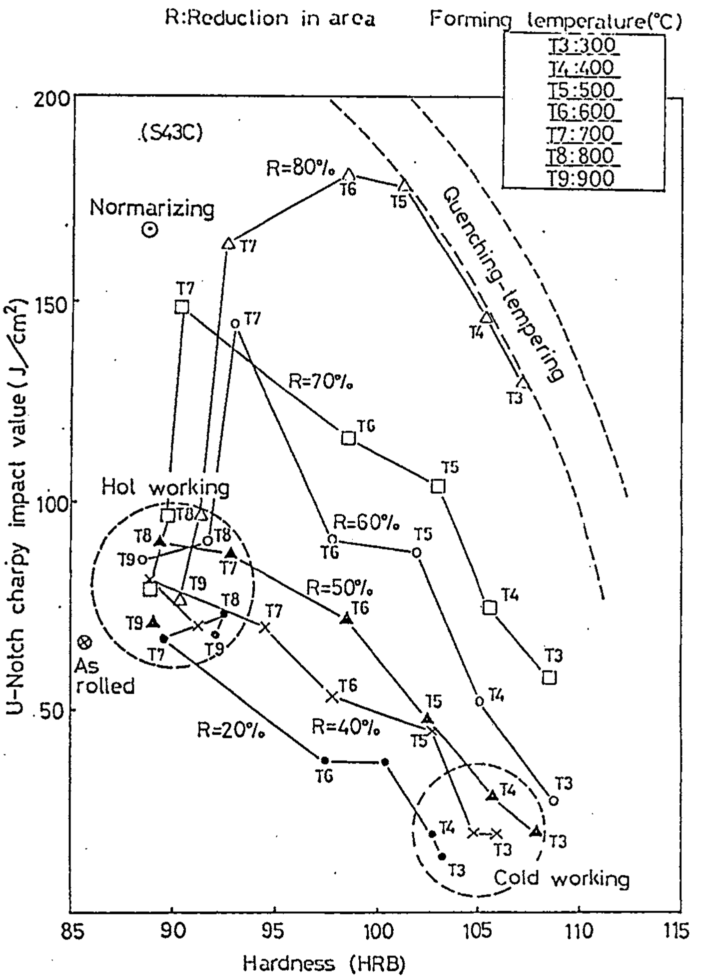

Fig.2　Relation between hardness and impact values of warm extruded S43C.

金属組織を光学顕微鏡および電子顕微鏡で検討した結果、温間押出された低炭素鋼のシャルピー衝撃値の向上は、主としてフェライトに形成された微細なサブグレインと再結晶粒によるものと推察された。

また中炭素鋼ではフェライトとパーライトの2相から成る混合組織が押出加工によって繊維状化して、あたかも繊維強化複合合金のような組織になり、しかもパーライト中のフェライトとセメンタイトが非常に微細になることによって強靭化すると推察された。

第4章　衝撃曲げに基づく温間押出鋼切欠材の強度評価

第3章で明らかになった特異な衝撃特性をさらに詳しく検討した。まず種々の加工温度と断面減少率のもとで押出加工されたS45C,S53C材を対象に、計装化シャルピー衝撃試験による衝撃曲げ強度特性について検討し、また動的破壊靱性実験をおこない、次のことが明らかとなった。

計装化シャルピー衝撃試験における荷重波形および破面から見ると、断面減少率の低い場合は破壊は脆性的であり、断面減少率の高い場合には破壊は延性的であるといえる。同じく計装化シャルピー衝撃試験から動的最大曲げ強度は断面減少率の高い方が高くなり、しかも断面減少率の高い方が加工温度の影響が大きく、低温になるほど高くなる傾向がある。動的降伏曲げ強度についても、加工温度および断面減少率の影響は動的最大曲げ強度の場合と同じ傾向であった。

動的破壊靭性値K_dは平面ひずみであるための有効条件を満足しなかったが、参考として定性的に見ると、S45C断面減少率20,40%,S53C断面減少率20,40,60%の場合については加工温度の影響はあまりなくほぼ一定となった。また断面減少率が大きくなるほど加工温度の影響が大きくなる。

本実験の$\dot{K}=10^6 MPa\sqrt{m}/\mathrm{sec}$　では、動的な破壊靱性値は静的な破壊靱性値とほぼ等しくなった。

弾塑性破壊靱性J_{Id}は断面減少率が高いと加工温度の影響が大きく断面減少率が低いと影響が小さく、特に断面減少率が80%の場合にはJ_{Id}は500℃と700℃で大きくなる傾向がある。このような変化傾向はVノッチシャルピー衝撃値と対応する。すなわちこのような加工条件で温間鍛造した鋼は破壊靱性という点から見ても靱性が高いといえる。

Fig.3はS43Cの引張強さとJ_{Id}および亀裂発生エネルギーEｉとの関係を示す。第3章で示したFig.2での硬さとシャルピー値との関係を、引張強さと破壊靱性値との関係に置き換えたもので、Fig.2と対応して見やすくするために引張強さを近似的に換算した硬さ(HRB)も合わせて横軸に示した。この図からみても断面減少率60および80%にて温度500℃および700℃で加工したもののJ_{Id}は高く、靱性が高いことがわかる。

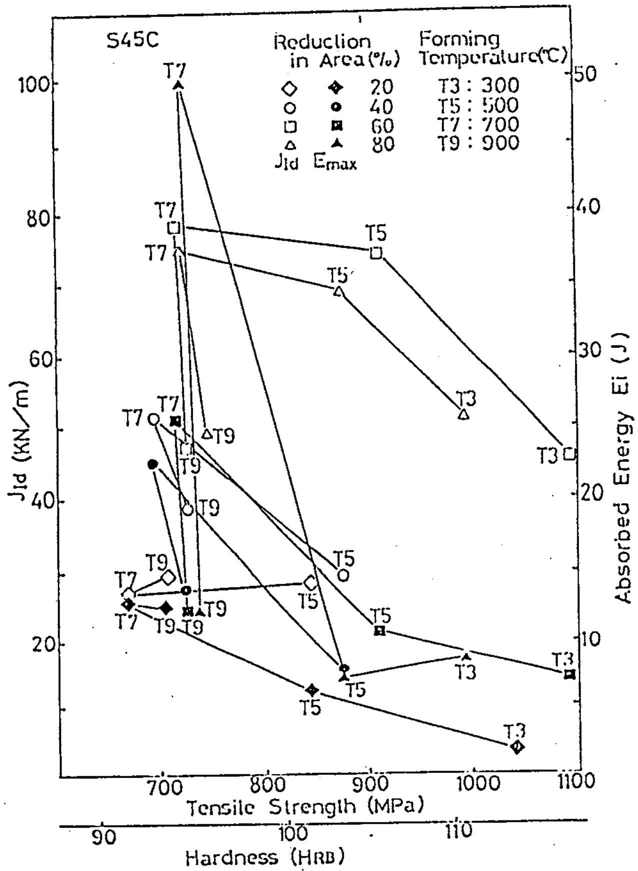

Fig.3　Relation between JId, Ei and tensile strength (hardness).

第5章　動的構成式

温間押出加工したS45CおよびS53Cについて、ひずみ速度が$10^{-4}\sim10^{3}$ 1/secの範囲で圧縮試験を行い、その結果に対して放生らによって提案された下記の構成式を適用して、その妥当性を検討した。

$$\dot{\varepsilon}_P=\frac{K_1}{\exp\{K_3-K_2(\sigma-\sigma^*)\}+\exp\left(\dfrac{K_4}{\sigma-\sigma^*}\right)}\qquad(1)$$

（1）式の各定数を決めるにあたっては、過応力―ひずみ速度線図上にプロットした実測値に（1）式で描かれる曲線が出来るだけよく合うように決めた。各実験定数は一般に塑性ひずみの大きさによって異なるが、4水準の塑性ひずみの平均値を採用しても、個々の塑性ひずみによる場合との差が小さかったので、平均値を用いて決定した。このようにして決定した曲線の一例をFig.4 に太実線で示す。太実線は広いひずみ速度範囲で測定値とよく合っている。

（1）式の実験定数をそれぞれの加工条件における加工品の基本的な機械的性質の関数として表すことができれば、構成式（1）がより有用であるとの観点から、静的な降伏強さσ_y、引張強さσ_B、絞りおよびビッカース硬さHVなどの強度パラメータとこれらの定数との対応について検討した。各実験定数と各強度パラメータとの相関係数を調べた結果、各パラメータともK$_2$以外は高い係数であった。これらの関係を直線関係の式で表示し、それらの式で決まった定数を用いて描いた曲線をFig.4にあわせて示す。HVは最も相関係数が高かったが、強度パラメータによる近似値と測定値に近い太実線の値との差を調べたところσ_yによるほうが最も差が小さかった。降伏応力による場合も硬さによる場合もいずれもかなりよく測定値に合っているから、これらによって構成式を表現した場合、多少のばらつきはあるが十分に動的構成式を表現できることがわかった。

第6章　結論

本研究によって得られた主な結論を要約して述べた。

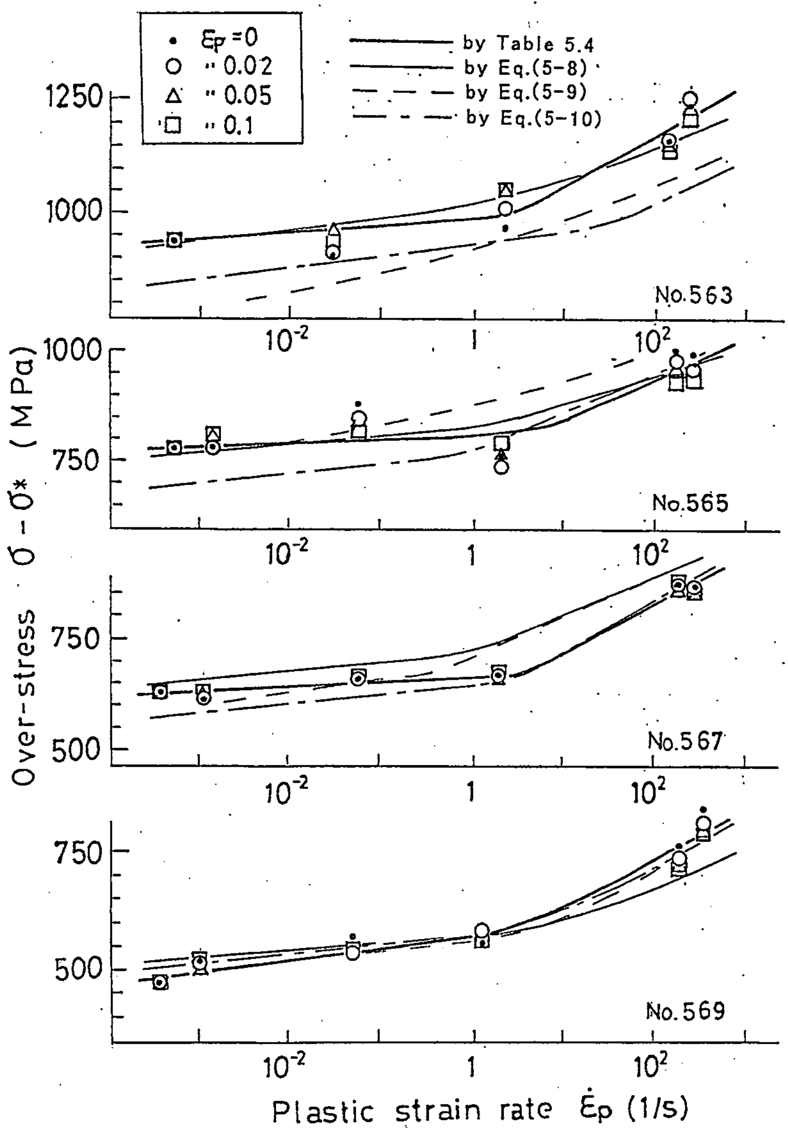

Fig.4　Relation between plastic strain rate and over-stress.

学位論文審査結果の要旨

提出された論文と資料について、平成 17 年5月 18 日予備的審査を行い、引き続き各審査委員による検討と評価を行った後、「温間鍛造した鋼の材料強度学的研究」と題し、平成 17 年7月 28 日口頭発表会を行った。その直後に審査会を開催し、次のように審査判定した。

本論文では、まず、温間鍛造法の特徴を述べ、種々の条件下での実験を行い、材質、加工度、温度から変形抵抗を求める計算図表を提案している。また、各種条件下での温間押出し加工品の機械的性質を調べ、加工品の強度と靭性がきわめて高くなり、熱処理を省略出来る可能性があることを見いだすとともに、金属組織の観点から検討を加え、このような強靭化には加工度と温度による結晶粒の微細化等が関係しているとしている。次に、温間鍛造品の設計には静的強度と同時に衝撃強度を明らかにしておく必要があることを指摘し、S45C および S53C 材を対象に計装化シャルピー衝撃試験および破壊靭性試験を行い、切欠き材の衝撃強度特性に検討を加え、破面は低加工度では脆性的であるのに対し、高加工度では延性的であること、動的弾塑性破壊靭性は高加工度では加工温度の影響が大きいが低加工度では影響は小さい等の結論を得ている。さらに、種々の加工度と加工温度のもとで動的構成式を作成し、構成式中の定数と降伏強度や硬さとの関係を明らかにしている。

以上要するに、本論文は鋼材の温間鍛造に際する基本的な強度特性を明らかにし、工学上ならびに工業上きわめて有用な新知見を与えるもので、博士論文として十分な価値を有する。